



**ROYAUME DU MAROC**

**Académie Hassan II des Sciences et Techniques**

**ACTES DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE**

**Année 2015**

**Thème**

**Risques naturels : Séismes, ondes de tempête  
et phénomènes climatiques extrêmes**

**Rabat, 24 - 26 février 2015**





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







**ROYAUME DU MAROC**  
**Académie Hassan II des Sciences et Techniques**

**ACTES DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE**  
**Année 2015**

**Rabat, 24 - 26 février 2015**

© Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Rabat  
Km 4, Avenue Mohammed VI (ex Route des Zaers)  
Rabat, Royaume du Maroc

Dépôt légal : 2016 MO 0346  
ISBN : 978-9954-9598-0-0

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

Achevé d'imprimer : Février 2016  
Imprimerie Lawne : 11, rue Dakar, Océan, 10040-Rabat, Maroc

# SOMMAIRE

<b>Avant-propos .....</b>	<b>7</b>
<b>Forward .....</b>	<b>9</b>
<b>CÉRÉMONIE D'OUVERTURE .....</b>	<b>11</b>
<b>Hommage à la mémoire de Feu Pr. Abdellatif Berbich Taïeb Chkili.....</b>	<b>15</b>
<b>Discours d'ouverture du Secrétaire Perpétuel, présentation du thème général de la session et accueil des nouveaux membres Omar Fassi-Fehri .....</b>	<b>21</b>
<b>Allocution de Mme Catherine Bréchnignac, nouveau membre associé .....</b>	<b>27</b>
<b>Allocution de M. Mohamed Kabbaj, nouveau membre résident .....</b>	<b>29</b>
<b>Accueil des membres correspondants Mostapha Bousmina.....</b>	<b>33</b>
<b>Désignation du nouveau Directeur des Séances .....</b>	<b>37</b>
<b>Natural and societal-induced environmental hazards: integrate interdisciplinary long-term researchstrategy for developing countries Juan Carlos Castilla.....</b>	<b>39</b>
<b>SÉANCE I : PHÉNOMÈNES CLIMATIQUES EXTRÊMES .....</b>	<b>49</b>
<b>Présentation générale des phénomènes climatiques extrêmes : cas du Maroc Abdellah Mokssit .....</b>	<b>51</b>
<b>Situations des fortes houles sur les côtes Atlantiques Marocaines Brahim El Messaoudi.....</b>	<b>79</b>
<b>SÉANCE II : PHÉNOMÈNES CLIMATIQUES EXTRÊMES (SUITE).....</b>	<b>107</b>
<b>Integrated flood management: Data/big data, models, (un)certainity and knowledge Driss Ouazar.....</b>	<b>109</b>
<b>Integrated Drought Management: A new paradigm for the 21<sup>st</sup> Century Donald A. Wilhite .....</b>	<b>125</b>
<b>SÉANCE III : SÉISMES ET ONDES DE TEMPÊTE .....</b>	<b>139</b>
<b>Le temps de la Terre, de la vie et de l'Homme Philippe Taquet .....</b>	<b>141</b>
<b>Apport de l'imagerie basée sur le bruit sismique au suivi temporel des structures géologiques (volcans, failles, injections...) Michel Campillo .....</b>	<b>151</b>

## **SÉANCE IV : SÉISMES ET ONDES DE TEMPÊTE (SUITE)..... 155**

<b>Evaluation et atténuation de l'aléa sismique au Maroc</b>	
Tajeddine Cherkaoui .....	157

<b>The Crust beneath Morocco : From the Surface Topography to the Upper Mantle a 700 km long Seismic Section Across Morocco</b>	
Ramon Carbonell .....	175

<b>Les Tsunamis : état des connaissances et risques pour le Maroc</b>	
Fida Medina .....	199

## **SÉANCE V : STRATÉGIES D'ADAPTATION ..... 229**

<b>Stratégie de réduction des risques des catastrophes et le rôle de la science et de la technologie</b>	
Kenzo Hiroki.....	231

<b>Changement climatique et gaz à effet de serre : à la croisée des enjeux environnementaux et socio-économiques</b>	
Hervé Le Treut .....	233

## **PANEL : Propositions d'actions pour le Maroc : recherche, prédictions et préventions..... 241**

**Modérateur :** Albert Sasson

### **Intervenants**

Abdelouahed Fikrat, Brahim El Messaoudi, Abdelhamid Benabdelfadel,  
Mohamed Badraoui, Juan Carlos Castilla

## **NOTE DE SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS..... 246**

## **SESSION INTERNE DE L'ACADÉMIE**

<b>Rapport d'Activité de l'Académie pour l'année 2014</b>	
Omar Fassi-Fehri .....	255

<b>Compte rendu de la session plénière 2015 (en français) .....</b>	<b>279</b>
---	------------

<b>Liste des participants et des orateurs invités.....</b>	<b>289</b>
--	------------

<b>Compte rendu de la session plénière 2015 (en arabe) .....</b>	<b></b>
--	---------

<b>Discours d'ouverture du Secrétaire Perpétuel (en arabe).....</b>	<b></b>
---	---------

<b>Message adressé à Sa Majesté le Roi Mohammed VI (en arabe).....</b>	<b></b>
--	---------

<b>Avant-propos (en arabe) .....</b>	<b></b>
--------------------------------------	---------



## AVANT-PROPOS

Le «risque naturel» est un phénomène violent ou extrême, d'origine interne (au globe terrestre), météorologique ou climatique, qui peut se déclencher à n'importe quel moment et en n'importe quel point de la planète, sachant que certaines régions sont plus exposées que d'autres à tel ou tel risque, provoquant ainsi des catastrophes naturelles qui entraînent des pertes en vies humaines et en infrastructures. De nos jours, si l'on ne peut pas, dans certains cas, prévenir ces risques on peut néanmoins en atténuer les effets par une meilleure connaissance de ceux-ci. Plusieurs organismes cherchent à mieux connaître cette notion de «risque naturel» pour essayer de comprendre les éventuels dangers encourus et en rechercher les solutions les plus adéquates pour les prévenir. Le Maroc, vu sa position géographique, est l'un des pays vulnérables en raison de son fort niveau d'exposition à ce type de phénomènes. Au Maroc, les mouvements de terrain, les inondations, les séismes, les phénomènes climatiques extrêmes..., sont, alors, autant de risques naturels pouvant menacer la population et les infrastructures.

Rappelons que ces dernières années ont été marquées notamment par des événements fortement dommageables pour les populations à l'échelle mondiale:

- Séismes d'Agadir (29 février 1960) qui a fait 12.000 morts et des dégâts considérables et celui d'Al Hoceima (24 février 2004) qui a fait 629 morts et des dégâts importants,
- Inondations au Maroc et en Europe, en raison de fortes précipitations dans un espace de temps très court (200mm en 24h à Casablanca, le 30 Novembre 2010),
- Vagues de tempêtes au Maroc (du 7 janvier 2014), et la côte ouest européenne (vagues de 6 à 8 mètres de hauteur), avec des dégâts importants sur les côtes marocaines,
- Tempête Xynthia en France,
- Tsunami au Japon,
- Inondations en Europe, au Maroc...
- Typhons, ...

La prévention des risques naturels est un élément fondamental d'une politique de gestion rationnelle des espaces et d'aménagement du territoire. Compte tenu de la vulnérabilité potentielle du territoire ainsi que de la capacité d'adaptation limitée des systèmes naturels aux phénomènes météorologiques extrêmes (inondation, sécheresse), sismiques (séismes, tsunamis), glissements de terrain, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques se propose de débattre en session plénière de cette thématique, dans un cadre réunissant des experts nationaux et internationaux, afin de proposer des stratégies de recherche et de parade ou d'atténuation de l'impact de ces risques. C'est aussi une occasion de renforcer les capacités endogènes et la coopération (à différents niveaux), nationale et internationale avec échange de données, etc.

Cette session porte sur:

- l'état de la Science et des connaissances sur les phénomènes qui provoquent une situation de danger : capacité de prévoir de tels phénomènes, impact sur les écosystèmes, outils de coordination, de gestion, d'actions concertées, planification, réseaux de surveillance et d'alerte (télédétection par satellite et d'autres moyens, comme les drones, la robotique),

- le renforcement de la résilience des nations et des collectivités face aux catastrophes à la suite du «Yokohama Message» de 1994 et, plus récemment, du Cadre d'Action d'Hyogo (2005-2015),
- les prévisions, l'incertitude et la vulnérabilité, les préventions et les mesures de mitigation du risque. Que peut faire la science pour réduire le risque au maximum? par exemple au niveau des programmes de lutte contre les risques naturels, au niveau de l'éducation, des constructions parasismiques, ...),
- la situation marocaine, qui devra conduire à des avis de l'Académie sur la problématique.

Les interventions durant la session plénière 2015 sur les risques naturels permettront alors un échange sur les compétences particulières autour de certains phénomènes physiques liés au risque naturel, sur la modélisation numérique de ces phénomènes pour répondre aux besoins sociétaux qui sont formulés au travers de normes, règles, circulaires (Plan de Prévention, Plan d'Intervention, Plan de Sauvegarde) mais aussi par le pouvoir politique.

Les communications, les débats ainsi que le panel qui sera dédié à la session traiteront des sujets suivants:

- mouvements du sol, sur terre et en mer, ondes de tempête,
- phénomènes climatiques extrêmes: précipitations excessives, inondations, sécheresse (situations de risques multiples, désastres/risques quasi-naturels dans la mesure où ils résultent de l'interaction entre processus naturels et anthropiques).

Débattre de la thématique proposée sur les risques naturels permettrait de :

- proposer des stratégies de gestion du risque naturel, transition de la gestion de crise (approche, réaction) à la gestion de la connaissance du risque (approche anticipative), instauration d'une vigilance face aux risques, mise en place de la résilience.
- Participer aux efforts déployés dans notre pays pour établir des partenariats de recherche, de réseaux, consortiums et de pôles entre les divers intervenants en matière de gestion des urgences et le monde de la recherche scientifique et technique.
- Assurer l'interopérabilité des données et des produits de connaissance avec les produits d'autres organismes gouvernementaux à travers une collaboration étroite et continue et la promotion de l'utilisation de normes internationales.
- Renforcer la multidisciplinarité des équipes et des programmes de recherche ainsi que la coopération interinstitutionnelle (non seulement scientifique mais aussi au niveau du Gouvernement, des Administrations, de la Société civile, de l'Éducation-Enseignement,...).
- Améliorer les capacités actuelles de cartographie d'urgence pour offrir par Internet des enseignements sur les urgences de façon opportune et sûre.
- Améliorer le contenu des cartes d'urgence pour inclure les informations et les données météorologiques, les prévisions, la production de scénarios climatiques. Utiliser les images de télédétection obtenues grâce à la nouvelle génération de satellites dans le traitement des risques naturels, les nouveaux produits de connaissances sur les risques naturels et intervention en cas d'urgence, et les plus récents produits d'information géospatiale offerts par les divers programmes internationaux.

Le sujet constitue donc un vrai défi et nécessite beaucoup de travaux de recherche en amont. Les rencontres internationales en particulier favorisent les échanges interactifs et permettent de discuter de ces thématiques fort complexes.

## FOREWORD

Natural hazard is a violent or an extreme event; its origin can be related to the weather or climate, or can be internal to the earth. It can be triggered at anytime and anywhere in the world, knowing that some regions are much more exposed than others to a particular risk, provoking natural disasters that cause losses of human lives and infrastructure destruction.

At present, if we cannot, in some cases, prevent these risks, their effects can be mitigated through their better understanding.

Several organizations work to understand the concept of «natural hazard» to assimilate the involved potential dangers and seek the most appropriate solutions to prevent them. Morocco, by its geographical position, is a vulnerable country due to its high level of exposure to this type of phenomena.

In Morocco, landslides, floods, earthquakes, extreme weather events..., are natural hazards that threaten the population and infrastructure.

The past recent years have been notably marked by heavily damaging events for people to a worldwide level:

- the Agadir earthquake (February, 29th, 1960) which caused 12.000 deaths and considerable damages and Al Hoceima earthquake (February, 24th, 2004) which caused 629 deaths and significant damages,
- Moroccan and European Floods, due to heavy rainfall in a short space of time (200mm in 24 hours in Casablanca in November, 30th, 2010),
- storm waves in Morocco (January, 7th, 2014) and in the European west coast (waves of 6 to 8 meters high), with significant damages on the Moroccan coast,
- Xynthia Storm in France,
- Tsunami in Japan,
- Floods in Europe and Morocco,
- Typhoon ...

Natural hazards prevention is a fundamental element of a rational management policy of spaces and land use. Given the potential vulnerability of the territory and the limited adaptive capacity of natural systems to extreme weather events (floods, drought), seismic phenomena (earthquakes, tsunamis), landslides, etc., the Hassan II Academy of Science and Technology suggests discussing this theme in a plenary session, bringing together national and international experts, to propose research strategies and parade? or mitigate the impact of these risks. This is also an opportunity to strengthen the endogenous capacities and cooperation's (at different levels), nationally and internationally, data exchange, etc.

This session covers:

- The state of science and knowledge on the phenomena that cause a dangerous situation, the ability to predict such events, the impact on ecosystems, coordination

and management tools, concerted actions' tools, planning, monitoring and warning networks (satellite remote sensing and other means, such as drones, robotics),

- The enhancement of the resilience of nations and communities to disasters following the «Yokohama Message» of 1994 and, more recently, the Hyogo Framework for Action (2005-2015),
- Predictions, uncertainty and vulnerability, preventions and risk mitigation. What can science do to reduce the risk to the minimum? eg. develop programs against natural hazards, education, earthquake construction plan,...),
- The state in Morocco, which should lead to the Academy's opinion on the issue.

The conferences during the 2015 plenary session on natural hazards will then discuss specific skills around physical phenomena related to natural hazards, skills on the numerical modeling of these phenomena to meet societal needs that are expressed through standards, rules, administrative circulars (prevention plan, intervention and safeguard plan), but also by political power.

Conferences, discussions as well as the panel that will be dedicated to the session will address the following topics :

- Ground movements, on land and in sea, storm surges,
- Extreme climate phenomena : excessive rainfall, flooding, drought (multiple risk situations, disasters / quasi-natural hazards as they result from the interaction between natural and anthropogenic processes).

The discussion about the suggested theme on natural hazards would enable:

- Suggestions on natural hazard management strategies, transition from crisis management (approach, reaction) to the knowledge management of risk (proactive approach), vigilance against risks, implementation of resilience,
- Participation in the efforts deployed in our country to establish research partnerships, networks, consortia, network and centers between stakeholders in emergency management and scientific and technical research,
- Insurance of the interoperability of data and knowledge products with the products of other government agencies through a close and continuous collaboration and promotion of the use of international standards,
- Strengthening of the multidisciplinary teams and research programs as well as inter-institutional cooperation (not only scientific but also with the Government, Administrations, Civil Society, Education, ...),
- Improvement of the current capabilities of emergency mapping to provide Internet information on emergencies in real time, efficiently and safely,
- Improvement of the content of emergency cards to include information and weather data, forecasts, climate scenarios productivity. Using remote sensing images obtained with the new satellite generations in the treatment of natural hazards, new knowledge products of other natural hazards projects and dealing with emergencies and newer geospatial information products offered by various international programs.

This therefore represents a real challenge and requires a lot of upstream research. International meetings especially foster interaction and exchange to discuss these very complex issues.



## **CÉRÉMONIE D'OUVERTURE**



## MOT DU DIRECTEUR DES SÉANCES

***Pr. Mahfoud ZIYAD***

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



Bonjour à toutes et tous. Nous allons ouvrir la session.

Bienvenue à nos illustres invités et aux membres de notre compagnie qui viennent de loin.

Cette session plénière est la neuvième du genre. Elle est consacrée aux «Risques naturels, séismes, tsunamis, ondes de tempêtes et phénomènes climatiques extrêmes». Elle a été jugée importante parce que les phénomènes extrêmes n'épargnent aucune région du globe et provoquent d'énormes pertes en biens et en vies humaines. Elle est également importante parce que Sa Majesté a récemment agréé comme membres de notre compagnie d'éminentes personnalités qui vont enrichir évidemment nos actions par leur savoir et connaissances. Cette session est aussi importante car elle va accroître ce qu'on appelle communément le capital immatériel dont il est énormément question en ce moment dans les médias.

Notre collègue le Professeur Abdelatif BERBICH nous a quitté, que l'Eternel l'ait en Sa sainte miséricorde, un hommage sera rendu à sa mémoire. Je vous propose qu'on se lève et qu'on fasse la lecture de la Fatiha.

Sans plus tarder, je vais passer la parole au Pr. Taïeb CHKILI.





## HOMMAGE A LA MEMOIRE DE FEU PR. ABDELLATIF BERBICH

*Pr. Taïeb CHKILI*  
*Membre résident,*  
*Académie Hassan II des Sciences et Techniques*



*Monsieur le Secrétaire de séance,*  
*Monsieur le Ministre de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle,*  
*Monsieur le Secrétaire général du Gouvernement,*  
*Monsieur le Secrétaire Perpétuel,*  
*Chers collègues,*  
*Mesdames et Messieurs,*

A l'aube de cette année, l'Académie du Royaume du Maroc et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, ont appris un triste événement, celui du décès de notre éminent membre résident, le Professeur Abdellatif Berbich, Secrétaire perpétuel de l'Académie du Royaume du Maroc et membre de la Commission de Fondation de notre Compagnie.

Ce jour là, une étoile s'est éteinte au firmament scientifique marocain : le Professeur Abdellatif Berbich nous quitta, après avoir affronté la maladie dans une grande sérénité qui sied bien à sa personnalité, avec une rare lucidité qui est sa marque de fabrique, avec un courage exceptionnel dont son parcours est témoin, et dans la discrétion légendaire que nous lui connaissons tous.

C'est avec une profonde affliction et une grande tristesse que nous lui rendons un vibrant hommage, en cette ouverture de notre session plénière solennelle.

En cette triste circonstance, nous exprimons, au nom de tous ses amis et collègues membres de notre Compagnie, mais aussi au nom de toute la communauté médicale et scientifique marocaine, nos plus vives condoléances et les sentiments de notre compassion fraternelle, à l'ensemble des membres de l'honorable famille du défunt, et à sa tête, son épouse Madame le Professeur Assia Berbich et ses enfants Omar, Ali et Mehdi.

En cette cruelle épreuve, que constitue la perte d'un des grands hommes du Maroc moderne, d'un médecin pionnier, d'un scientifique rigoureux, d'un intellectuel curieux et attaché aux valeurs éthiques, nous exprimons également nos sincères condoléances à l'ensemble de ses proches et ses amis, ainsi qu'à sa grande famille médicale, scientifique et intellectuelle, et notamment, les membres de l'Académie du Royaume du Maroc, en implorant le Tout-Puissant de l'entourer de Sa miséricorde et de Sa clémence, et de l'accueillir dans Son vaste paradis parmi les élus vénérables, et d'accorder à sa famille et ses proches, patience, consolation et réconfort..

Chers collègues, mesdames et messieurs,

Permettez-moi de revenir un court instant sur le long et fructueux chemin de vie de notre regretté défunt, même si un tel exercice peut paraître aussi difficile que superfétatoire, tant les responsabilités furent nombreuses et variées, les réalisations constructives et novatrices, et les initiatives empreintes de courage et de perspicacité.



En effet, après des études primaires et secondaires au Lycée Moulay Youssef de Rabat, le Pr. Abdellatif Berbich, s'inscrit à la Faculté de Médecine de Montpellier où il a obtenu son doctorat de médecine en 1961. Puis, entre 1962 et 1964, le Pr. Abdellatif Berbich continue sa formation et prépare, sous la conduite du Pr. Hamburger, son diplôme de spécialité en Néphrologie et Réanimation, et soutient son mémoire d'assistant étranger des Hôpitaux de Paris.

Du retour au Maroc en 1965, il entame sa carrière professionnelle comme chef de service de Réanimation médicale à l'hôpital Avicenne de Rabat. Et deux ans plus tard, il fera partie de la toute première promotion de professeurs agrégés de médecine au Maroc et fut nommé Maître de Conférences Agrégé en Médecine à la Faculté de médecine de Rabat, et une année plus tard, chef de service de Médecine interne et de Réanimation médicale.

Nommé Doyen de la Faculté de médecine entre 1969 et 1974, le professeur Abdellatif Berbich fut le maître d'œuvre des travaux de construction des locaux de la faculté et de l'hôpital Avicenne, et s'attela à mettre en place les structures pédagogiques et administratives qui soient en phase avec sa vision d'une gouvernance de proximité, ouvrant la voie à la participation active des enseignants et des étudiants, et créant les conditions de mobilisation et d'émulation. J'ai l'honneur et la chance de lui succéder à la tête de cette faculté, j'ai pu apprécier la qualité du travail accompli et noter la solidité des orientations qu'il lui a données et des fondations sur lesquelles elle ne cesse de se développer.

En effet, Il s'attacha à jeter les bases d'une formation médicale basée sur l'excellence, où l'intransigeance avec la culture de l'effort et l'attachement aux valeurs éthiques furent pour toutes les premières générations d'internes et d'enseignants la seule boussole et la première devise.

Travailleur acharné, le Pr. A. Berbich va mener de front, plusieurs responsabilités :

- celles de chef de service de médecine interne et de néphrologie où il contribua fortement au développement de cette jeune discipline, dirigeant la première transplantation rénale au Maroc en 1968 et créant en 1973 le premier centre marocain d'hémodialyse et encadrant des dizaines de thèses et de publications qui ont jalonné l'évolution de la néphrologie et de la médecine interne au Maroc ;
- celles de doyen d'une faculté de médecine naissante, mais pleine d'ambition, porteuse d'espérance et consciente de ses responsabilités sanitaires et sociales, le tout dans une période politique complexe et difficile, période pendant laquelle, il démontra ses capacités d'ouverture et de dialogue autour de toutes les questions, tout en restant inflexible quant aux intérêts supérieurs de la nation,
- celles des lourdes et très prenantes responsabilités de médecin particulier du Roi, responsabilités qu'il saura assumer avec doigté, rigueur et discrétion, accompagnant ainsi Feu S.M. le Roi Hassan II et la famille royale de 1968 à 1999, devenant un compagnon fidèle, un conseiller incontournable et un confident écouté;
- celles d'ambassadeur du Maroc à Alger en 1988-1989, où d'énormes difficultés diplomatiques et d'importants défis politiques, attendaient le médecin, et qu'il sut affronter, non sans succès;
- et celles de secrétaire perpétuel de l'académie du Royaume du Maroc dont il fut le concepteur rigoureux et l'animateur infatigable, depuis sa fondation.

«Le plus grand génie, écrit Goethe, est celui qui accueille tout en lui, qui sait s'adapter à tout, sans faire le moindre tort au fond particulier que l'on nomme caractère, au contraire, en l'exaltant et en l'améliorant». N'est-ce pas ce qu'a fait le Pr. A. Berbich, tout au long de sa vie, en s'adaptant aux diverses responsabilités, en dépassant son caractère, et en l'exaltant?

En effet, en dépit de ces nombreuses responsabilités, les actions du Pr. A. Berbich ont été marquantes dans toutes les fonctions qu'il a eu à occuper, et à travers lesquelles, il a marqué de façon notoire les différents domaines où il a opéré.

Cet acharnement au travail, cette volonté à relever tous les défis, ses qualités humaines, ont amené Feu S.M. Hassan II, à lui confier un de ses projets auquel il tenait beaucoup, la création, la mise en place et l'animation de l'Académie du Royaume du Maroc, dont il fut élu chancelier en 1980, puis Secrétaire perpétuel à partir de 1982. Depuis sa fondation, et 32 ans durant, le Pr. A. Berbich aura su diriger les travaux de cette Académie qui rassemble de nombreuses et célèbres personnalités académiques, scientifiques et culturelles, venues des cinq continents, et dont les diverses manifestations ont contribué à promouvoir la recherche, notamment en sciences humaines et sociales, et à enrichir les débats sur les questions de notre temps, tels que «Dialogue des civilisations», «les changements climatiques», «l'eau et sa gestion». Les dizaines d'ouvrages et centaines de comptes-rendus édités traduisent la vitalité et la productivité de l'Académie, et mettent en exergue le rôle majeur du Pr. A. Berbich dans ses choix des thématiques abordés et dans sa gestion dynamique et novatrice de l'institution.

Homme de sciences d'une grande ouverture, intellectuel d'une rare curiosité, citoyen engagé, le regretté Pr. Abdellatif Berbich était également membre d'un très grand nombre de sociétés savantes, d'institutions universitaires et d'académies nationales et internationales. Il a été également, récipiendaire du grand prix de la francophonie de l'Académie Française. Il est aussi titulaire de nombreuses décorations (Etoile de guerre avec citation à l'ordre de l'armée en 1963, Commandeur de l'ordre du Trône du Maroc en 1993, Commandeur de l'ordre Victoria en 1987, Commandeur de l'ordre Français des Arts et des Lettres en 1989, Commandeur de la Légion d'Honneur en 2000 et Commandeur de l'ordre de Mérite de plusieurs pays (Allemagne, Arabie Saoudite, Espagne, France, Grande Bretagne, Italie, Portugal et Sénégal).

Etant aussi un ardent défenseur de la recherche scientifique et du développement technologique, Le Pr. Abdellatif Berbich croyait fermement à l'importance de la science et de la technologie dans le développement du pays.

Il avait joué un rôle essentiel et capital dans la mise en place de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Immédiatement après la nomination des membres de la commission de fondation de l'Académie par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, le Secrétaire perpétuel et les autres membres ont trouvé en lui le soutien nécessaire, le conseil avisé et l'encouragement sincère dans l'exercice de leurs missions.

Cet appui va s'accroître après l'installation solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques par Sa Majesté le Roi Mohammed VI le 16 mai 2006 au palais royal à Agadir. Il se renforcera encore d'avantage lorsque la décision a été prise de construire le siège de l'Académie sur le même site de l'Académie, du Royaume du Maroc et d'utiliser en commun, cette belle salle de conférences et les autres salles de réunions lors de l'organisation de nos sessions plénières et ordinaires et la tenue de nos rencontres, conférences et séminaires scientifiques.



Sa grande expérience de la chose publique, au niveau national comme au niveau international, particulièrement pour tout ce qui concerne les orientations, l'histoire et la vie des Académies de par le monde, ont fait que l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, ne s'est jamais privée de faire appel à son concours et à ses conseils éclairés.

Il aura marqué de son empreinte la courte vie de notre Académie Hassan II des Sciences et Techniques. C'était pour nous tous un pilier de soutien et un homme qui forçait le respect par sa rigueur, sa pudeur et par une humilité marquée de simplicité et de modestie.

Sur le plan humain, notre regretté Pr. Abdellatif Berbich était un grand homme, au jugement très sûr sans aucune forfanterie. Il possédait une élégance de la pensée et une modération de la parole. Il était également à la fois un grand scientifique, un parfait organisateur et un grand humaniste. Qui parmi nous n'a pas été très impressionné par ses capacités d'écoute, par son dévouement à l'intérêt commun, et par son investissement dans la connaissance, comme voie d'espérance pour l'humanité ? Qui parmi nous, n'a pas apprécié sa perspicacité, sa modestie et la force de son argumentation scientifique, toujours empreinte de rigueur, mais ouverte au doute et à la contradiction.

Avec le décès du Pr. Abdellatif Berbich, notre Académie a perdu un de ses éminents membres résidents. Elle a perdu en lui un grand homme qui possédait de nobles qualités humaines faites de grandeur d'âme, de patience dans l'épreuve, de clairvoyance, de pondération, de rectitude et de sagacité. Autour de sa personnalité, tout le monde reconnaît sa probité, son honnêteté, sa loyauté et son patriotisme.

La disparition de Pr. Abdellatif Berbich est une grande perte pour notre pays et pour notre Académie. Il restera dans les mémoires comme un médecin de talent et un scientifique particulièrement imaginatif et exigeant. Ses contributions à la promotion de la médecine et de la science dans notre pays resteront gravées dans notre mémoire collective.

Et pour démontrer la place qu'occupait le défunt dans son pays pour ses qualités humaines et professionnelles, permettez-moi de lire un extrait du message de condoléance que Sa Majesté le Roi Mohammed VI a adressé à la famille du défunt : «Ce décès, écrit-il, constitue une perte, non seulement pour la famille du défunt, mais également pour sa patrie, le Maroc, qui a perdu en sa personne un médecin émérite et un académicien distingué connu pour ses nobles qualités, sa grande humilité et son souci permanent de promouvoir la recherche scientifique dans son pays, au service duquel il a consacré toute sa vie, avec abnégation, dévouement et une immuable fidélité au glorieux trône alaouite...».

Notre pays perd ainsi, l'un de ses fils dévoués et l'un des grands hommes d'État, au talent rarement égalé, tant il est connu pour sa compétence, son engagement au service des causes nationales et sa fidélité aux valeurs sacrées et aux constantes de la Nation.

La mémoire du disparu demeurera vivace dans nos souvenirs et dans le registre d'or de l'histoire du Maroc, de par ses loyaux services et son œuvre honorable durant toutes les missions et hautes responsabilités qu'il a eu à assumer, tant sous l'ère de SM le Roi Mohammed VI que Dieu le protège que durant le règne de feu SM Hassan II, que Dieu le bénisse.

C'est dire tout le vide que le regretté Pr. Abdellatif Berbich a laissé derrière lui, non seulement au niveau de ses proches, mais aussi au niveau de cette grande famille composée des hommes et des femmes qui croient, comme lui, que le développement de notre pays passe par la formation, l'éducation, la recherche scientifique, la liberté et la culture.

Permettez-moi, mes chers collègues de citer, en cette cérémonie d'hommage à notre ami et collègue A. Berbich, la première à laquelle il n'est pas assis à nos côtés, les phrases prononcées par Sieyès, alors président de l'Assemblée Nationale française, le 1er juin 1790, s'adressant à Condorcet, grand mathématicien, philosophe engagé, homme politique attaché aux valeurs de l'humanisme et secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences française qui venait d'être chargée des responsabilités de déterminer un nouveau système de poids et mesures pour la France entière.

S'adressant à Condorcet qui n'était plus membre de l'Assemblée, Sieyès déclare, «l'Assemblée Nationale, voit avec plaisir que l'Académie des Sciences a choisi, pour porter la parole en son nom, un homme accoutumé depuis longtemps à la porter avec succès au monde entier, au nom de la philosophie et des sciences, et que nous regrettons de ne point voir assis parmi nous, lorsqu'il est si certain que son esprit n'est point étranger à nos délibérations».

Nous implorons Dieu, Tout-Puissant, d'accueillir le défunt dans son vaste paradis parmi les Prophètes, les Saints, les martyrs et les vertueux, et de lui accorder une ample rétribution pour les efforts louables et les bonnes œuvres qu'il a accomplis au service de son pays.

En ces circonstances douloureuses, nous tenons de nouveau à exprimer nos condoléances les plus attristées à sa famille et à l'ensemble de ses amis en implorant le Tout Puissant d'avoir le défunt en Sa Sainte Miséricorde. «Nous sommes à Dieu et à Lui nous retournerons».

Rabat le 25 février 2015

---

**- Pr. Mahfoud Ziyad** (Directeur des Séances)

La parole est à Monsieur le Secrétaire Perpétuel pour le mot de bienvenue et l'ouverture de la Session Plénière Solennelle.

**DISCOURS D'OUVERTURE  
DU SECRÉTAIRE PERPÉTUEL,  
PRÉSENTATION DU THÈME GÉNÉRAL DE LA SESSION  
ET ACCUEIL DES NOUVEAUX MEMBRES**

*Pr. Omar FASSI-FEHRI*

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



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

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

Cette session plénière, à l'instar de toutes les précédentes, s'inscrit dans le cadre des Hautes Orientations de notre Tuteur Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu Le protège qui, dans Son Discours d'installation de notre Institution avait souhaité «que notre Académie puisse contribuer à faire de la société marocaine une société productive, ouverte sur les sciences et les technologies de l'heure, convaincue des valeurs du dialogue entre les cultures, et fidèle aux nobles idéaux qui ont toujours été les siens et qui se fondent sur la solidarité et la coexistence dans la dignité et le respect de l'autre». A cette occasion nous voulons renouveler notre profonde gratitude et nos remerciements déferents à Sa Majesté Le Roi -que Dieu Le protège- pour Sa bienveillante sollicitude, Ses précieux encouragements, et la Protection Tutélaire dont Il entoure notre Académie.

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

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

**Excellences,**

**Mes chères consœurs, mes chers confrères,**

**Mesdames, Messieurs,**

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

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

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

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

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

Les premiers pas vers la réduction des risques naturels résident dans la compréhension scientifique de ces risques et de leurs impacts à tous les niveaux de la société et de l'environnement, ce qui implique de faire un bilan de la vulnérabilité et un suivi des

facteurs de risque, d'établir sa probabilité d'occurrence, de comprendre son mécanisme et d'analyser les raisons pour lesquelles certains de ces risques se transforment en catastrophes. C'est en fait une opération structurée qui consiste à mettre en œuvre de façon cohérente et rationnelle, des théories et techniques des sciences de la Terre et des techniques de génie civil.

Pour appréhender cette problématique, nous écouterons donc avec plaisir, au cours de cette séance, la conférence introductive sur «la stratégie de recherche interdisciplinaire à long terme pour réduire les risques naturels et leurs impacts sur la société et l'environnement dans les pays en développement», qui sera présentée par le Pr. Juan Carlos Castilla, membre associé de notre Académie, membre de l'Académie Chilienne des Sciences et de l'Académie Nationale des Sciences des Etats Unis d'Amérique, que je salue et remercie.

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

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

**Honorables invités,**

**Mesdames & Messieurs les Académiciens,**

**Mesdames & Messieurs,**

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

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

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

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

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

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

Nous avons déjà eu le plaisir et l'honneur de recevoir et d'écouter Mme Catherine Brechnac qui a participé à notre session plénière de l'année dernière et à la session plénière 2013 dont le thème était «la physique aujourd'hui» ; à cette occasion elle avait prononcé la conférence inaugurale dont le titre était «Où en est-on dans la compréhension des mécanismes qui régissent la matière ?».

Présenter Mme Catherine Brechnac est pour moi un honneur et un plaisir, je dois reconnaître toutefois que l'exercice me laisse quelque peu perplexe, car au vu des titres, des prix, des distinctions, des responsabilités, des honneurs que Mme Catherine Brechnac a accumulés tout au long de sa carrière, j'ai quelques difficultés à faire un choix si je veux respecter les contraintes dûes au temps, qui m'est imparti au cours de cette séance.

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

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

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

Titulaire de la Médaille d'argent du CNRS, du Prix de l'Académie des Sciences, Docteur Honoris Causa de plusieurs institutions, membre associé dans plusieurs académies des sciences, elle mène sur le plan international au nom de l'Académie française une action soutenue pour la promotion de la recherche scientifique et le développement de la coopération scientifique au sein de plusieurs organismes scientifiques internationaux comme l'IAP, l'ICSU, le GID, et notamment auprès des communautés scientifiques africaine, méditerranéenne, latino-américaine et asiatique.

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

### **Mesdames & Messieurs,**

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

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

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

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

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

Incontestablement M. Mohamed Kabbaj saura mettre tout son savoir et savoir-faire, toutes ses compétences au service de notre Académie, notamment au sein du Collège Etudes stratégiques et Développement économique.

**Honorable assistance,**

**Chers collègues,**

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

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

Mes remerciements vont également aux membres du Conseil d'Académie, de la Commission des Travaux, des Collèges scientifiques, à tous les membres de l'Académie associés, résidents et correspondants, et à son équipe administrative pour leur contribution à la préparation de cette session; souhaitons lui tout le succès qu'elle mérite et à notre Académie d'être à la hauteur des objectifs qui lui ont été fixés par son Protecteur Sa Majesté Le Roi Mohammed VI -que Dieu Le protège.

Je vous remercie pour votre attention.

---

**- Pr. Mahfoud Ziyad (Directeur des Séances)**

Merci Monsieur le Secrétaire Perpétuel. Encore toutes nos félicitations aux nouveaux membres qui ont été agréés à joindre notre compagnie et je donne la parole à Madame le Professeur Catherine BRECHIGNAC, nouveau membre associé.



## ALLOCUTION DU NOUVEAU MEMBRE ASSOCIÉ

***Pr. Catherine BRÉCHIGNAC***

*Secrétaire Perpétuel,  
Académie des Sciences de France*

*Ambassadeur délégué en Science,  
Innovation et Technologie*



**Monsieur le Ministre,  
Monsieur le Secrétaire perpétuel,  
Monsieur le Chancelier,  
Chers Confrères, chers Amis,**

Bonjour,

Merci cher Omar pour les mots élogieux que vous avez prononcés à mon égard, ils me renvoient une image trop parfaite qui n'est assurément pas celle que je perçois de moi-même.

Vous m'avez élue dans votre Compagnie qui devient, par là même, la mienne et vous m'en voyez touchée et honorée.

Touchée, parce que dans le monde dans lequel nous vivons aujourd'hui, il est bon de partager des valeurs qui nous rassemblent et les valeurs sous tendues par la Science, comme la valeur objective de la connaissance qui nécessite, pour se construire, l'usage de la raison, rassemblent. Elle se doit aussi d'être rassurante. Ainsi par exemple les vaccins et sérums antiviraux que nous avons produits pour faire reculer l'épidémie d'Ebola calme l'anxiété engendrée par l'extrême contagion de la maladie.

Honorée, parce que l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques est reconnue dans le monde entier. Elle n'aura que dix ans de fonctionnement en 2016 lorsque l'Académie des sciences de France fêtera son 350<sup>ème</sup> anniversaire. En plagiant Pierre Corneille qui

dans le CID fait dire à don Rodrigue «je suis jeune il est vrai mais aux âmes bien nées la valeur n'attend pas le nombre des années», l'Académie Hassan II des sciences et des techniques est jeune, bien née et déjà écoutée.

Lors de son installation en mai 2006, la parole de votre Roi donnait comme mission à l'Académie de «servir votre pays et contribuer au développement de la science» et depuis vous avez établi le rite annuel des séances solennelles où sont débattues intelligemment les questions de science et de technique qui intéressent la société, ou qui l'incitent à des changements. Ce fut le cas en 2013 où le thème du débat était «la physique aujourd'hui et ses applications», en 2014 nous discutâmes des sources d'énergies renouvelables et de la transition énergétique pour le Maroc. Le Maroc n'est pas assis sur une source énergétique et il doit faire preuve d'imagination, comme bon nombre d'entre nous, pour créer l'énergie nécessaire à sa société. Cette année nous parlerons des risques naturels: séismes, ondes de tempêtes, phénomènes climatiques extrêmes, un sujet qui impacte notre manière de vivre et auxquels nous devons nous adapter. Le séisme de 1755 suivi d'un raz de marée et d'incendies qui détruisirent Lisbonne fut le premier à entraîner des recherches en sismologie. Mais si nous avons considérablement progressé depuis dans la compréhension de ces événements extrêmes, ils restent toujours incontrôlables. La science n'est malheureusement pas la panacée.

Le rôle de nos Académies est certes de promouvoir les sciences et les techniques, car il nous faut rester modestes, les sciences ne peuvent progresser sans technologie, mais le rôle de nos académies est aussi de donner des avis pertinents à ceux qui nous gouvernent, afin de les éclairer dans leurs décisions. Pour cela nos institutions doivent être indépendantes et libres de parole. Elles doivent aussi s'épauler les unes aux autres, former des réseaux d'Académies, réseaux géographiques, réseaux thématiques, comme le GID qui met les savoirs au service du développement. Ce qui semble indispensable aussi c'est de prendre le temps de penser et de développer notre esprit critique, ce qui de nos jours, dans notre univers hyper connecté, n'est pas aussi simple qu'il y paraît. C'est cependant ce que ces deux jours nous incitent à faire sous cette magnifique coupole.

**Je vous remercie.**

---

**- Pr. Mahfoud Ziyad** (Directeur des Séances)

Merci Madame BRECHIGNAC.

Je vais donner la parole à Monsieur Mohamed KABBAJ, nouveau membre résident de notre Académie.

## ALLOCUTION DU NOUVEAU MEMBRE RÉSIDENT

***Mohammed KABBAJ***

***Chancelier de l'Université Euro-Méditerranéenne  
de Fès***



**Messieurs les Ministres,  
Monsieur le Secrétaire perpétuel de l'Académie,  
Monsieur le Chancelier,  
Monsieur le Directeur des séances,  
Chers membres de l'Académie et Honorables invités.**

Je voudrais exprimer devant vous toute ma fierté d'appartenir à cette prestigieuse institution qu'est l'académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Je suis redevable à Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu l'assiste qui a bien voulu accorder sa bénédiction à ma candidature.

Je suis reconnaissant aussi au conseil académique et aux illustres académiciens qui ont proposé ma candidature.

Notre académie est chargée de la mission exaltante de promouvoir la recherche. J'essaierai d'y apporter mon humble contribution.

La recherche, vous le savez chers collègues, est la mère de l'innovation, l'innovation est la mère de la compétitivité et la compétitivité est la mère du développement.

Je suis d'autant plus fier que je succède à un Ingénieur brillant et un homme d'Etat exceptionnel, notre regretté pair Si Abdelaziz Meziane. الله يرحمه

Nous avons collaboré ensemble Si Abdelaziz et moi-même, pendant plus de trente ans. Je l'ai rencontré en 1974 à sa sortie de l'Ecole des Ponts et Chaussées et j'ai été tout de

suite frappé par ses grandes compétences techniques. Je lui ai proposé alors de superviser les services techniques de la jeune Direction des Routes que je dirigeais à cette époque. Depuis lors nos chemins ne se sont jamais trop éloignés même s'ils se sont parfois légèrement séparés.

Nous avons travaillé en binôme pendant de longues années l'un coachant l'autre nous complétant mutuellement. J'étais très heureux chaque fois qu'il me succédait, à la direction des routes, au Ministère des Travaux publics, au Cabinet Royal...car je savais que la mission était entre de bonnes mains.

J'ose imaginer maintenant que si Si Abdelaziz nous observait aujourd'hui, il serait amusé de me voir à mon tour lui succéder.

J'ai appris à le connaître au fur et à mesure de notre longue collaboration. Sa conscience professionnelle et sa capacité d'analyse exceptionnelle forçaient le respect et lui donnaient une place unique dans l'administration Marocaine.

Deux qualités vont cependant faire de lui l'homme d'Etat qu'il est devenu : Son amour de la patrie et son sens du service public.

Après la récupération du Sahara par la mère patrie en 1975 on cherchait un Directeur des Travaux Publics pour diriger les nouveaux services et assurer une bonne passation avec les Espagnols. M. Meziane s'est porté volontaire pour ce poste. Tout le monde connaissait les difficultés et les risques liés à l'époque à ce poste. Il abandonnait alors le poste confortable de Directeur des Travaux publics de la Région de Rabat par amour pour son pays.

Grâce à cette abnégation nous avons réussi à doter le Sahara d'un réseau de grande qualité en un temps record et ce malgré les entraves posées par les ennemis du pays qui ont usé de tous les moyens y compris la violence pour empêcher ces réalisations.

La deuxième qualité est le sens du service public.

Il était convaincu que seul dans le service public il pouvait réellement servir l'intérêt général. A l'époque on considérait que le seul objectif du privé était de réaliser le maximum de profit personnel aux dépens des populations. En optant pour le service public il n'était pas attiré par le pouvoir mais Il voulait mettre le pouvoir que lui procurent ses postes prestigieux au service de la population.

Il considérait qu'être au service des gens est un sacerdoce qui exige humilité et abnégation.

Beaucoup de gens pensent que l'art du bon management est réservé au secteur privé, ils ont tort. L'art du management dans l'administration est encore plus complexe et plus exigeant.

Il demande plus de créativité et de courage car le carcan administratif est plus contraignant.

Il exige patience et persévérance car les structures sont plus lourdes.

Si les critères monétaires qui mesurent le succès dans le privé sont simples à quantifier les critères de succès dans le service public sont toujours complexes, multiformes et les résultats n'apparaissent que sur le long terme.

Mais les bienfaits sont à la hauteur de l'attente et procurent un bien être réconfortant.

Beaucoup d'exemples me viennent à l'esprit, j'en cite un seul.

Au début des années 80 tout le pays souffrait d'une grande pénurie d'eau potable. Toutes les villes subissaient des coupures d'eau récurrentes et seules 2% de la population rurale avaient accès à l'eau potable.

Une enquête révélait que 80% des maladies à l'époque étaient d'origine hydrique.

Malgré une bonne organisation et une grande compétence des services du jeune office de l'eau potable la situation se dégradait du jour en jour.

Le mal en fait provenait d'une tarification inadéquate. Le tarif de 0,50 DH/m<sup>3</sup> ne permettait même pas de couvrir les frais de fonctionnement de l'ONEP à fortiori des besoins en Investissements.

Toute augmentation du tarif était inacceptable car impopulaire.

Paradoxalement, ce sont les plus pauvres qu'on croyait défendre qui paient la facture. Les quartiers les plus pauvres achetaient l'eau dans les bidons dans des conditions sanitaires douteuses à un prix 100 fois plus élevé que le tarif public et s'exposaient en plus à toutes sortes de maladies.

Nous avons conçu au Maroc la tarification inversée.

Le tarif bas est réservé à une tranche de consommation limitée. Celle-ci est fixée sur la base d'enquêtes sur les besoins des ménages modestes. Ceux ci représentaient plus de 40% de l'ensemble des ménages mais ne consommaient que 10% d'eau.

Un tarif égal au coût de production est appliqué pour une tranche médiane supplémentaire adaptée aux couches moyennes de la société.

Enfin un tarif élevé pour la tranche supérieure correspondant aux ménages les plus aisés qui ne représentaient que 8% du nombre total des ménages.

Cette tarification a permis à l'ONEP en quelques années de mobiliser le financement permettant d'éliminer les pénuries d'eau dans les villes.

Un de ses bienfaits inattendus a été aussi d'enregistrer des économies d'eau pour les tranches supérieures. Restait alors le problème du rural pour lequel l'investissement est plus coûteux à cause de l'éparpillement de la population.

Pour cela le Maroc a lancé le programme PAGER financé grâce à une surtaxe payée sur les citadins sur le prix de l'eau dans le cadre de la solidarité citoyenne entre l'urbain et le Rural.

Le taux d'accès à l'eau est maintenant quasiment de 100% dans les villes et dépasse les 95% dans le rural.

La mise au point et l'acceptabilité de ce schéma a exigé plus de 2 ans de lobbying et d'explications pour l'urbain et plus de 10 ans pour le rural.

Le résultat est à la mesure de l'effort.

أسدل الله رحماته على روحك الطيبة أيها الصديق العزيز  
وأذكر بهذا الحديث النبوي : «إذا مات ابن آدم انقطع عمله إلا من ثلاث : صدقة جارية أو ولد صالح  
يدعو له أو علم ينتفع به» .  
وهذا الإنجاز هو في نفس الوقت صدقة جارية وعلم ينتفع به .

---

- **Pr. Mahfoud Ziyad** (Directeur des Séances)

Merci Monsieur KABBAJ.

Je vais donner la parole à Monsieur le Chancelier, Pr. BOUSMINA, pour l'accueil des nouveaux membres correspondants.

## ACCUEIL DES MEMBRES CORRESPONDANTS

***Pr. Mostapha BOUSMINA***

*Chancelier de l'Académie Hassan II  
des Sciences et Techniques*



**M. le Ministre de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle,**

**M. le Secrétaire Général du Gouvernement,**

**M. l'Historiographe du Royaume,**

**Chers membres de la famille de Feu Abdelatif ERBICH,**

**M. le Secrétaire Perpétuel,**

**M. le Directeur des Séances,**

**Chers membres de l'Académie,**

**Honorables invités,**

J'aimerais d'abord féliciter les nouveaux membres résidents et associé, et il m'échoit l'honneur et le privilège de présenter, de manière très succincte les nouveaux membres correspondants qui sont au nombre de cinq : deux femmes et trois hommes. Et si vous n'y voyez pas d'inconvénients je vais commencer par les femmes.

**Nadia EL KISSI**, née à Rabat, elle est mère de deux enfants. Elle a obtenu son diplôme d'Ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble (France) en 1986 et le Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble en 1989 avant d'obtenir l'habilitation à diriger les recherches à l'Université Joseph FOURIER de Grenoble. Dr. EL KISSI est actuellement Directeur de Recherche CNRS. Elle dirige le Laboratoire de Rhéologie et Procédés à Grenoble. Elle est aussi Présidente du Comité «Rhéologie Expertise in Europe». Elle est parmi les très rares femmes rhéologues dans le monde. Elle était Présidente du Groupe Français de Rhéologie (2006 – 2009). Elle est actuellement membre d'une des sections de l'ANR et elle a eu plusieurs responsabilités au sein du Groupe Français des Polymères, de l'Association Française de mécanique et de la Société Européenne de Rhéologie.



Elle est coéditrice de deux journaux internationaux (Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics et Rheologica Acta) et aussi membre de l'Editorial Board de Journal of Applied Rheology and Engineering Sciences.

Pr. El Kissi a encadré une trentaine de thèses de doctorat, une soixantaine de mémoires de maîtrise. Elle a à son actif 42 publications internationales rapportées dans les bases de données internationales comme Web of Science et Scopus et possède un h-index de 21. Elle a aussi à son actif 6 brevets d'invention et une trentaine de conférences Keynotes et plénières. Elle a récemment obtenu le Prix de la Société de Rhéologie.

Ses travaux de recherche portent sur la rhéologie et la stabilité des écoulements de mise en forme des polymères fondus et ainsi que sur les polymères conducteurs et les nanocomposites.

Finalement, Dr. EL KISSI s'implique activement dans l'initiative Sciences pour Tous notamment auprès des jeunes lycéens.

Je demande à Madame EL KISSI de se lever, je vous félicite et je vous souhaite au nom de notre Académie la bienvenue.

**Wafa SKALLI**, née en 1957, elle est mère de deux enfants. Elle a obtenu son diplôme d'Ingénieur des Arts et Métiers (France) en 1980, et un Doctorat en génie mécanique de l'ENSAM de Paris en 1983. Elle a eu par la suite l'Habilitation à diriger les travaux de recherche à l'Université Paris-6 en 1992. Elle est actuellement Professeur des Universités de classe exceptionnelle, Directrice de l'Institut de Biomécanique Humaine Georges CHARPAT qu'elle a elle-même créé. Pr. SKALLI a eu de nombreuses responsabilités scientifiques. Elle a dirigé le laboratoire de biomécanique de 2006 à 2013 après en avoir été Directrice Adjointe pendant 6 ans. Elle est membre de l'Editorial Board de la revue Computer Methods in Biomechanics and Biomechanical Engineering et membre fondateur de la section France de Computer-assisted orthopedic surgery. Elle a plusieurs prix et honneurs. Elle est membre libre de l'Académie Nationale de Chirurgie en France. Elle a eu en 2014 le Prix National de cette Académie et le Prix du chercheur confirmé (2014), Prix NISSIM (2014) décerné par les ingénieurs Arts et Métiers ainsi que le Prix du meilleur partenariat industriel 2006 décerné par la Fondation Arts et Métiers.



Elle est Lauréate en 2001 de la Fondation Yves Cotrel pour la recherche (de l'Institut de France) en pathologie rachidienne. Elle a à son actif 199 publications rapportées dans les bases de données internationales Web of Science et Scopus, un h-index de 31 et 7 brevets d'inventions. Les recherches du Pr. SKALLI portent sur la biomécanique pour mieux comprendre les mécanismes de dégradation et ainsi contribuer à l'amélioration et à la conception des implants orthopédiques. Elle est co-inventeur du système IOS.

Je demande au Pr. SKALLI de se lever. Je vous félicite et je vous souhaite au nom de notre Académie la bienvenue.



**Rachid YAZAMI**, né en 1954 à Fès. Ingénieur lauréat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (1978), et titulaire d'un doctorat du même institut en 1985. Après sa thèse de doctorat, il rejoint le CNRS en tant que chercheur associé avant d'être promu en 1998 au titre de Directeur de recherches CNRS. Entre 2000 et 2010 il était professeur visiteur au California Institute of Technology et depuis 2010 il est détaché à l'Université NANYANG de technologie à Singapour où il dirige le programme de batteries à l'Institut de recherche en énergie.



Dr. YAZAMI a et a eu toujours de nombreuses responsabilités notamment le poste de Président de l'Association Internationale sur les batteries. Il a eu plusieurs Prix et honneurs internationaux, notamment le prix de la science pour la paix de l'OTAN, la médaille 2012 de I3E pour l'environnement et la sécurité. Il est co-lauréat 2014 du prestigieux Prix DRAPER qui est décerné annuellement par l'Académie Nationale des Etats Unis d'Ingénierie à l'échelle internationale. Ce prix a été créé en 1988, en hommage à son fondateur DRAPER qui était un pionnier dans la navigation inertielle, et récompense un travail exceptionnel effectué par Dr. YAZAMI et qui remonte à la période où il effectuait sa thèse de doctorat intitulée : Composés d'insertion du graphite dans les générateurs électrochimiques au Li-ion. Il a en effet à l'époque réussi à insérer du lithium dans du graphite de façon réversible. Pour la première fois le graphite est exploité pour sa capacité de stockage de charges électriques, principe fondamental du fonctionnement du pôle négatif d'une batterie. Ses travaux de recherche ont été à la base de la création de la batterie au lithium. Selon les banques de données internationales Web of Science et Scopus, Dr YAZAMI a à son actif 105 publications internationales, un h-index de 26 et 50 brevets d'inventions.

Dr. YAZAMI a ensuite créé deux compagnies dont il est CEO. A l'occasion de la fête du Trône 2014, il était honoré par Sa Majesté Le Roi, que Dieu Le protège, et décoré du Wissam Al Kafia Al Fikria.

Je demande au Dr. YAZAMI de se lever. Je vous félicite et je vous souhaite au nom de notre Académie la bienvenue.

**El Hassan BELARBI HAFTALLAOUI**, né en 1965 à Nador, il est père de 3 enfants. Il a obtenu une Licence en Chimie de l'Université Mohammed V à Rabat en 1993 et un Doctorat en Génie Chimique à l'Université d'Almería (Espagne) en 1999. Il est Professeur titulaire en génie chimique dans cette même université où il détient la Chaire Euro-Arabe de l'environnement et du Développement Durable. Il est également en charge de la coopération internationale à la même université. Il travaille sur les biotechnologies des microalgues pour la production du biodiesel mais aussi la production des acides gras polyinsaturés et de l'oméga-3. Il a dirigé et codirigé une dizaine de thèses de doctorat. Il a à son actif une trentaine d'articles avec un h-index de 11



Je demande au Pr. HAFTALLAOUI de se lever. Je vous félicite et je vous souhaite au nom de notre Académie la bienvenue.

**Redouane TAOUIL**, né en 1953 à Casablanca, il a obtenu sa thèse de 3<sup>ème</sup> cycle en 1980 et le Doctorat d'Etat en 1993. Il est devenu professeur agrégé en 1998. Il est actuellement professeur des sciences économiques à l'Université de Grenoble.



Ses travaux de recherche portent sur le modèle macroéconomique, la politique macroéconomique et l'épistémologie. Il a dirigé et codirigé une dizaine de thèses de doctorat et une centaine de mémoires de Master. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages individuels ou collectifs aussi bien en français, en anglais qu'en espagnol. Il a publié divers articles dans des revues internationales spécialisées dans l'économie. Il participe aux côtés de notre collègue Nouredine EL AOUI à l'animation de la revue Critiques économiques et à des travaux sur l'économie marocaine. Toujours avec notre collègue Nouredine EL AOUI, il participe activement à l'animation de l'Ecole Thématique annuellement au profit des doctorants en sciences économiques.

Pr. TAOUIL est membre de plusieurs instances notamment du comité de l'instance Nationale d'Evaluation et du Comité d'experts de l'ONU en Afrique à l'Institut Royal des Etudes Stratégiques.

Je demande au Pr. TAOUIL de se lever. Je vous félicite et je vous souhaite au nom de notre Académie la bienvenue.

## Désignation du nouveau Directeur des Séances

- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances sortant)

Compte tenu du temps, nous allons passer si vous le voulez bien directement à l'élection du nouveau Directeur des Séances. Si vous le permettez, je me permets de vous suggérer le Pr. Tijani BOUNAHMIDI comme prochain Directeur des Séances.



(Applaudissements d'approbation)

- **Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Nouveau Directeur des Séances)

Monsieur le Secrétaire Perpétuel,

Monsieur le Chancelier,

Mesdames et Messieurs les membres de l'Académie,

Je vous remercie pour votre confiance et j'espère être à la hauteur de la direction de vos travaux pendant cette année 2015-2016. Je remercie le Pr. Mahfoud Ziyad pour la bonne direction des travaux qu'il a conduits avec calme et sérénité. J'espère être à la hauteur et assurer cette tâche avec la même performance.



- **Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Nous passons tout de suite à la conférence inaugurale qui sera donnée par le Pr. Juan Carlos CASTILLA, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques; il va nous parler de: "Natural and societal-induced environmental hazards: integrate interdisciplinary long-term research strategy for developing countries".

A vous la parole Pr. CASTILLA.

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

***Juan Carlos CASTILLA***

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



### **Abstract**

Natural stochastic and societal-induced hazard events (S-IHEs), such as meteorological, climate, hydrological, geophysical and biological, are part of the so called “*science of natural and societal-induced hazards and disaster risk*”. In the past 50 years world impacts due to natural and NS-IHEs have increased about one order of magnitude, showing severe increases in economical damages. Moreover, over 90% of the population affected by them refers to events such as flooding, windstorms and droughts, with a mean of about 200,000 people directly affected per year.

In my view the “hard-science” behind natural and S-IHEs involve basic disciplinary research as well as in the so called mission integrative and multidisciplinary research. In the area of natural hazards and S-IHEs there is an urgent need for disciplines to truly “talk-each-other” in an integrative way. Chile is a developing country facing numerous and dreadful natural and S-IHEs and therefore, scientific research (preparation, response, recovery, mitigation) and linkages with policy making and government, need to be part of integrate interdisciplinary long-term scientific research strategies.

---

(\*) Opening address of the Solemn Plenary Session of the Hassan II Academy of Science and Technology of Morocco, on «Natural Hazards: earthquakes, storms and extreme climate phenomena». February, 2015.

The paper describes, with details, a research multidisciplinary initiative (FONDAP Programs) highlighting long-term results regarding first world class publications, that may serve as an example for building natural and S-IHEs investigative and the design of public policy strategies in other developing countries.

## 1. Introduction and definitions

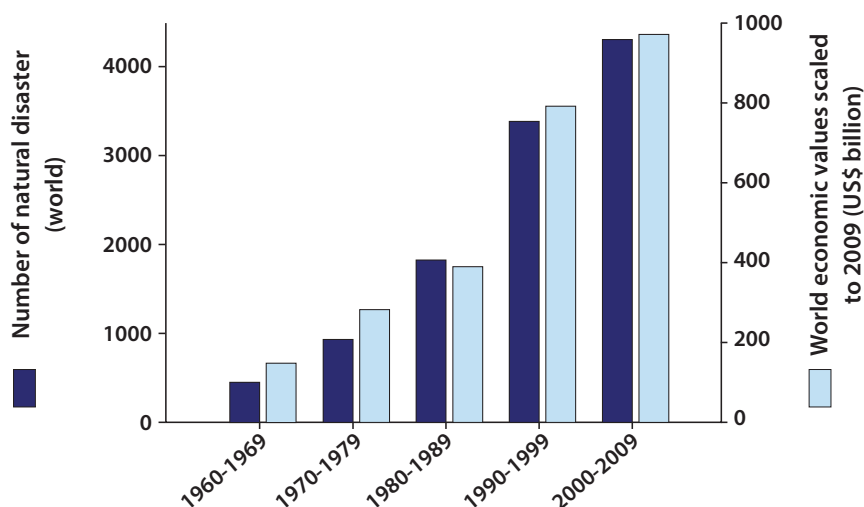
Natural stochastic and societal-induced hazard events (S-IHEs), some times sudden and violent and extreme in magnitude such as: a) meteorological (wind-storms, typhoons, hurricanes extreme temperatures); b) climate (droughts, wildfires); c) hydrological (flooding, landslides); e) geophysical (earthquakes, volcano eruptions, tsunamis); f) biological (infectious diseases), are part of the so called “*science of natural and societal-induced hazards and disaster risk*” (other type are the so called technological impacts, such as those related to oil spills, explosions, transport , other). When these events cause severe damage to society are called disasters or catastrophes (in the last case referring to an extreme disaster event). According to the International Agreed Glossary of Basic Terms to Disaster Management [1] the definition for disaster is: “*Situation or event, which overwhelms local capacity, necessitating a request to national or international level for external assistance*”. Although, natural disaster specialists ([www.atlantisinireland.com/hazards.php](http://www.atlantisinireland.com/hazards.php)) had suggested an alternative definition as following: “*A physical natural event (and/or societal-induced event) that kills people or overwhelms local capacity for damage control or recovery*” (parenthesis introduced by the author).

In this paper I have introduced the concept of societal-induced hazard event as a complement to fully natural hazard events. The goal is to call attention not only to the fact that there is an increase interaction between natural hazards and societal conditions (i.e. due to poverty, overpopulation, human modification of the environment, inadequate human settling areas, other), that has led to an every-day increase risky hazard-prone areas; but moreover, to the fact that the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [2] reported that: “*The IPCC is now 95% certain that humans are the main cause of current global warming. In addition, the SYR finds that more human activities disrupt the climate, the greater the risks of severe, pervasive and irreversible impacts for people and ecosystems, and long lasting changes in all components of the climate system*”. This, indeed, is directly linked to several of the above listed recurrent “natural hazards”, particularly those related with meteorological, hydrological, climate and biological factors. Furthermore, the IPCC [2] Report indicates: “*anthropogenic green house gas emissions have increased since the pre-industrial era, driven largely by economic and population growth, and are now higher than ever. This has led to atmospheric concentrations of CO<sub>2</sub>, methane and nitrous oxide that are unprecedented at least in the last 800,000 years. Their effects, together with those of other anthropogenic drivers, have been detected throughout the climate system and are extremely likely to have been the dominant cause of the observed warming since the mid-20 century*”.

So, today there is “*a very likely probability*” (= 90-95%; [2]) that many extreme weather and climate changes events are linked to societal influences. For instance: decreases in cold temperature extremes, increases in warm temperature extremes and abnormal heavy precipitations, have been observed in numerous regions of the world, and many of them

are directly linked to flooding, waves of droughts, wildfires and landslides hazard events; ought to be considered as societal-induced or driven environmental hazard events.

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



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

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

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

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

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

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

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

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

In 1967 Chile, presently a country member of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), started a plan to seriously develop science, technology, innovation and the training of human capital. That year it was established the Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) (National Commission for Scientific and Technological Research), under the Ministry of Education, as an advisory body to the



President of the Republic. CONICYT mission is: “*advancing the training of human capital, and promoting, developing, and disseminating scientific and technological research... aiming to contribute to Chile’s economy, social, and cultural development*”. CONICYT provides resources for highly competitive funding calls and creates opportunities for coordination, networking and designs strategies to implement scientific public awareness. Presently this agency administers a set of 12 different major programs, for example on: Equipment Funding, Science Divulcation and Fellowships ([www.conicyt.cl](http://www.conicyt.cl)).

Additionally, in 1982 was created the Fund for National Scientific and Technological Development (FONDECYT), that has financed several competitive research programs; out of which, one of the most important one is the so called “FONDECYT: Regular Scientific Program in all scientific disciplines: Natural, Cultural and Formal Sciences ([www.fondecyt.cl](http://www.fondecyt.cl)), with financing windows of 2-4 years per project. Furthermore, this agency, manages a special fund that focus on long-term (up to 10 years per Center) interdisciplinary national scientific excellence and mission oriented scientific programs [6, 7], selecting Chilean priorities areas, call FONDAP “Fund for Research Centers on Priority Areas” (Fondo de Financiamiento de Investigaciones en Areas Prioritarias“.

FONDAP Programs started in 1997 and provide long-term funds for research centers of excellence for Chile’s development. The goal being to articulate teams of national outstanding researchers (selected on the basis of scientific productivity) in priority areas, aiming to consolidate them guided by interdisciplinary, national and international networking approaches and, centrally, aiming to the training of young scientists (human capital). A third Program is called FONDEF, directed to strategic-problem solving aspects of science, technology or industry, which is jointly financed with the industry (up to 4 years per project). The scientific policy behind these programs, especially behind the FONDAP initiative, is aiming for networking, first world class paper productivity and first world class personnel training [8, 9]. Selection of proposals and controls occur every 2-3 years under the responsibility of international panels of experts.

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

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

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

#### **4. The FONDAP “Center National Research Center for the Integrated Management of Natural Disasters” (CIGIDEN)**

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

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

Chile is an emerging country (*ca.* 20,000 US dollar per year, per capita), and member of the OEDC. In the area of Science and Technology (S&T) Chile operates, so far, with research financing agencies (see above) and has not contemplated a Ministry of Science and Technology. In 2012, S&T Chile’s investment was of around 0.35% of GDP (*ca.* 700-800 million of US dollars); while the mean S&T investment for OEDC countries was of 2.4% of GDP. The low Chilean investment in S&T means that research strategies need to be thoroughly thought. Hence, it is my view that experience gained along nearly 50 years of well organized and highly respected (by scientists and society) S&T funding system in Chile has paved its academic and societal way to maturity. Part of that has been to maintain a major basic research program (Regular FONDECYT Research Program; with investment of around 50 million of US dollars per year; as well as a S&T Research Strategic Programs, Fellowships, other), based under a predictable and regular financing system. On the other hand, the FONDAP initiative can be highlighted as the most scientifically successful program in Chile and of high world standard. For instance, 85% of FONDAP Centers originated papers that are published in Quartile 1 (Q1) indexed journals and the normalized impact of those publications are about 10% above the world mean. Furthermore, Chile is a leader country in scientific publications (and paper impacts) within the Latin-America subcontinent [9].



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

Chile is a country facing numerous, repetitive and dreadful natural and S-IHES, such as earthquakes and tsunamis (Fig. 2; [11, 12, 13]), volcano eruptions, flooding, drought and large wildfire and landslide events. Therefore, scientific research (preparation, response, recovery, mitigation) and linkages with policy making and government agencies need to be part of integrate interdisciplinary long-term research strategies. The Chilean S&T FONDAP initiative is one of them; and a highly successful one; that perhaps it may be used as a model by other developing or emerging countries. Above all the FONDAP model may be used as a template to incentivize and get going interdisciplinary S&T research of first world class in third world countries. The scientific disciplines (Natural, Cultural and Formal sciences) have to talk-each-other. Moreover, this is a must in developing world countries, where the number of scientists is low and showing rather poor financing schemes.

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

## References

- [1] United Nations Department of Human Affairs (UN-DHA). Glossary of Basic Terms to Disaster Management. Geneva. 81 pp. 1992.
- [2] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the IPCC (Core writing team, Pachauri R.K. & L.A. Meyer; eds). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2015.
- [3] Guha-Sapir D., R. Below & Ph. Hoyois. Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). EM DAT: International Disasters Database. Université Catholique de Louvain. Brussels, Belgium. 2009. [www.emdat.be](http://www.emdat.be)
- [4] United Nations International Strategy for Disaster Reductions (UN-ISDR). Geneva, Switzerland. [www.unisdr.org](http://www.unisdr.org).
- [5] International Council for Science (ICSU). A Science Plan for Integrated Research on Disaster Risk. Addressing the challenge of natural and human-induced environmental hazards. 64 pp. 2008.
- [6] Stokes D.E. Pasteur Quadrant: Basic Science and Technology Innovation. Brookings Institution Press. Washington, D.C. 1997.
- [7] Castilla, J.C. Revisiting the Pasteur Quadrant, Post-normal Science and Strategies for Research on Natural Hazards and Disasters. *Frontiers in Science and Engineering* 5 (1) : 35-42. 2015.
- [8] Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad, Chile (CNIC). Agenda de Innovación y Competitividad 2010-2020. 2011 Evaluation Report of National Innovation Strategy for Competitiveness. Chile International Panel. Santiago. Pp. 111-156. 2011.
- [9] de Moya-Anegón, F & collaborators. Principales Indicadores Cienciométricos de la Actividad Científica Chilena. Informe 2014: Una mirada a 10 años. SCImago Research Group. CSIC-CCHS, Instituto de Políticas y Bienes Públicos. Madrid-Valparaíso. 286 pp. 2014.
- [10] Iniciativa Científica Milenio (ICM). Vínculos con la Industria, el sector público y al educación de los Institutos y Núcleos Científicos Milenio: 2002-2013. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo Chile. 39 pp. 2013. [www.iniciativamilenio.cl](http://www.iniciativamilenio.cl) / [www.icm.gob.cl](http://www.icm.gob.cl).
- [11] Castilla, J.C., P. Manríquez & A. Camaño. Effects of rocky shore coseismic uplift and the 2010 Chilean mega-earthquake on intertidal biomarkers species. *Marine Ecology Progress Series* 418 : 17-23. 2010.
- [12] Farías, M., G. Vargas, A. Tassara, S. Carretier, S. Baize, D. Melnick & K. Bataille. Land-level changes produced by the Mw 8.8 2010 Chilean earthquake. *Science* 329: 916. 2010.
- [13] Marín, A., S. Gelcich, G. Araya, G. Olea, M. Espíndola & J. C. Castilla. The 2010 tsunami in Chile: devastation and survival of coastal small-scale fishing communities. *Marine Policy* 34 : 1381-1384. 2010.

## DISCUSSION

### - Pr. Tijani BOUNAHMIDI (Directeur des Séances)

Merci Pr. CASTILLA pour cette conférence très importante, qui a décrit les principaux risques naturels et entropiques vécus dans les pays en développement, notamment en Amérique Latine et au Chili, les stratégies nationales en la matière ainsi que les capacités en Recherche-Développement qui ont été développées.

Nous pouvons prendre quelques questions si vous le souhaitez.

### - Membre de l'audience

Je vous remercie monsieur le professeur. Depuis très longtemps, je m'intéressais à ce sujet depuis le principe de Laurence qui a utilisé justement la théorie du chaos pour prévoir des phénomènes songeant aucun résultat. Y a-t-il eu des progrès dans ce secteur?

### - Pr. Juan Carlos CASTILLA (CSTETM)

No soy un especialista del sujeto y entonces no tengo una repuesta concreta al respecto.

### - Pr. Carlos MARTINEZ-ALONSO (CSTV)

Muchas gracias Juan Carlos por la excelente presentación. Hay dos cuestiones que a mí me interesa. Una de los dos concierna el conocimiento oral o el saber popular que trata de los fenómenos naturales. En el segundó caso, el cambio climático, nadie tiene experiencia. El único argumento que nos queda es el conocimiento científico (previsiones, los modelos et las conclusiones) que nos permitan a entender para prevenir os desarrollar modelos para prevenir consecuencias. Como discriminamos aquel saber popular tiene un aspecto mitológico? Esta es la primera parte de la pregunta.

La segunda parte de la pregunta es no hay muchas experiencias en láquelas la ciencia en servicio de uno proyecto objetivo. La ciencia creada o basada simplemente en la creatividad.

### - Pr. Juan Carlos CASTILLA (CSTETM)

Gracias Carlos.

**- Pr. Albert SASSON (CSTV)**

También Juan Carlos muchísimas gracias.

Evidemment, pour les risques naturels nous avons une journée et demie pour en discuter, donc je ne m'appesantirais pas là-dessus. Mais ce que je crois retenir c'est donc un commentaire et pas une question à Juan Carlos CASTILLA. Si mes collègues se souviennent, à la session précédente, il avait déjà beaucoup insisté sur cette conjugaison des efforts entre les chercheurs, les techniciens, les ingénieurs et la société. Au fond, il illustre de nouveau à la lumière de l'exemple des risques naturels (et nous en avons pas choisi beaucoup, nous en avons choisi que trois et notamment les phénomènes climatiques extrêmes) qu'en effet si la partie qu'il appelle sociétale ou sociale manque nous n'allons pas appréhender tout le problème et encore moins le régler. Comment nous en sortir? Il a donné l'exemple du Chili où il dit voilà un petit pays de 22.000 US\$ de PIB avec 0,4% de budget consacré à la recherche, nous sommes un peu surpris. Mais en même temps il nous montre que par l'organisation de cette recherche et par la création de ces centres qui sont financés grâce à un fond (CONICET) qui démontre comment on arrive en fait à créer cette conjugaison des efforts. Je suis donc reconnaissant à notre collègue de nous avoir donné de nouveau sa conviction forte mais cette fois en nous donnant l'exemple du Chili.

Je crois que c'est cela qu'on apprend de nos collègues associés, c'est qu'on apprend d'autres façons de voir et de faire les choses qui peuvent nous inspirer dans notre pays.

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI (Directeur des Séances)**

Sur ce je tiens à remercier le Pr. CASTILLA et toutes les personnes qui sont intervenues, par leurs questions, et ont contribué à enrichir le débat.

La séance est levée.

**SÉANCE I :**  
**PHÉNOMÈNES CLIMATIQUES EXTRÊMES**

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Bonjour, nous commençons donc la séance de ce matin qui sera consacrée aux phénomènes climatiques extrêmes. Elle se déroulera en deux étapes et sera suivie par la séance de présentation des nouveaux membres de l'Académie. Je vous demande de bien vouloir respecter le timing pour que l'on puisse réaliser tout le contenu du programme.

Alors je passe la parole à M. MOKSSIT qui est le Directeur de la météorologie nationale et membre correspondant de notre Académie pour présenter sa conférence intitulée : «Présentation générale des phénomènes climatiques extrêmes : cas du Maroc».



## PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES PHÉNOMÈNES CLIMATIQUES EXTRÊMES : CAS DU MAROC

***Abdellah MOKSSIT***

*Directeur de la météorologie nationale  
Casablanca, Maroc*

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



### Résumé :

Le changement climatique<sup>1</sup>, qui affecte la plupart des pays du monde, présente des disparités régionales. L'Afrique du Nord serait, à ce titre, particulièrement touchée puisqu'elle devrait subir un réchauffement supérieur à la moyenne du globe et une diminution plus importante des précipitations.

Ainsi, le Maroc subit l'impact du changement climatique, comme il ressort des études nationales réalisées à ce jour. Celles-ci (DMN 2007) ont montré que durant les quarante-cinq dernières années, les régions qui étaient classées sous climat humide et subhumide régressent au profit des régions à climat semi-aride et aride ; en témoignent l'augmentation de la température annuelle moyenne estimée à 0,16°C par décennie et la baisse des précipitations printanières de 47% à l'échelle nationale.

Les projections établies par la Direction de la Météorologie Nationale prévoient une augmentation des températures moyennes estivales de l'ordre de 2 à 6°C et la diminution de 20% en moyenne des précipitations d'ici la fin du siècle.

---

1- «le changement climatique est un changement du climat attribuable directement ou indirectement à l'activité humaine qui altère la composition de l'atmosphère globale et qui s'ajoute à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes comparables» (Article 1 de la CCNUCC).

Le changement climatique pourrait concerner :

L'insécurité alimentaire : la raréfaction des ressources en eau et la détérioration des sols risqueraient d'aggraver les insuffisances de la production agroalimentaire. La santé des populations à cause des modifications observées dans la répartition géographique des maladies à vecteur (paludisme, choléra), La vulnérabilité des régions littorales ; Le risque est réel dans les zones où il y a conjonction de la vulnérabilité naturelle du site et de la détérioration des protections naturelles (Tanger, Mohammedia, Saidia...). L'érosion et la biodiversité : l'aridification du climat au nord du pays a déjà provoqué la migration altitudinale et latitudinale des espèces pré-désertiques. L'ampleur des migrations : le changement climatique pourrait provoquer des mouvements migratoires là où les marges d'adaptation des populations seraient épuisées.

Tout en poursuivant la mobilisation des ressources en eau et en s'engageant résolument dans l'exploitation des sources d'énergie renouvelables, le Maroc doit adopter une stratégie d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de ses conséquences, présentée selon une triptyque développement du Savoir-Réagir-Prévenir avec comme objectif l'installation d'une Vigilance Climatique réduisant la vulnérabilité, renforçant la résilience réussissant une adaptation aussi bien réactive que planifiée et souscrivant dans tout effort d'atténuation ; cette stratégie est articulée autour de six axes :

- développer une expertise nationale dans les domaines du changement climatique,
- accélérer le rythme de développement humain durable en l'adaptant au changement climatique,
- tenir compte de l'impact du changement climatique dans la mise en œuvre des stratégies sectorielles de développement,
- inscrire le développement du Maroc dans le concept de l'économie «verte/bleue»,
- améliorer la gouvernance de l'adaptation au changement climatique,
- saisir les opportunités de financement et de coopération internationale et renforcer la visibilité du Royaume sur la scène internationale.

## **1. Introduction : Messages du 5<sup>ème</sup> rapport pour le Maroc**

L'année 2014 a connu la publication du 5<sup>ème</sup> rapport du Groupe Intergouvernemental des Experts en Changement Climatiques (GIEC) [Annexe 1] qui consacre les 4 messages clés suivants :

- L'influence humaine sur le système climatique est Claire,
- La poursuite des émissions de gaz à effet de serre augmentera le risque d'impacts graves, répandus et irréversibles pour les populations et les écosystèmes,
- Alors que les changements climatiques représentent une menace pour le développement durable, il existe de nombreuses opportunités pour intégrer l'atténuation, l'adaptation, et la poursuite d'autres objectifs sociétaux,

- L'Humanité a les moyens de limiter les changements climatiques et de construire un avenir plus durable et plus résilient.

Les impacts des Changements Climatiques sur les secteurs socioéconomiques ont été également évalués on donne ci-dessous ceux relatifs aux ressources en eau et agriculture et pêche.

### **1.1. Ressources en eau**

Une réduction de la quantité de neige dans les montagnes de l'Atlas résultant du réchauffement et de la diminution des précipitations, combinée à une fonte des neiges printanières devrait amener à une diminution de la quantité d'eau dans les plaines du Maroc (García Ruiz & al. 2011).

#### ***1.1.1. Pêche et aquaculture***

Les impacts du changement climatique sur les réserves de poissons marins devraient affecter l'économie de la pêche et les moyens de subsistance dans les pays qui vivent de la pêche. Il y aura des changements dans les prix du poisson, dans les couts de la pêche, dans les revenus des pêcheurs et des entreprises de pêche, dans les marches nationaux du travail. Une étude a conclu qu'un certain nombre de pays, dont le Maroc, sont les plus vulnérables (Allision & al. 2009).

#### ***1.1.2. Perspectives d'adaptation (eau)***

- Réduction des facteurs de perturbation non climatique des ressources hydriques ; la gestion de la demande et la conservation sont les méthodes les plus efficaces,
- Renforcement des capacités institutionnelles pour la gestion de la demande, l'évaluation des ressources, la planification et la gouvernance intégrée de l'eau et des eaux usées.

#### ***1.1.3. Perspectives d'adaptation (agriculture)***

- Adaptations technologiques (variétés végétales tolérantes au stress, irrigation, systèmes d'observation perfectionnés, etc,
- Amélioration de l'accès des petits producteurs au crédit et a d'autres facteurs de production essentiels ; diversification des modes de subsistance,...
- Renforcement des institutions à l'échelle locale, nationale et régionale pour appuyer l'agriculture y compris par l'établissement de systèmes d'alerte précoce et politiques favorables à l'égalité des sexes,
- Adaptations agronomiques (agroforesterie, agriculture de conservation).

Le rapport spécial sur les événements extrêmes récemment publié (2012) par le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) confirme l'accélération du rythme des phénomènes extrêmes. Les experts du GIEC ont établi dans leur 5<sup>ème</sup> rapport (2014) que l'accroissement observé de la température moyenne globale est dû à 90% à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES) anthropiques.

Le changement climatique est là selon le constat reporté par la communauté scientifique internationale. A l'échelle de la planète, il s'est déjà manifesté par une hausse des températures de 0,75 °C en moyenne par rapport à 1860, l'élévation du niveau des mers de 1,8 mm/an depuis 1961 (3,1 mm/an depuis 1993) et la recrudescence de phénomènes météorologiques extrêmes à l'origine d'importantes pertes humaines et matérielles (canicules, sécheresses, ouragans, inondations).

Le GIEC a élaboré des projections du climat mondial à l'horizon 2100 qui prévoient notamment le réchauffement de la Terre de 1,8 à 4°C, l'élévation du niveau des mers de 20 à 60 cm et l'augmentation des précipitations aux latitudes élevées ainsi que leur diminution sur la plupart des terres émergées subtropicales.

Le changement climatique, qui affecte la plupart des pays du monde, présente des disparités régionales. L'Afrique du Nord serait, à ce titre, particulièrement touchée puisqu'elle devrait subir un réchauffement supérieur à la moyenne du globe et une diminution plus importante des précipitations.

Ainsi, le Maroc subit l'impact du changement climatique, comme il ressort des études nationales réalisées à ce jour. Celles-ci (DMN 2007) ont montré que durant les quarante-cinq dernières années, les régions qui étaient classées sous climat humide et subhumide régressent au profit des régions à climat semi-aride et aride ; en témoignent l'augmentation de la température annuelle moyenne estimée à +0,16°C par décennie et la baisse des précipitations printanières de 47% à l'échelle nationale.

Les projections établies par la Direction de la Météorologie Nationale prévoient une augmentation des températures moyennes estivales de l'ordre de 2 à 6°C et la diminution de 20% en moyenne des précipitations d'ici la fin du siècle.

Certes, le suivi du temps est l'un des principaux objectifs de la météorologie depuis son existence. Mais pour fournir une 'assistance' en matière de changements climatiques, la DMN s'est intéressée à mieux exploiter l'information météorologique recueillie par tous les moyens d'observations (stations, radars, satellites, etc.).

Ces données sont traduites sous forme d'études et rapports qui visent la mise en exergue de tout signal climatique pouvant refléter la moindre variation ou variabilité du climat.

Dans ce cadre, et en plus des études diagnostiques, statistiques et dynamiques sur :

- la variabilité des précipitations au Maroc,
- les sécheresses et leurs fréquences,
- la relation entre les précipitations au Maroc et le système climatique global : Oscillation Nord Atlantique, structure océanique (SST), El Nino, les modes de téléconnection de l'hémisphère nord, etc. ...

Une liste d'indices de changements climatiques relatifs à différents paramètres météorologiques (environ 27 types d'indices) a été établie et étudiée sous l'angle de la détection des changements climatiques. Ces indices sont utilisés pour le suivi des évolutions du climat marocain et la détection des changements climatiques éventuels.

## **2. Les changements climatiques au Maroc : Généralités, constats, et phénomènes extrêmes**

### **2.1. Tendances et changements relatifs aux paramètres pluviométriques**

L'étude de la variabilité et évolution des indices climatiques relatifs aux paramètres pluviométriques durant les 45 dernières années fait apparaître des changements et tendances significatifs.

#### ***2.1.1. Cumuls de précipitations***

Un changement du régime pluviométrique à l'échelle intra-annuelle a été constaté avec une légère augmentation des précipitations de début de saison en Octobre-Novembre et un déclin de celles du cœur et de fin de saison. Ce déclin, statistiquement significatif, avoisine -26% pour les précipitations cumulées de la saison pluvieuse sur toute la région nord-ouest du Royaume. Les précipitations printanières montrent des tendances à la baisse significatives de l'ordre de -47% à l'échelle nationale. Celles de l'hiver montrent un déclin surtout dans les régions de l'intérieur, mais il reste statistiquement non significatif. [Annexe 2.1.1]

#### ***2.1.2. Evènements extrêmes de précipitations***

En termes d'évènements extrêmes, le début et le cœur de la saison pluvieuse montrent une augmentation des cumuls dus aux très fortes précipitations, mais elle est en moyenne faible et non significative.

La distribution géographique des fortes précipitations annuelles montre des tendances à la hausse élevées sur l'extrême nord-ouest et la zone d'Agadir mais, aussi statistiquement non significatives.

A l'inverse, en Février-Mars-Avril, on constate une tendance à la baisse des cumuls dus aux fortes et très fortes précipitations. Cette baisse est significative et importante pour les fortes précipitations. Sur la région Nord-Ouest la baisse est de 38 mm en 45 ans. A l'échelle nationale, la baisse est de 23 mm en 45 ans ; soit plus que le quart de la valeur maximale enregistrée sur la période 1962-2005. [Annexe 2.1.2]

#### ***2.1.3. Indices de sécheresse***

L'étude des indices de changements climatiques relatifs aux sécheresses montre un allongement des périodes intra annuelles de sécheresse et donc une augmentation de leur persistance temporelle. Cet allongement est significatif en Février-Mars-Avril ; période importante pour l'agriculture nationale, et atteint en 45 ans, une valeur de +15 jours à l'échelle nationale et +13 jours au Nord-Ouest. Le début de la saison pluvieuse (Septembre-Octobre) fait apparaître des tendances au raccourcissement mais faibles et non significatives. [Annexe 2.1.4]

Il convient de noter que ces résultats montrent que les tendances, déjà décelées sur la période 1964-1998 lors des études précédentes sur le paramètre précipitation (A. Mokssit & R. Sebbari, 1998), ne sont pas relatifs uniquement à cette période. Le régime pluviométrique au Maroc connaît bien un changement significatif.

## **2.2. Tendances et changements relatifs aux paramètres thermiques**

L'étude de la température moyenne annuelle sur tout le Royaume a montré une augmentation significative de celle-ci de l'ordre de 0.16 degrés centigrades par décennie. [Annexe 2.1.3]

### **2.2.1. Vagues de chaleur et de froid**

L'analyse de l'évolution à l'échelle nationale des phénomènes extrêmes de vagues de froid, montre des tendances à la baisse significatives de -0.246 j/an pour le Maroc soit une diminution de 11 jours en 45 ans. La baisse dans l'occurrence des vagues de froid est aussi significative pour le Nord-Ouest mais plus faible.

L'occurrence des vagues de chaleur évolue vers la hausse avec des tendances de même ordre de grandeur que les vagues de froid. Cette évolution est, cependant, statistiquement non significative. Nombre annuel de jours chauds et de jours frais :

Les totaux annuels de jours frais avec des températures maximales ne dépassant pas les 15°C ont connu une nette diminution avec une tendance de -5 jours par décennie.

Ceux des jours chauds avec des températures maximales supérieures à 35°C montrent des évolutions vers la hausse mais faibles et statistiquement non significatives. [Annexe 2.2].

L'évolution des indices thermiques confirme donc le réchauffement observé. La tendance du climat marocain à l'assèchement en dépit de ce réchauffement est certainement accompagnée d'une réduction du contenu en eau du sol et donc d'un déficit dans les ressources hydriques.

## **2.3. Evolution des climats régionaux :**

Etant donné les résultats des études des évolutions et tendances des paramètres température et précipitation et vu les caractéristiques délicates du climat marocain, il est important de voir l'évolution des climats régionaux marocains sous l'angle de l'aspect aridité.

L'indice d'aridité de De-Martonne a été alors calculé pour les différentes stations météorologiques. La valeur annuelle de cet indice s'écrit en fonction des précipitations P et température T :

$$T : I = P/(T+10)$$

Plus cet indice est élevé plus le climat est humide et inversement. La classification proposée par De-Martonne est donnée dans le tableau suivant :

Stations	Types de climat durant 1961-1980	Types de climat durant 1981-2008	Tendances sur 1961-2008 (mm/°C par an)
Tanger	Semi-humide	semi-humide	-0,13
Oujda	Semi-aride	Aride	<u>-0,13</u>
Kénitra	Semi-humide	Semi-aride	<u>-0,12</u>
Rabat	Semi-humide	Semi-aride	<u>-0,11</u>
Fès	Semi-humide	Semi-aride	<u>-0,10</u>
Meknès	Semi-humide	Semi-aride	<u>-0,19</u>
Casablanca	Semi-aride	Semi-aride	<u>-0,10</u>
Ifrane	Humide	Humide	<u>-0,37</u>
Safi	Semi-aride	Semi-aride	-0,07
Midlet	Aride	Aride	<u>-0,09</u>
Essaouira	Aride	Semi-aride	0,01
Marrakech	Aride	Aride	-0,05
Agadir	Aride	Aride	-0,07
Ouarzazate	Hyperaride	Hyperaride	0,01

**Figure 1** - Climate types evolution using De Martonne Index

L'étude de l'évolution des climats régionaux à travers cet indice montre une progression du climat à caractère semi-aride vers le nord du pays. La plupart des stations connaissent une tendance vers la hausse des valeurs de cet indice.

## 2.4. Projections futures des changements climatiques au Maroc

La complexité des processus et interactions régissant les évolutions et mouvements atmosphériques fait du domaine des changements climatiques et de leur prédiction un des plus difficiles à appréhender. En effet, en plus des moyens de calcul robustes et des données climatiques multiples, les hautes compétences scientifiques et techniques en la matière sont plus que nécessaires.

L'outil fondamental utilisé dans l'étude des réponses climatiques aux forçages anthropogéniques et donc pour la prédiction des changements climatiques, c'est les modèles numériques de circulation générale. Les projections futures du climat sont faites suivant des scénarios allant de l'optimiste au pessimiste. Le GIEC a développé une série de Scénarios des émissions futures des gaz à effet de serre, basés sur des suppositions, sur la population, sur la croissance de l'économie, sur l'occupation des sols et sur la disponibilité de l'énergie et les combustibles à l'horizon 2100.

### **2.4.1. Projections issues du GIEC :**

Les principaux changements projetés pour la fin du siècle, selon le quatrième rapport du GIEC, sur notre pays sont les suivants :

- L'augmentation de la température moyenne sur le Maroc, variera entre 2,5°C et 5,5°C. Elle sera plus marquée l'été,
- L'augmentation des températures maximales et de la fréquence des vagues chaudes,
- La diminution de nombres de jours frais et de jour de gel,
- Selon le modèle utilisé, le changement dans les précipitations d'hiver sur le Maroc sera entre -0.1 mm/jour et +0.25mm/jour, celui de l'été entre -0.1mm/jour et +0.75mm /jour induisant en moyenne une diminution de 20%,
- La Tendance vers la diminution de l'humidité du sol,
- Certains modèles projettent l'augmentation de la probabilité des jours secs et des jours consécutifs sans pluie. Là où la moyenne des précipitations décroît, la probabilité de sécheresse croît de façon marquée. Les sécheresses deviendront plus longues et plus sévères.

### **2.4.2. Projections issues du modèle Arpège-Climat :**

Plus récemment, des simulations de scénarios de changements climatiques (IPCC-A2 [présentés en annexe 2.3]) ont été réalisées avec le modèle français ARPEGE-Climat (Météo-France), dont une version est installée sur le calculateur de la DMN, en mode étiré sur le bassin méditerranéen pour les périodes 2070-2099 (climat futur) et 1961-1990 (climat actuel). La forte résolution du modèle (en version étirée) permet de mieux prendre en compte les propriétés de surface qui affectent les distributions géographiques des variables climatiques des pays du domaine dont le Maroc.

Les études et analyses de ces simulations sur le Maroc (Driouech, 2007) montrent les résultats suivants :

#### ***Températures et précipitations :***

Les prévisions de température de ces simulations concordent globalement avec celles du GIEC. Ce scénario (IPCC-A2) donne pour les températures moyennes estivales un réchauffement de l'ordre de 2 à 6°C avec un gradient Est-ouest bien prononcé en été. Les augmentations sont de l'ordre de 2 à 3°C sur la côte atlantique et atteignent les 6°C en se déplaçant vers l'intérieur. Le réchauffement en hiver varie spatialement entre 3 et 5°C avec une répartition spatiale moins contrastée. Les températures maximales sont prévues à subir des augmentations de 2 à 6°C et les minimales des augmentations de 2 à 5°C.

En termes de précipitations moyennes, le scénario donne une diminution des précipitations. Cette diminution est plus marquée, au printemps qu'en hiver. La tendance vers l'assèchement est probablement associée à une baisse du contenu en eau du sol ce qui peut avoir des impacts négatifs sur les ressources hydriques et la végétation.



***Phénomènes extrêmes :***

Afin d'évaluer l'impact des changements climatiques sur les événements extrêmes, une série d'indices de changements climatiques prévus relatifs aux paramètres thermiques et pluviométriques a été élaborée à la fois pour le climat actuel et le climat futur (fortes précipitations, période maximale de sécheresse intra annuelle, vagues de chaleur et de froid etc.). Le scénario A2 donne une augmentation importante du nombre de vagues de chaleurs estivales. Il donne aussi un allongement des périodes intra annuelles de sécheresse, et donc une augmentation de sa persistance temporelle, plus marqué au printemps que sur le reste de la saison pluvieuse.

**3. Impact du changement climatique**

Le changement climatique pourrait concerner :

- L'insécurité alimentaire : la raréfaction des ressources en eau et la détérioration des sols risqueraient d'aggraver les insuffisances de la production agroalimentaire. Des études prévoient qu'à la suite d'une augmentation de la température de seulement 2°C à l'horizon 2080, les zones agro-écologiques favorables se trouveraient réduites. Les rendements agricoles pourraient baisser de 33% d'ici la fin du siècle dans certaines régions.
- La santé des populations à cause des modifications observées dans la répartition géographique des maladies à vecteur (paludisme, choléra) dans des régions où ces maladies n'existaient pas auparavant : Cette situation pourrait être aggravée par une offre sanitaire limitée et par les insuffisances du système de veille et d'alerte épidémiologiques.
- La vulnérabilité des régions littorales : la forte densité des populations et des activités humaines dans ces régions (60% de la population marocaine et 52% de l'activité touristique) seraient menacées par l'élévation du niveau des mers. Le risque est réel dans les zones où il y a conjonction de la vulnérabilité naturelle du site et de la détérioration des protections naturelles (Tanger, Mohammedia, Saidia...).
- L'érosion et la biodiversité : l'aridification du climat au nord du pays a déjà provoqué la migration altitudinale et latitudinale des espèces pré-désertiques. L'adaptation de plusieurs espèces pourrait se trouver dépassée par le rythme du changement climatique. A l'horizon 2050, 22% de la flore et plusieurs espèces d'oiseaux et de mammifères pourraient ainsi disparaître.
- L'ampleur des migrations : le changement climatique pourrait provoquer des mouvements migratoires là où les marges d'adaptation des populations seraient épuisées. Le Maroc serait doublement concerné du fait de l'intensification de la migration interne et de la migration sub-saharienne.

#### 4. Conclusion : Vers une stratégie d'adaptation et d'atténuation ciblée

Tout en poursuivant la mobilisation des ressources en eau et en s'engageant résolument dans l'exploitation des sources d'énergie renouvelables, le Maroc doit adopter une stratégie d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de ses conséquences, présentée selon une triptyque développement du Savoir-Réagir-Prévenir avec comme objectif l'installation d'une Vigilance Climatique réduisant la vulnérabilité, renforçant la résilience réussissant une adaptation aussi bien réactive que planifiée et souscrivant dans tout effort d'atténuation ; cette stratégie est articulée autour de six axes. Pour cela il doit :

- *Développer une expertise nationale dans les domaines du changement climatique:*  
Il est impératif de développer les capacités du pays dans le domaine du savoir météorologique, de la vigilance climatique, de l'analyse du fonctionnement des écosystèmes et de la prévention des risques. Outre la mise en place d'observatoires régionaux de suivi de la vulnérabilité des systèmes naturels et humains, l'université et les écoles d'ingénieurs devraient contribuer à la formation de climatologues et de spécialistes des techniques d'adaptation au changement climatique et d'atténuation des risques encourus. La mise en place d'une structure scientifique permanente qui fédérerait les compétences nationales serait bienvenue. Elle constituerait une plateforme au service de la collecte et de l'analyse des données et un moyen d'orienter la prise de décision en matière de politiques publiques d'adaptation au changement climatique.
- *Accélérer le rythme de développement humain durable en l'adaptant au changement climatique :* Le développement humain peut en effet répondre efficacement au changement climatique, grâce à l'éducation et à la sensibilisation des citoyens au concept de durabilité, à la mise à niveau de l'infrastructure de santé publique et d'un dispositif de veille sanitaire performant, au renforcement de la sécurité alimentaire (gestion des ressources en eau, sélection de variétés de plants tolérantes à la sécheresse, y compris les cultures génétiquement modifiées), à l'utilisation prépondérante de sources d'énergie renouvelables et au développement d'une économie «verte».
- *Tenir compte de l'impact du changement climatique dans la mise en œuvre des stratégies sectorielles de développement :* Les grandes stratégies sectorielles doivent être revues en fonction des prévisions climatiques. Il est aussi indispensable de veiller à la cohérence d'ensemble de ces stratégies (eau, agriculture, santé, énergie, tourisme), en plaçant la question de l'eau au cœur des politiques publiques. Le développement du littoral nécessite une approche multisectorielle et intégrée (habitat, aménagement, tourisme, pêche, agriculture).
- *Inscrire le développement du Maroc dans le concept de l'économie «verte/bleue»:*  
Bien qu'il soit un pays à faible émission de gaz à effet de serre (GES), le Maroc gagnerait à développer l'économie verte, pour tirer profit des opportunités en termes de croissance et d'emplois qui y sont associés, préserver la durabilité de son

modèle de développement et se préparer dès à présent aux nouveaux impératifs de la compétitivité «verte». A cet effet, une feuille de route pour la croissance économique «verte» mérite d'être élaborée, en vue de recourir de façon croissante aux technologies «vertes» et de réduire l'empreinte carbone de toutes les activités.

- *Améliorer la gouvernance de l'adaptation au changement climatique* : Un plan national d'adaptation, avec des objectifs précis, des financements appropriés, et ancré dans les régions, devrait être élaboré. Pour faciliter sa mise en œuvre, il serait utile de créer un mécanisme national de concertation pour coordonner les positions des secteurs socio-économiques du pays. Dans la charte nationale de l'environnement, il serait souhaitable de prévoir un code de bonne conduite en matière de réduction des GES, de la qualité de l'air ainsi qu'une «police anti-pollution» dotée de moyens d'intervention.
- *Saisir les opportunités de financement et de coopération internationale et renforcer la visibilité du Royaume sur la scène internationale* : Le Maroc doit bénéficier des mécanismes de coopération internationale, du transfert de technologies et des possibilités de financement offertes dans le cadre de l'adaptation au changement climatique et de la réduction de ses risques, par exemple, au titre du statut avancé dans l'Union Européenne. Par ailleurs, il serait nécessaire de prendre des initiatives à l'échelle régionale, par exemple, en faveur de la coopération Sud-Sud sur les questions liées au développement durable.

## Annexes

### Annexe 1 : Résultats du 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC

#### 1.1. Le GIEC

Etabli en 1988 par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP) à la demande du G7, Le GIEC a pour mandat d'évaluer, sans parti pris et de manière méthodique, claire et objective, les informations scientifiques, techniques et socio-économiques disponibles en rapport avec la question du changement climatique d'origine humaine. Le GIEC travaille à rendre compte des différents points de vue et des incertitudes, tout en dégagant clairement les éléments qui relèvent d'un consensus de la communauté scientifique. Il n'est donc pas un organisme de recherche, mais un lieu d'expertise visant à synthétiser des travaux menés dans les laboratoires du monde entier. Le Groupe est organisé en trois groupes de travail :

- Groupe I : étudie les principes physiques du changement climatique ;
- Groupe II : étudie les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique ;
- Groupe III : étudie les moyens d'atténuer le changement climatique.

## 1.2. Les éléments du 5<sup>ème</sup> rapport

**Messages clés**  
**19 points**

**Résumé pour Décideurs**  
~14,000 mots

**14 Chapitres**  
**Atlas des projections**

**54,677 commentaires**  
**de 1089 experts**

**259 auteurs**  
**et 600 contributeurs**

**9200 publications citées**



ipcc  
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

**CLIMATE CHANGE 2013**  
*The Physical Science Basis*

WG I

WORKING GROUP I CONTRIBUTION TO THE  
FIFTH ASSESSMENT REPORT OF THE  
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

WHO UNEP

OBSERVATION

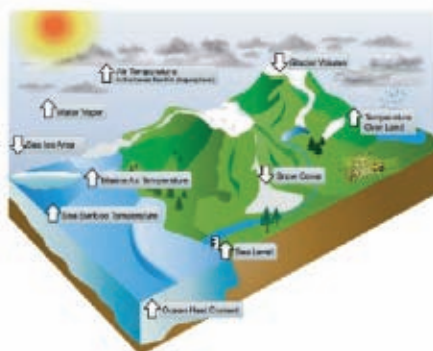
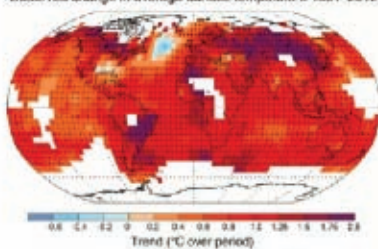
ATTRIBUTION

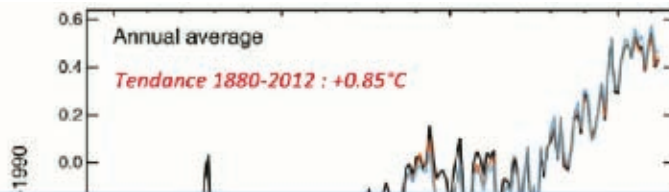
PROJECTION

## 1.3. Observation : Ce qui a changé

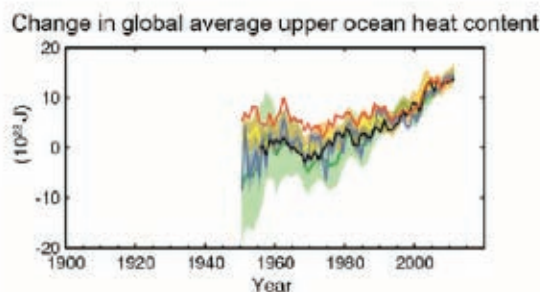
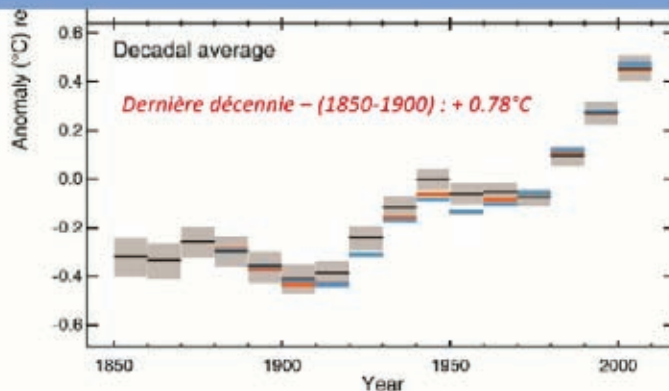
Le réchauffement du système climatique est sans équivoque, et depuis les années 1950, beaucoup des changements observés sont sans précédent depuis des décennies jusqu'à des millénaires. L'atmosphère et l'océan se sont réchauffés, la quantité des neiges et glaces a diminué, le niveau des mers s'est élevé, et les concentrations des gaz à effet de serre ont augmenté.

Observed change in average surface temperature 1901–2012



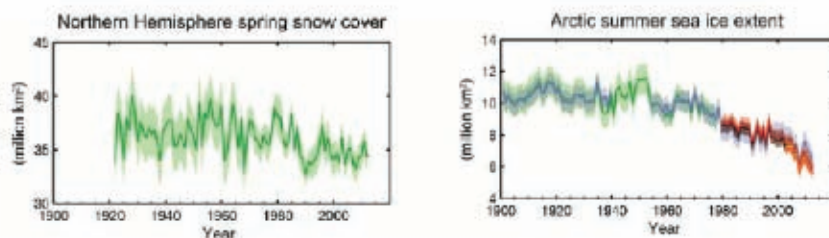


Chacune des trois dernières décennies a été successivement plus chaude à la surface de la Terre que toutes les décennies précédentes depuis 1850.



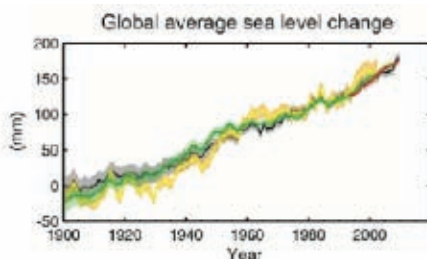
Le réchauffement océanique constitue l'essentiel de l'augmentation de la quantité d'énergie emmagasinée au sein du système climatique et représente plus de 90% de l'énergie accumulée entre 1971 et 2010 (*degré de confiance élevé*).

Il est *pratiquement certain* que l'océan superficiel (0–700 m) s'est réchauffé entre 1971 et 2010, et il s'est *probablement* réchauffé entre les années 1870 et 1971.



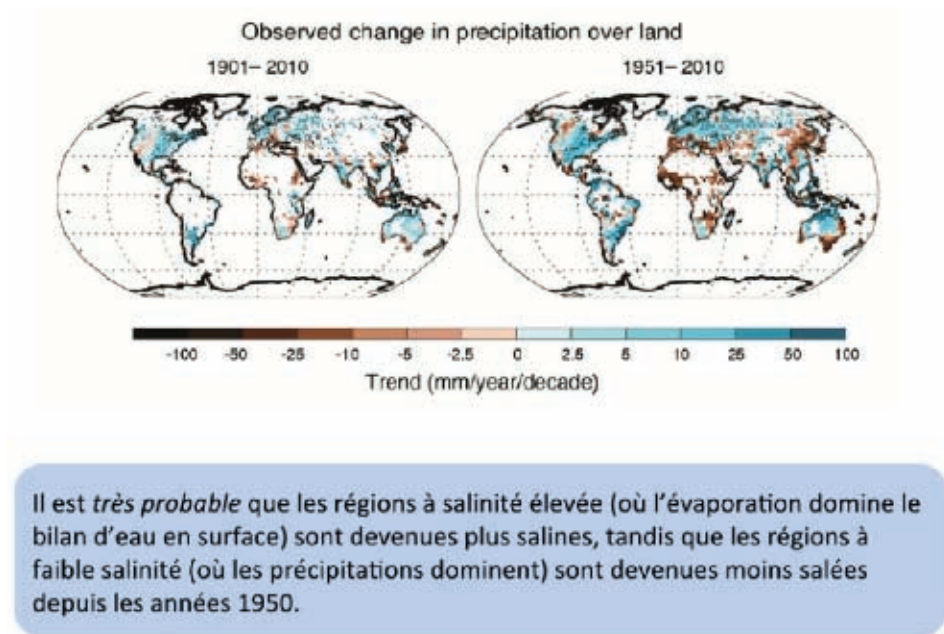
Sur les deux dernières décennies, la masse des calottes glaciaires a diminué, les glaciers de pratiquement toutes les régions du monde ont continué à reculer, et les étendues de la banquise arctique et du manteau neigeux de printemps de l'hémisphère nord ont diminué (*degré de confiance élevé*).

De multiples éléments indiquent que l'Arctique connaît un réchauffement important depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle.



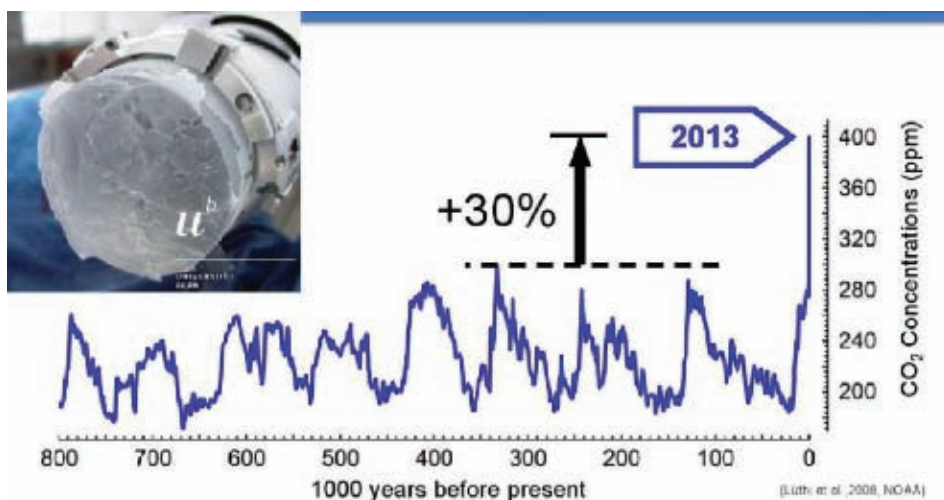
Depuis le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, le taux d'élévation du niveau moyen des mers est supérieur au taux moyen des deux derniers millénaires (*degré de confiance élevé*). Le niveau moyen des mers s'est élevé de 0,19 [0,17 à 0,21] m au cours de la période 1901–2010.



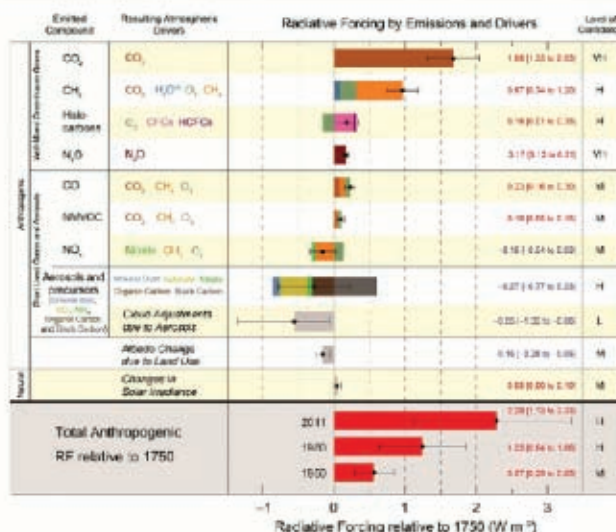


#### 1.4. Attribution : Pourquoi cela a changé

La concentration du  $\text{CO}_2$  a atteint des niveaux inégalés depuis au moins 800 000 ans



Le forçage radiatif total est positif et a conduit à une absorption d'énergie par le système climatique. La plus grande contribution à ce forçage radiatif est l'augmentation de la concentration atmosphérique du CO<sub>2</sub> depuis 1750.

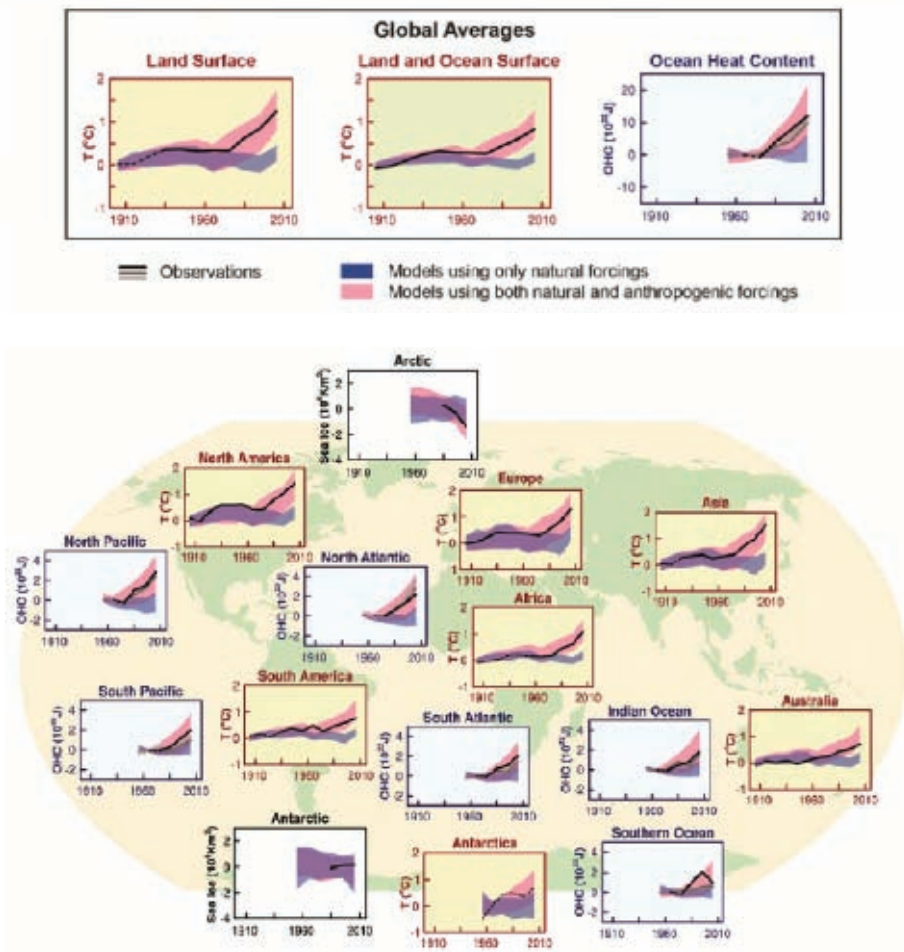


Les modèles climatiques se sont améliorés depuis l'AR4. Les modèles reproduisent les configurations et tendances de température observées à l'échelle des continents sur plusieurs décennies, y compris le réchauffement rapide observé depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle et le refroidissement suivant immédiatement les éruptions volcaniques majeures (*très haut degré de confiance*).

Les études du changement de température, des rétroactions climatiques et des changements de bilan énergétique de la Terre, effectuées à partir d'observations et de modèles, apportent des éléments fiables dans l'amplitude du réchauffement de la planète en réponse au forçage passé et futur.



L'influence humaine sur le système climatique est **clairement établie**. Elle est évidente en ce qui concerne l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, le forçage radiatif positif, le réchauffement observé, et la compréhension du système climatique.

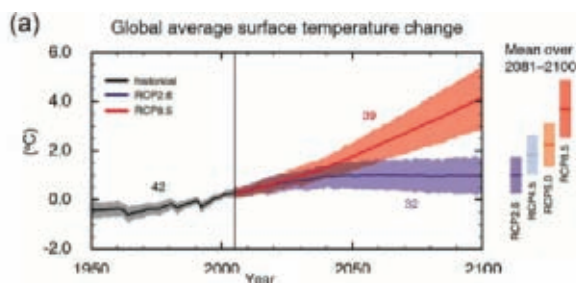
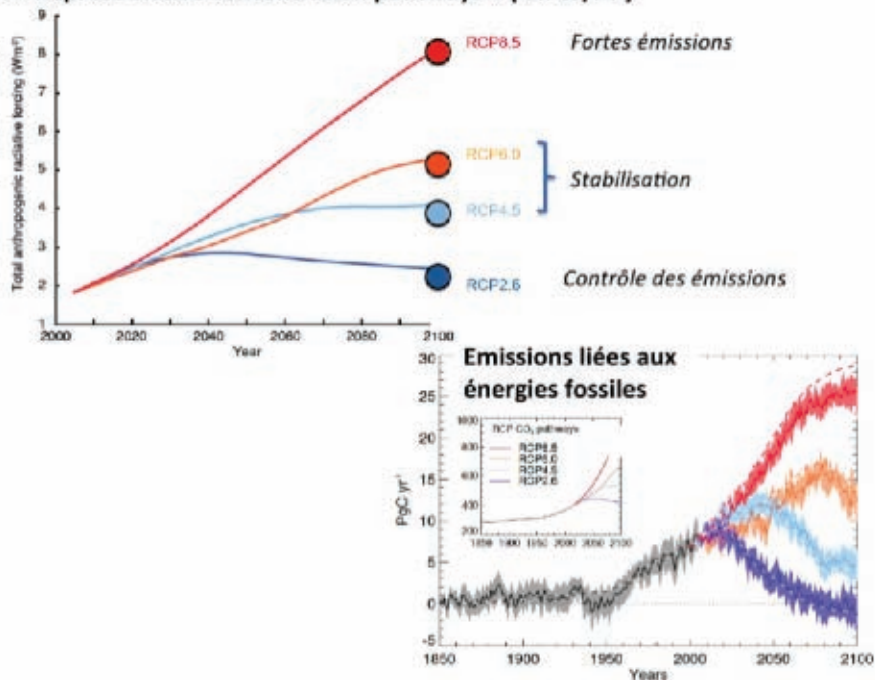


L'influence humaine a été détectée dans le réchauffement de l'atmosphère et de l'océan, les changements du cycle de l'eau planétaire, la fonte des neiges et glaces, l'élévation du niveau marin moyen, et la modification de certains extrêmes climatiques.

Il est **extrêmement probable** que l'influence humaine a été la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle.

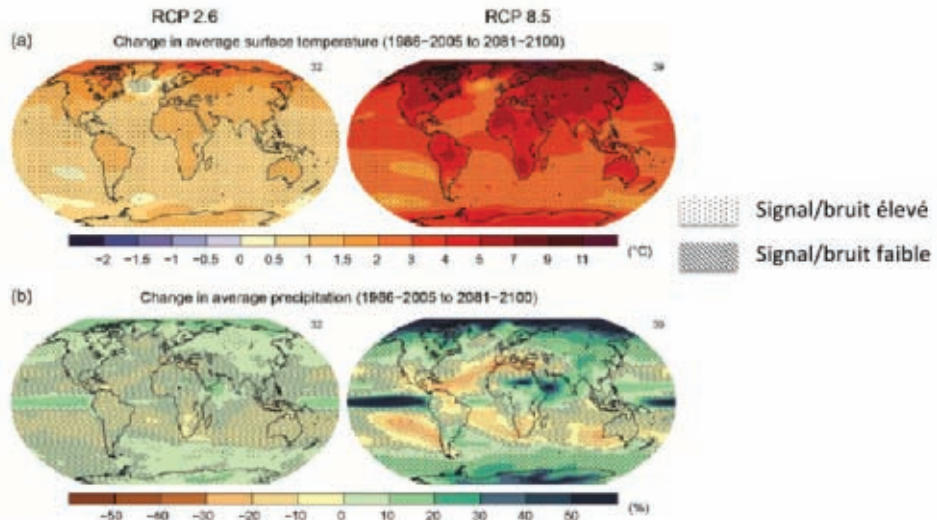
### 1.5. Projections : Ce qui nous attend

#### RCP : « Representative concentration pathways » ( en $\text{W/m}^2$ )

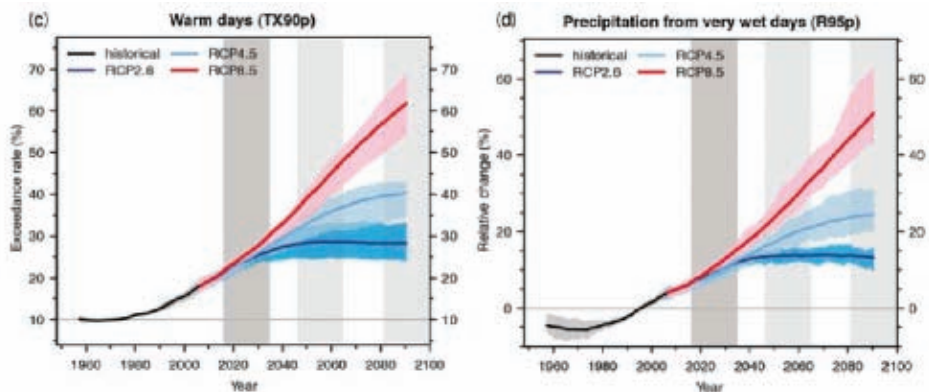


Le changement de la température moyenne du globe en surface pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle dépassera *probablement* 1,5 $^{\circ}\text{C}$  par rapport à 1850-1900 pour tous les scénarios RCP, sauf pour le scénario RCP2.6. Il est *probable* qu'il dépassera 2 $^{\circ}\text{C}$  pour les scénarios RCP6.0 et RCP8.5.

Le réchauffement se poursuivra au-delà de 2100 pour tous les scénarios RCP à l'exception du RCP2.6.

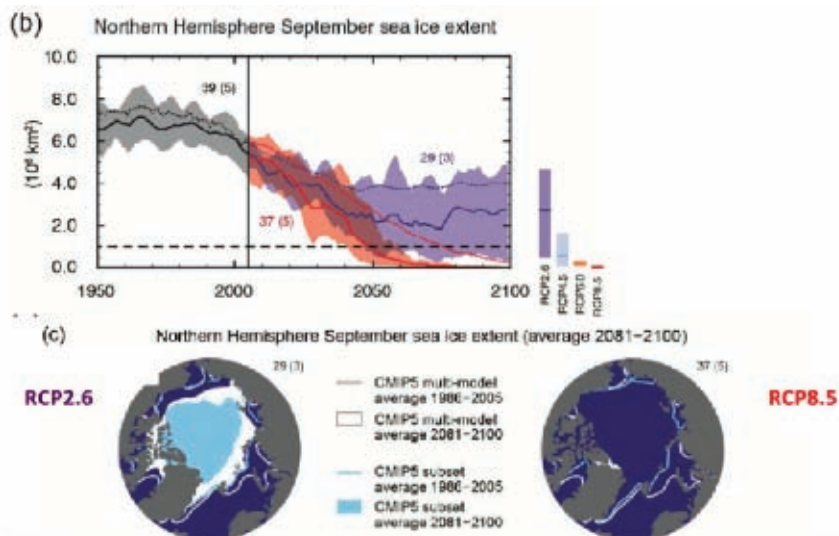


Le réchauffement continuera à présenter une variabilité interannuelle à décennale et ne sera pas uniforme d'une région à l'autre

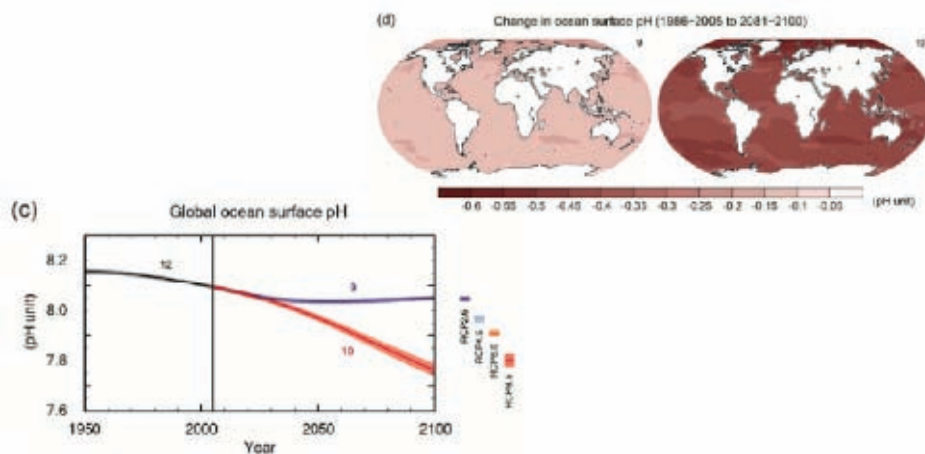


Il est *très probable* que les vagues de chaleur seront plus fréquentes et dureront plus longtemps.

Les événements de précipitations extrêmes deviendront *probablement* plus intenses et fréquents sur les continents des moyennes latitudes et les régions tropicales humides d'ici la fin de ce siècle.

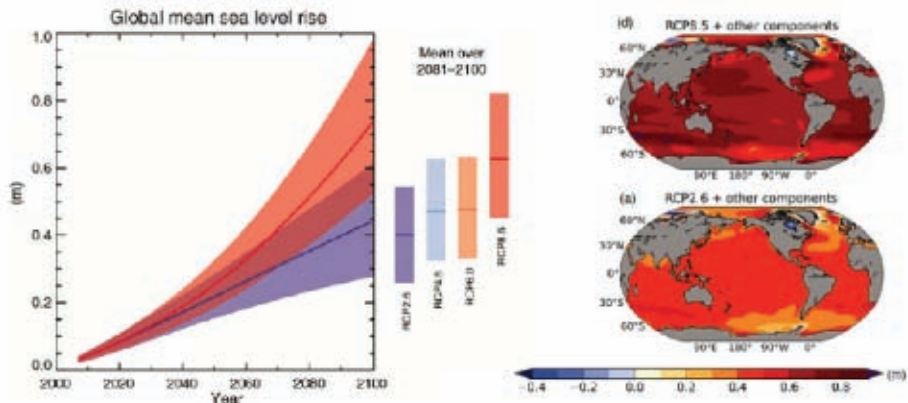


Selon une évaluation d'un sous-ensemble de modèles qui reproduisent le plus fidèlement la moyenne climatologique et la tendance de l'étendue de la banquise arctique sur la période 1979-2012, un océan Arctique pratiquement sans glace en septembre avant le milieu du siècle est *probable* d'après le scénario RCP8.5 (*degré de confiance moyen*).



Le changement climatique affectera les processus liés au cycle du carbone d'une manière qui accélérera l'accroissement du  $\text{CO}_2$  atmosphérique (*degré de confiance élevé*). La poursuite de l'absorption de carbone par l'océan augmentera son acidification.



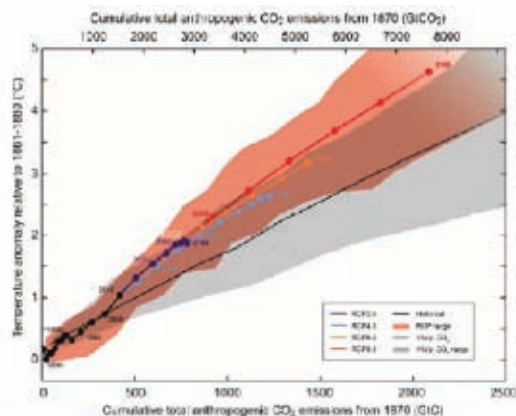


Le niveau moyen des mers continuera à s'élever au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. La vitesse d'élévation du niveau des mers dépassera *très probablement* la vitesse observée sur la période 1971–2010 pour tous les scénarios RCP, en raison du réchauffement accru des océans et de l'augmentation de la perte de masse des glaciers et des calottes glaciaires.

Seul l'effondrement des parties marines de la calotte de l'Antarctique, s'il se déclençait, pourrait entraîner une hausse du niveau des mers significativement supérieure à ces calculs. Cependant, cette contribution ne dépasserait pas quelques dixièmes de mètres d'élévation du niveau des mers au cours du 21<sup>ème</sup> siècle (*degré de confiance moyen*).

Il est *pratiquement certain* que l'élévation du niveau des mers se poursuivra après 2100. Pour 2300, le scénario RCP2.6 conduirait à une élévation de moins de 1 m alors que le scénario RCP8.5 conduirait à une élévation de 1 à 3 m (*degré de confiance moyen*).

Un réchauffement global persistant un millénaire ou plus au-delà d'un seuil pourrait conduire à une déglaciation quasi complète du Groenland. Ce seuil de réchauffement se situe entre 1°C (*degré de confiance faible*) et 4°C (*degré de confiance moyen*) au-dessus du niveau pré-industriel.



Déjà émis:  
540 GtC

Objectif 2°C :  
1000 GtC CO<sub>2</sub> seul  
800 GtC tous GHG

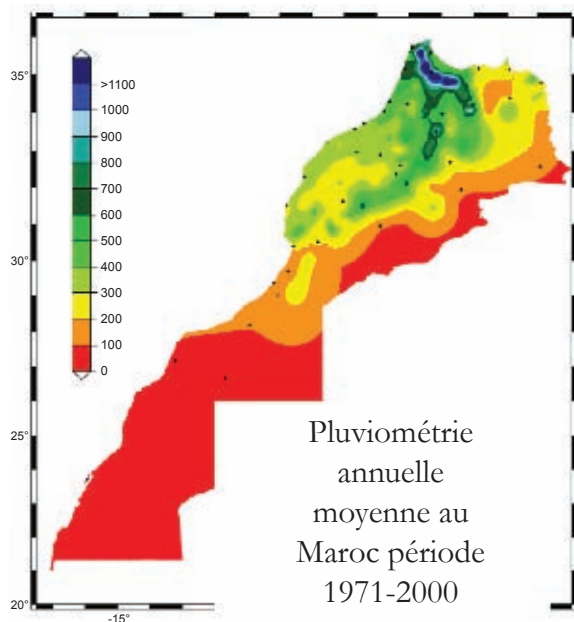
Le total des émissions de CO<sub>2</sub> cumulées détermine dans une large mesure la moyenne globale du réchauffement en surface vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle et au-delà.

La plupart des caractéristiques du changement climatique persistera pendant plusieurs siècles même si les émissions de CO<sub>2</sub> sont arrêtées.

## Annexe 2 : Contexte National

### 2.1. Tendances et variabilités observées

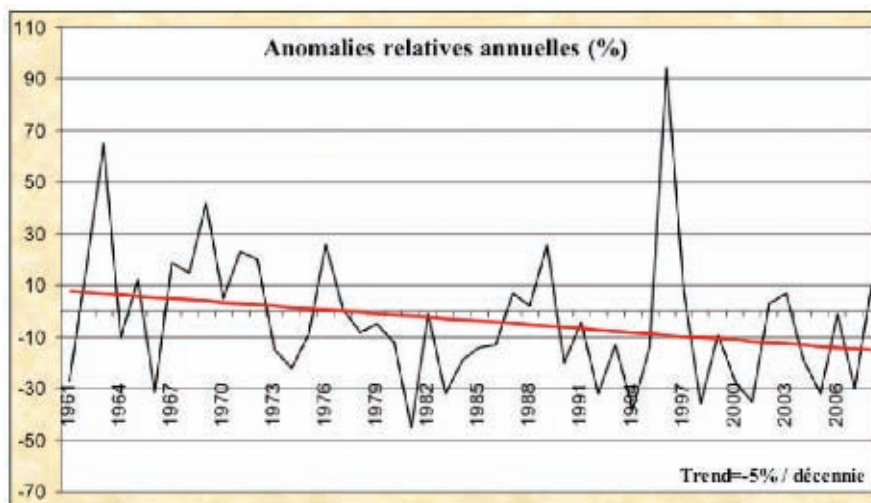
#### 2.1.1. Pluviométrie annuelle moyenne au Maroc période 1971-2000



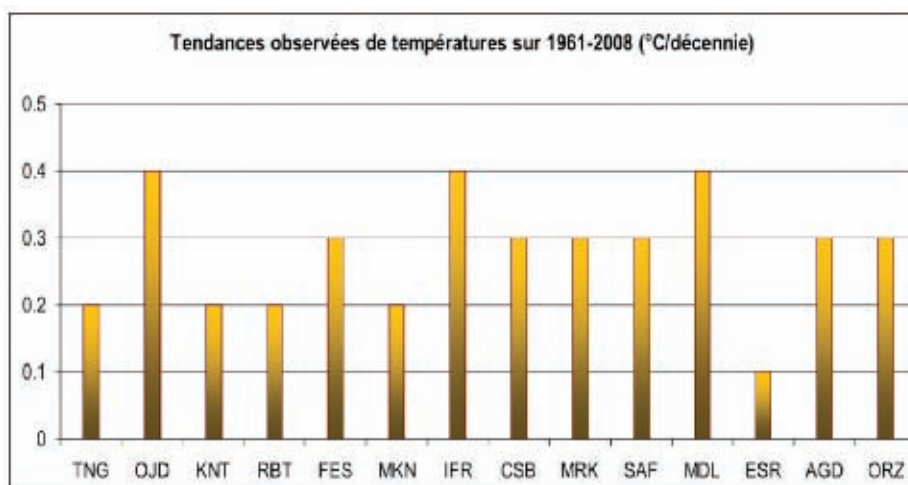
Pluviométrie  
annuelle  
moyenne au  
Maroc période  
1971-2000

Grande extension latitudinale  
Géographie contrastée  
Climat de type méditerranéen  
au nord, désertique au sud  
Pluviométrie modérée avec forte  
variabilité spatiale et temporelle

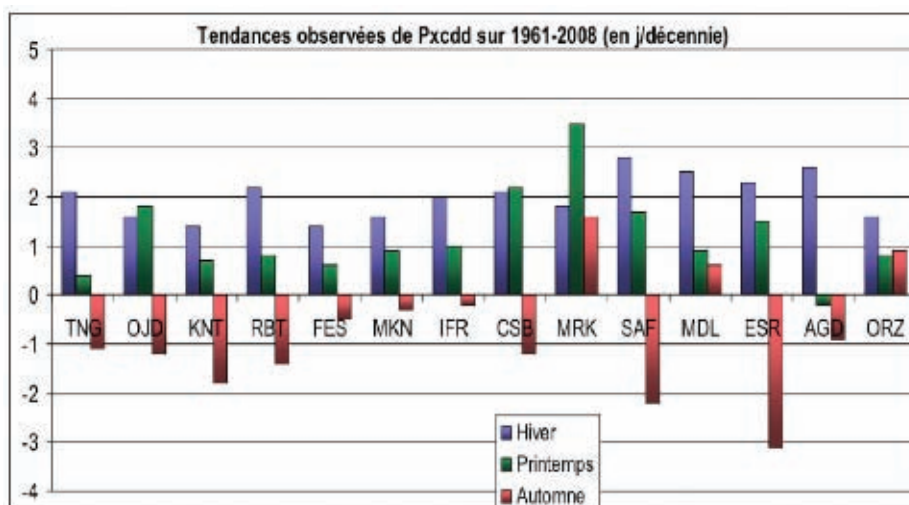
### 2.1.2. Moyennes des anomalies relatives des cumuls pluviométriques annuels



### 2.1.3. Evolution de la température

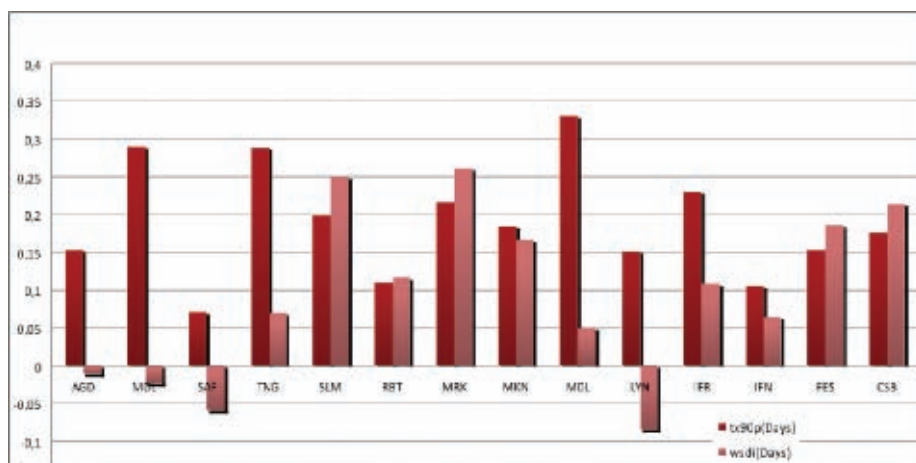


### 2.1.4. Evolution de la sécheresse



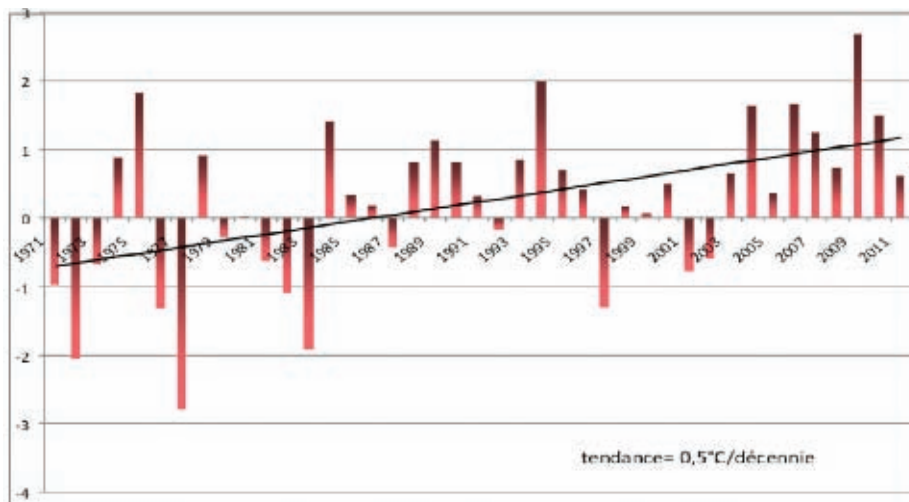
## 2.2. Tendances des évènements extrêmes estivaux

### 2.2.1. Jours chauds et vagues de chaleur



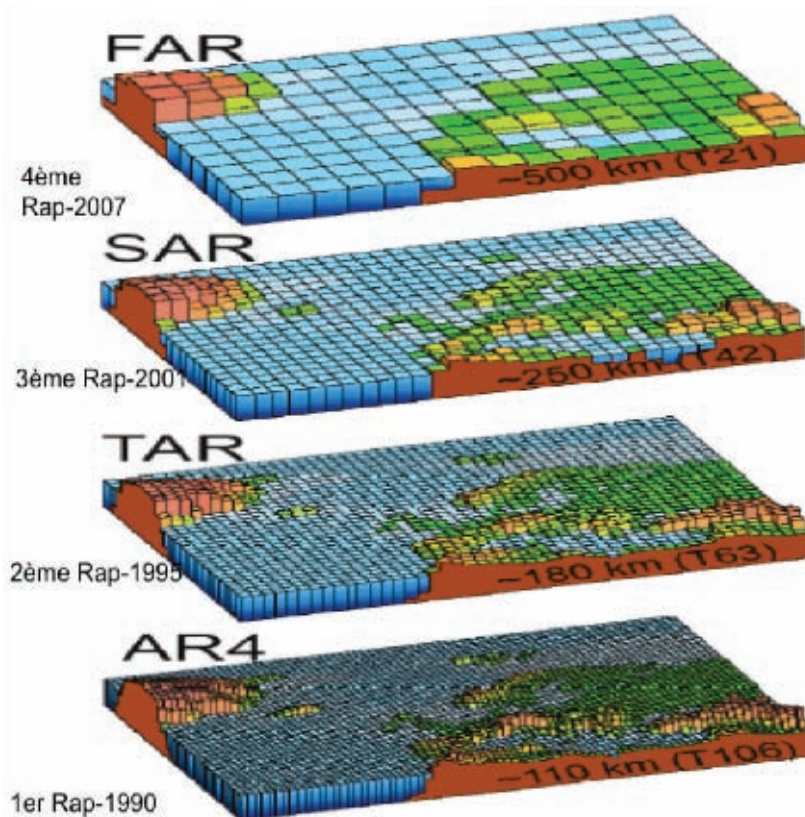


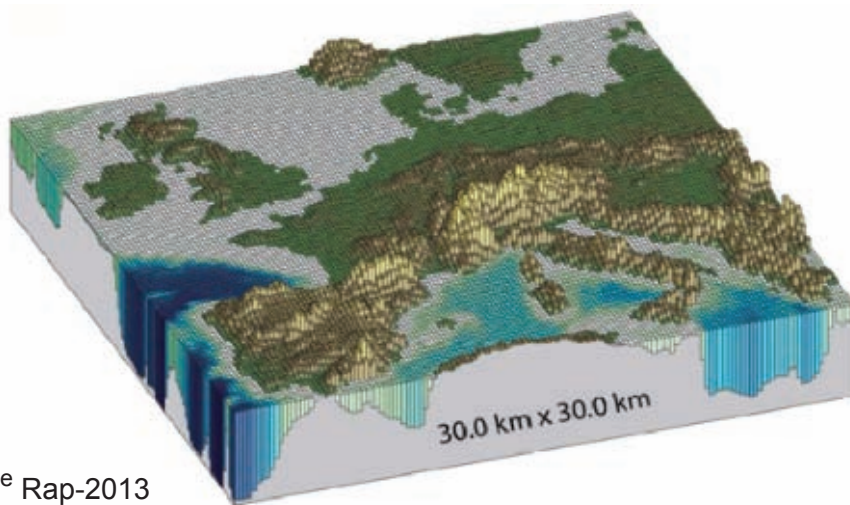
### 2.2.2. Moyenne nationale des anomalies de températures (°C) du mois de Juillet



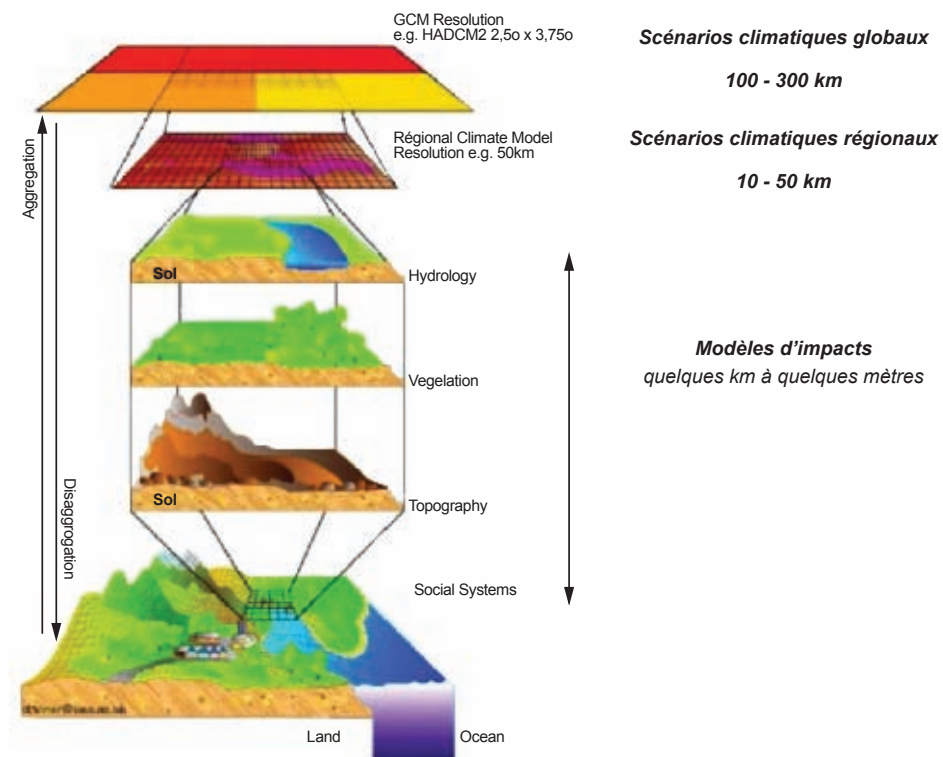
### 2.3. Projections futures

#### 2.3.1. Résolution spatiale des modèles utilisés dans les rapports du GIEC

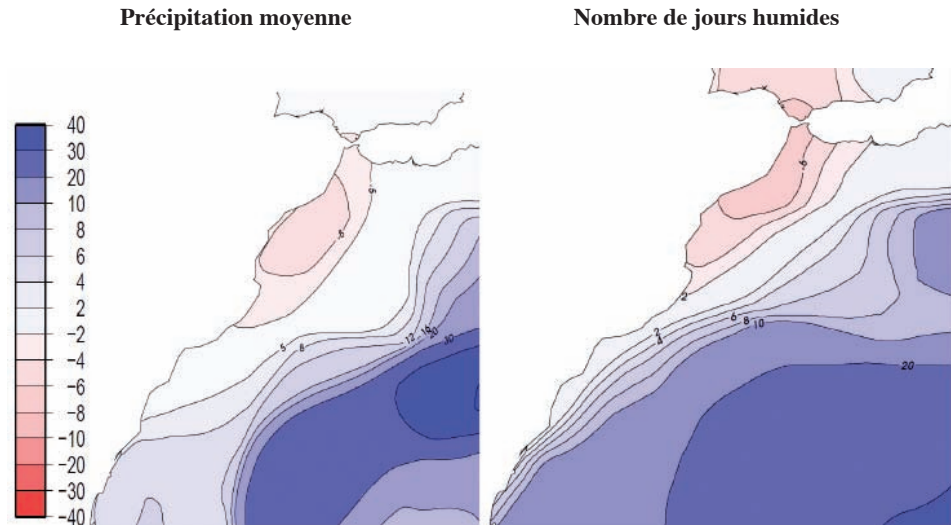




5<sup>ème</sup> Rap-2013



### 2.3.2. Changements projetés par ARPEGE-Climat sous le scénario A1B pour l'hiver étendu



---

- **Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci M. MOKSSIT pour cette conférence très étendue sur les phénomènes climatiques extrêmes, au niveau mondial et au Maroc. Je passe la parole tout de suite à M. Brahim EL MESSAOUDI pour nous parler des «Situations météorologiques des fortes houles sur les côtes Atlantiques Marocaines».



## SITUATIONS DES FORTES HOULES SUR LES CÔTES ATLANTIQUES MAROCAINES

***B. EL MESSAOUDI, M. AIT LAÂMEL,  
M. EL HOU & H. BOUKSIM***

*Direction de la Météorologie Nationale  
Casablanca, Maroc*



***B. El Messaoudi***

### Résumé

Les côtes atlantiques marocaines sont souvent intéressées par des vagues et des houles dangereuses, suite à des tempêtes qui prennent naissance sur l'océan atlantique. Ces vagues peuvent atteindre des hauteurs significatives importantes et avoir des effets destructeurs sur l'infrastructure côtière.

L'analyse des situations de fortes vagues sur les côtes atlantiques marocaines, montre que les vagues et les houles, les plus dangereuses, sont générés par des dépressions de moyenne latitude, qui évoluent dans l'atlantique nord. L'intensité du phénomène est liée aux facteurs relatifs aux caractéristiques de la dépression génératrice (sa position, sa valeur au centre) et à son évolution (sa trajectoire, son creusement).

En termes de modélisation, et afin de suivre et prévoir ces situations météorologiques maritimes, la Direction de la Météorologie Nationale exploite des modèles de vagues de troisième génération. Il s'agit du modèle Wave Watch III adapté aux eaux profondes et du modèle SWAN adapté à la zone côtière. La chaîne opérationnelle utilise les techniques d'imbrication sur des domaines multiples (Nord Atlantique, Maroc, Méditerranée, Détroit, Domaines portuaires) et avec des forçages multiples par les champs de vent issus des modèles atmosphériques marocains et étrangers (CEP et UK Met Office).

Le présent article traite les caractéristiques de quelques situations de forte houle qui ont intéressé les côtes atlantiques marocaines pendant les dernières décennies.

## Introduction :

La zone côtière marocaine s'étalant sur une longueur de 3500km joue un rôle socio-économique crucial pour l'économie nationale. En effet, elle concentre une grande partie des activités économiques (énergie, commerce, pêche, tourisme etc.) et des ressources naturelles du pays. L'exploitation et la gestion de cet espace vital dépend en grande partie des conditions météorologiques maritimes qui, deviennent menaçantes surtout pendant la saison hivernale et en cas des ondes de tempêtes. En fait, ces tempêtes dirigent vers les côtes atlantiques de fortes houles qui présentent une vraie menace aux vies humaines et aux biens aussi bien en pleine mer que le long de la côte. C'est pourquoi, la prévision de l'état de la mer revêt une grande importance pour la sécurité des biens et des personnes ainsi que pour l'augmentation des rendements des travaux déployés en mer. Consciente de la mission qui lui incombe, la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) accorde une grande importance à l'assistance météorologique maritime qui s'effectue de manière permanente moyennant la diffusion des bulletins de sécurité en mer. A cet effet, la DMN est dotée d'outils de travail performant (calculateur puissant, stations de travail, modèles numériques de prévision, personnel qualifié etc.) dans ce domaine. En plus et dans le cadre de l'amélioration continue de la qualité des prévisions, la DMN réalise des études de retour d'expérience concernant les situations de houles extrêmes à l'instar de la situation du 7 janvier 2014 qui a causé des dégâts matériels importants le long d'une bonne partie de la côte atlantique.

## I- Caractéristiques des vagues

### 1. Classification des ondes océaniques

L'eau des océans est constamment en mouvement, il existe ainsi des mouvements oscillatoires de faible période (la mer du vent et la houle) ; des mouvements oscillatoires de plus grande période (marée, Tsunamis et ondes de tempête) figure 1.

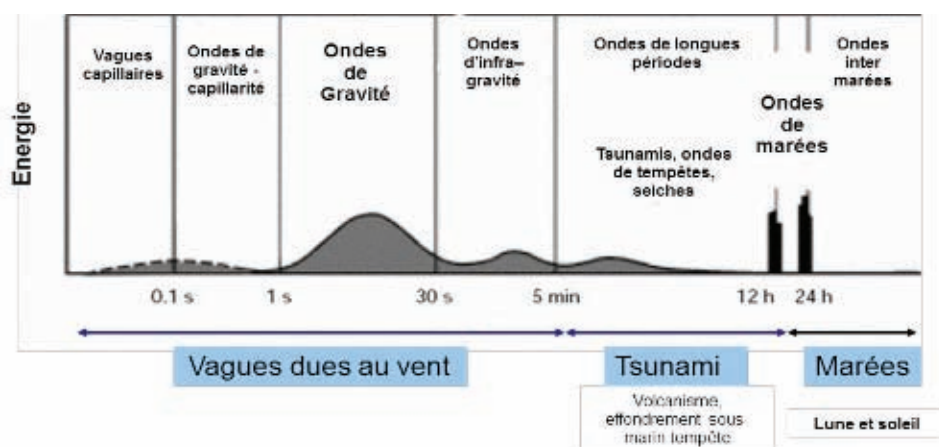


Figure 1 : Période des vagues

La mer du vent et la houle correspondent à des déformations de la surface de la mer, elles se caractérisent par :

- une période d'oscillation  $T$  (temps qui sépare le passage de deux crêtes successives), comprise entre 1 et 30 secondes;
- une hauteur  $H$  (distance entre le creux et la crête d'une vague), de quelque cm à plus de 30m;
- une longueur d'onde  $L$  (distance entre deux crêtes successives) de quelques cm à 1 km.

La présente étude se limite aux phénomènes de vagues et houle liés aux tempêtes météorologiques.

## **2. Différence entre la mer du vent et la houle**

La mer du vent et la houle sont deux étapes d'un même phénomène qui trouve son origine sous l'effet du vent:

- Les ondes générées localement sont souvent appelées mer du vent : C'est la réponse locale et immédiate de la surface de la mer sous l'effet du vent. La mer du vent est caractérisée par: son aspect chaotique, sa direction de propagation compatible avec le vent local et par sa faible période.
- La houle est un mouvement des couches superficielles de l'eau dû au forçage dynamique du vent sur une surface maritime lointaine qui arrive au lieu d'observation par effet de propagation. Elle a un aspect plus régulier, une direction de propagation incompatible avec le vent local et une période élevée.

## **3. La genèse des vagues**

Lorsque le vent se met à souffler sur une étendue d'eau calme, de minuscules oscillations se forment lorsque le vent atteint une vitesse d'au moins quatre noeuds ( $=7,408$  km/heure), vitesse en dessous de laquelle la tension superficielle de l'eau empêche leur formation.

Les vagues connaissent ensuite une phase de croissance qui se poursuit tant que leur célérité reste inférieure à celle du vent.

Cette croissance est déterminée par trois facteurs :

- La vitesse du vent
- La distance sur laquelle souffle le vent appelée fetch.
- La durée pendant laquelle le vent souffle appelée durée d'action.

La hauteur des vagues dépend de l'ampleur de ces trois facteurs à savoir : la force du vent, la longueur du fetch et la durée d'action du vent.

#### 4. Théorie des vagues

Le mouvement des vagues peut être considéré comme irrotationnel, il dérive donc d'un potentiel. Comme l'eau est pratiquement incompressible, ce potentiel satisfait l'équation de Laplace. Pour les longueurs d'onde supérieures à 30 cm, la tension superficielle peut être négligée, et les solutions périodiques de faible amplitude (ondes d'Airy) obéissent à la relation de dispersion :

$$\omega^2 = g \cdot k \cdot \tanh(k \cdot d),$$

avec :

- $\omega = 2\pi/T$  la pulsation de l'onde,
- $T$  la période de la houle,
- $g$  l'intensité de la pesanteur,
- $k = 2\pi/L$  le nombre d'onde,
- $L$  la longueur d'onde de la houle,
- $d$  la profondeur de l'eau.

Cette relation donne la célérité de propagation de l'onde :

$$c = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{g}{k} \cdot \tanh(k \cdot d)}$$

Dans l'hypothèse d'eaux profondes ( $d > L/4$ ) on a :

$$\tanh(k \cdot d) = \tanh\left(2\pi \cdot \frac{d}{L}\right) \text{ tend vers } 1$$

La relation de dispersion devient:

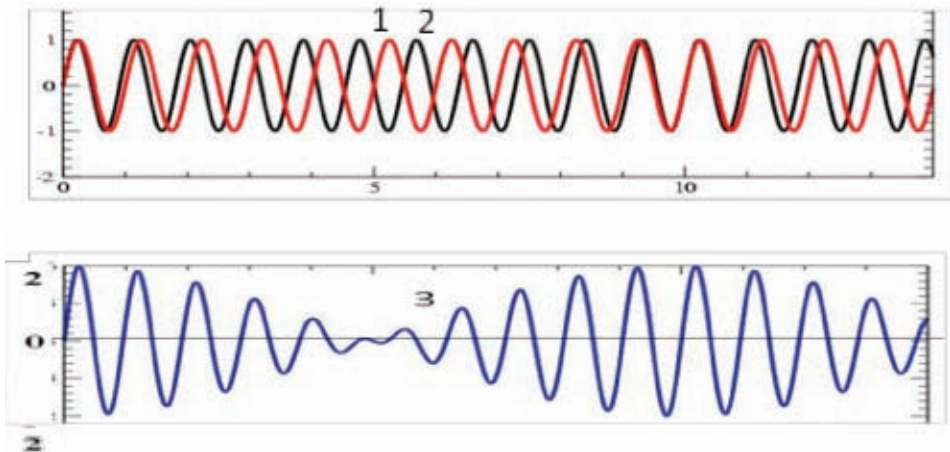
$$c^2 = g \cdot \frac{L}{2\pi}$$

Soit :  $C \approx 1,56 T$  et  $L \approx 1.56 T^2$

Dans l'océan, en pratique, on observe non pas des ondes monochromatiques (concept théorique) mais des paquets ou trains d'ondes formés par des superpositions de vagues dont les caractéristiques sont voisines (directions, hauteurs, périodes).

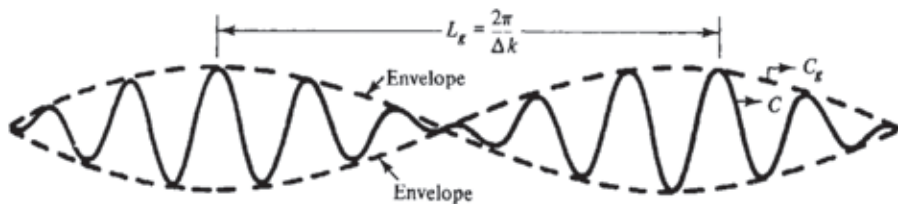
On montre que ces groupes se déplacent à une vitesse différente de la vitesse de phase, appelée vitesse de groupe  $C_g$ . Cette vitesse est la vitesse de déplacement de l'énergie transportée par le groupe de vagues.





**Figure 2 :** L'enveloppe des deux ondes constitue un groupe de vagues  
 $3 = 1 + 2$

Chaque onde se propage à la vitesse  $C$ . L'enveloppe de leur résultante se propage à une vitesse variable suivant les milieux, c'est la vitesse de groupe  $C_g$ .



**Figure 3 :** Le groupe de vagues avance à une vitesse  $C_g$

*Par Dean & Dalrymple, 1991[1]*

En eaux profondes, le milieu est dit dispersif, la vitesse de phase est proportionnelle à la longueur d'onde.

La vitesse de groupe devient alors:

$$C_g = \frac{c}{2}$$

$C_g \approx 0,78 \text{ T}$  ( $C_g$  en m/s)

On retiendra:  $C_g \approx 1,5 \text{ T}$  avec  $C_g$  en noeuds

Plus les ondes sont longues, plus elles sont rapides.

## 5. Énergie et puissance des vagues

Pour une mer régulière (monochromatique et monodirectionnelle) l'énergie s'écrit :

$$E = \rho \cdot g \cdot \frac{H^2}{8} \quad (\text{exprimée en J/m}^2)$$

avec  $E = E_p + E_c$

$E$  est l'énergie cinétique inhérente au mouvement des particules.

$E_p$  est l'énergie potentielle des particules quand elles sont déplacées de leur position d'équilibre.

Donc l'énergie des vagues est proportionnelle au carré de la hauteur.

Pour chaque train de vagues d'un état de mer donné, l'énergie correspondante se déplace à la vitesse du groupe.

La puissance des vagues est donnée par la relation :

$$P = E \cdot C_g$$

La puissance moyenne transportée par mètre de largeur des vagues est:

$$P = 0,4 H_s^2 T \quad \text{en kW/m}$$

Donc la puissance des vagues est proportionnelle à la période et au carré de la hauteur des vagues. Le tableau suivant montre la variation de la puissance des vagues en fonction de la hauteur et la période.

Hs (m)	1	2	5	7	10
T (s)	10	12	14	18	20
P (kW/m)	4	19,2	140	352,8	800

## 6. Approche statistique

La hauteur significative  $H_s$  est la moyenne des hauteurs du tiers des vagues les plus hautes notée également  $H_{1/3}$ .

Historiquement, la hauteur significative (SWH en anglais Significant Wave Height) est également la hauteur typique que peut ressentir un observateur visuel.

A partir de  $H_s$  on peut déduire :

La hauteur la plus probable :  $H_0 = 0,5 H_{1/3}$

La hauteur moyenne des vagues:  $H_1 = 0,63 H_{1/3}$

1 vague sur 100 en moyenne à une hauteur supérieure à  $1,5 H_{1/3}$

1 vague sur 1 000 en moyenne à une hauteur supérieure à  $1,8 H_{1/3}$

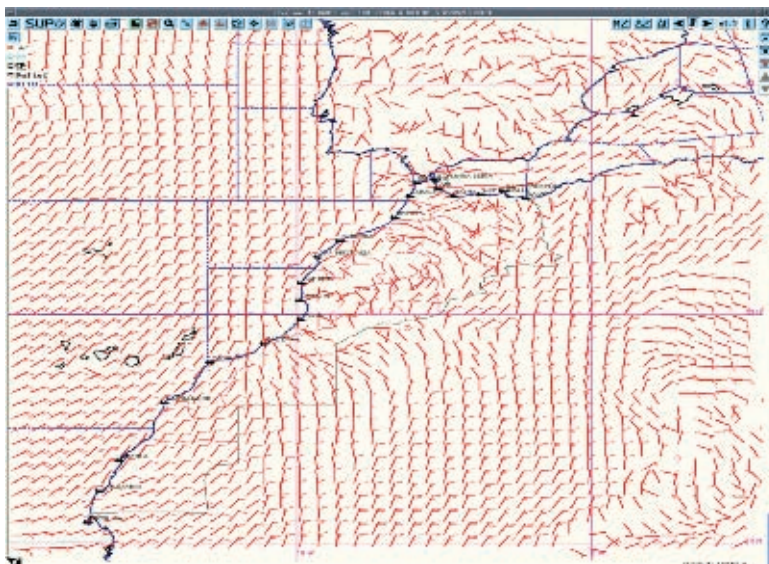
1 vague sur 10 000 en moyenne à une hauteur supérieure à  $2 H_{1/3}$

La hauteur maximale la plus probable d'une vague ( $H_{max}$ ) est comprise entre 1,6 et 2 fois  $H_{1/3}$ .

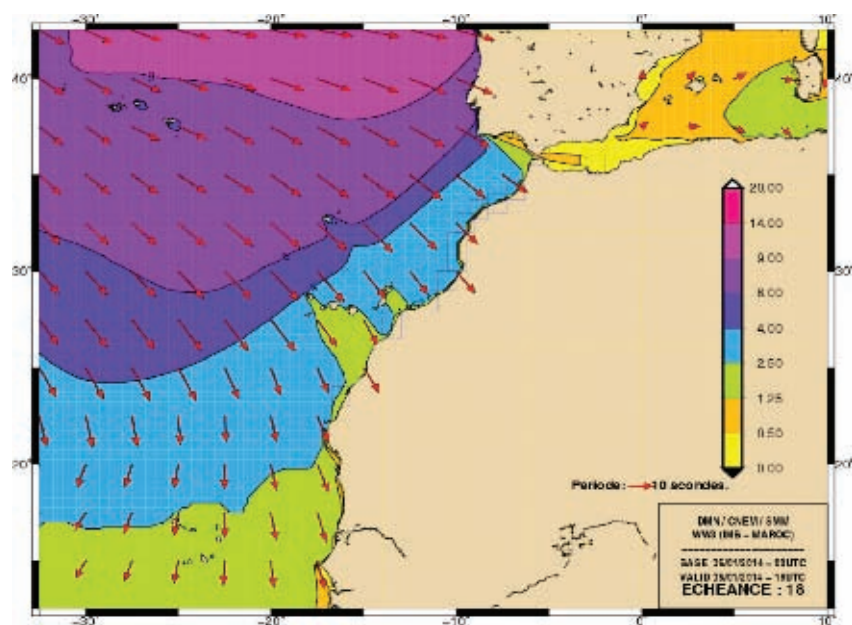
## 7. Modélisation des vagues

En termes de modélisation, et afin de suivre et prévoir ces situations météorologiques maritimes, la Direction de la Météorologie Nationale exploite plusieurs modèles numériques atmosphériques et maritimes, parmi lesquels on peut citer :

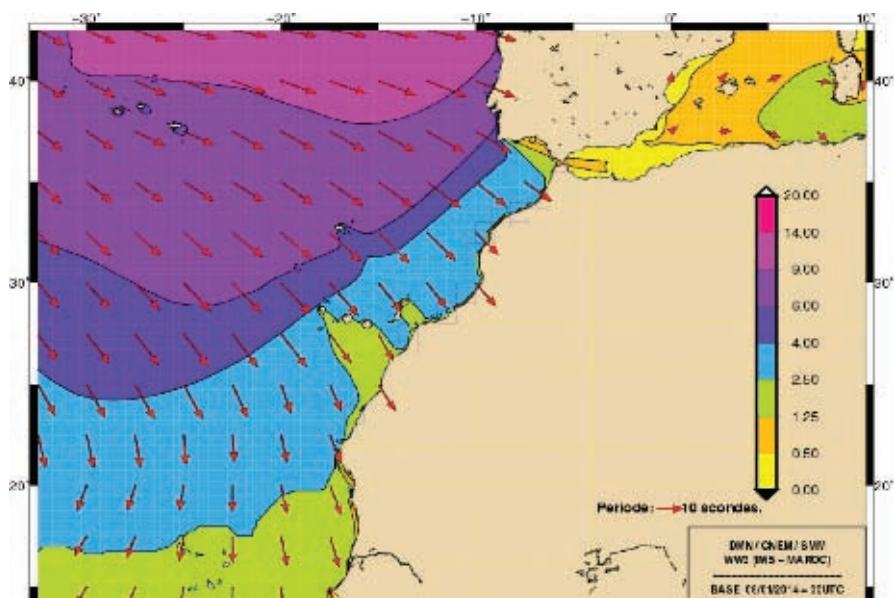
- Les modèles atmosphériques AL BACHIR du Maroc, ARPEGE de la France et CEP du centre européen figure 4
- Les modèles de prévision des vagues de troisième génération, il s'agit du modèle Wave Watch III (WW III) adapté aux eaux profondes [5] figures 5 et 6 et du modèle SWAN adapté à la zone côtière [6]. La chaîne opérationnelle utilise les techniques d'imbrication sur des domaines multiples tableau 1 (Nord Atlantique, Maroc, Méditerranée, Détroit, Domaines portuaires) et avec des forçages multiples par les champs de vent issus des modèles atmosphériques marocains et étrangers (CEP et UK Met Office).



**Figure 4 :** modèle à maille fine du modèle ALBACHIR opérationnels  
à la DMN Vent à 10 mètre



**Figure 5 :** modèle de prévision des vagues WW III opérationnels à la DMN  
Hauteur  $H_s$ , direction des propagations et période des vagues



**Figure 6 :** modèle de prévision des vagues WW III du centre européenne  
Hauteur  $H_s$ , direction des propagations et période des vagues

Modèles	Domaine	Résolution spatiale	Echéance de prévision
WW III GLO	Atlantique nord	2.5° x 2.5°	72 heures
WW III IMN	12.5-42.5N 32.5W-10E	0.15 ° x 0.15°	72 heures
WW III IMB	12.5-42.5N 32.5W-10E	0.15 ° x 0.15°	72 heures
SWAN	Laayoune – Casablanca - Détroit	0.1 ° x 0.1°	72 heures

**Tableau 1 :** modèle de prévision des vagues opérationnels à la DMN

## II- Origine de la houle sur la côte atlantique du Maroc

### 1- L'évolution des dépressions Atlantiques

La houle qui intéresse les cotes atlantiques du Maroc est généralement générée par les fortes tempêtes associées aux dépressions météorologiques évoluant sur l'Atlantique Nord, de l'Ouest vers l'Est, conformément aux règles de la circulation générale atmosphérique. Cette houle s'intensifie ou s'affaiblit en fonction de l'état des vents et de l'état de la mer rencontrés le long de sa trajectoire en direction vers les côtes atlantiques marocaines.



Une dépression atmosphérique, notée D sur les cartes météorologiques, se caractérise par sa position, sa valeur de pression au centre et par son évolution. De telle dépression s'intensifie si elle se creuse (sa valeur au centre diminue) et elle s'affaiblit si elle se comble (sa valeur au centre augmente).

### 2- Historique des fortes houles sur les côtes atlantiques marocaines

Les côtes atlantiques marocaines sont connues par les houles extrêmes depuis longtemps. Le premier épisode de forte houle a été rapporté dans la littérature en 1920. Cet événement a eu lieu le 6 janvier 1913 pendant un jour de beau temps, la houle a causé plusieurs dégâts matériels au sein du port de Casablanca où le trafic a été paralysé pendant plusieurs mois [2]. En Février 1966, la côte atlantique marocaine a subi un autre épisode de forte

houle avec une hauteur de 10 m et une période de 20 secondes, avec des dommages matériels dans les ports de Safi, Essaouira et Agadir [3]. Récemment, le 7 janvier 2014 les côtes atlantiques du Maroc ont connues une situation de forte houle exceptionnelle avec une hauteur maximale de 13.60m et une période de 22 s enregistrées par la bouée installée sur le port de Mohammedia. Ces valeurs exceptionnelles ont dépassé par endroit les caractéristiques des houles-projets pour lesquelles les infrastructures portuaires ont été dimensionnées, ce qui a engendré des dégâts importants le long des côtes atlantiques entre Larache et Sidi Ifni [4].

Le tableau en bas résume les principaux épisodes de forte houle enregistrés sur les côtes atlantiques du Maroc entre 1913 et 2014, établit sur la base des données d'observation, des analyses de modèles numériques et sur des études antérieures.

Date	Valeur minimale de la pression (hPa)	Creusement max de la pression	Hauteur maximale en mètre	Période en seconde	Direction de propagation en degré
06/01/1913	960	10hPa/12h	/	/	/
1937	/	/	10m40	/	/
28/12/1951	950	15hPa/12h	6m70	/	/
21/02/1966	960	10hPa/24h	10m	20s	283°
28/02/1978	950	25hPa/24h	8m	19s	300°
16/02/1995	955	15hPa/24h	6m60	17s	315°
08/01/1996	945	35hPa/24h	7m50	18.5s	308°
06/02/2002	965	15hPa/24h	11m25	15.6s	347.3°
14/11/2002	970	30hPa/24h	11m52	11.7s	331.9°
27/12/2002	980	18hPa/24h	10m04	14.4s	324.8°
11/03/2003	945	25hPa/24h	11m14	19.3s	324.8°
13/04/2003	970	30hPa/24h	11m28	14s	313.6°
19/01/2005	960	30hPa/24h	12m	17s	330°
04/01/2008	965	25hPa/24h	15m85	18.80s	320°
07/01/2014	935	35hPa/24H	13m62	21.60s	320°

**Tableau 2:** Historique des fortes houles sur les côtes atlantiques marocaines entre 1913 et 2014

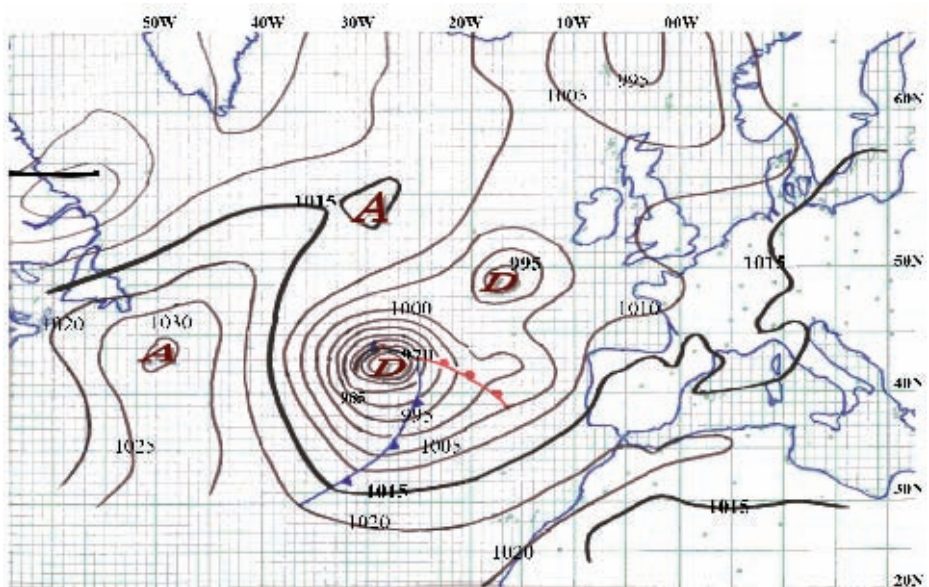


D'après les données présentées dans ce tableau on peut dire que l'intensité des houles sur les côtes atlantiques du Maroc dépend des facteurs suivants : la valeur au centre de la dépression génératrice et du taux de son creusement au cours de son évolution. Tenant compte des données disponibles, il est fort probable que la situation du 7 janvier 2014 soit la plus puissante qu'a connue le Maroc durant les dernières décennies.

### III- Etude des cas réels :

## 1- Situation du 13 avril 2003

Cette situation est caractérisée par une zone dépressionnaire avec une valeur au centre de 1005 hPa évoluant au niveau du 40ème nord et se déplaçant de l'ouest vers l'est en se creusant de façon explosive pour atteindre la valeur de 970 hPa (30 hPa en 18 heures) (figure 7). Les données relatives aux mesures enregistrées le 13 avril 2003 à 21h50 min par la bouée de la Direction d'Exploitation du Port de Mohammedia ont montré une houle de direction nord-ouest (NW), de hauteur maximum de 11,28m et de période maximum de 14s. Les bateaux au large du Maroc ont effectué les observations représentées sur le tableau 3.



**Figure 7 :** Situation météorologique du dimanche 12/04/03  
à 00 TU (origine DMN)

Date et heure	Position de l'observation	Hauteur en m	Direction	Période en s
12/04/2003 à 18h	36N14W	5	Sud-Ouest	//
13/04/2003 à 18h	34N14W	10	Ouest	10
13/04/2003 à 18h	37N14W	8	Ouest	10
13/04/2003 à 18h	37N11W	4	Ouest	10

Tableau 3 : les observations de la houle au large atlantique

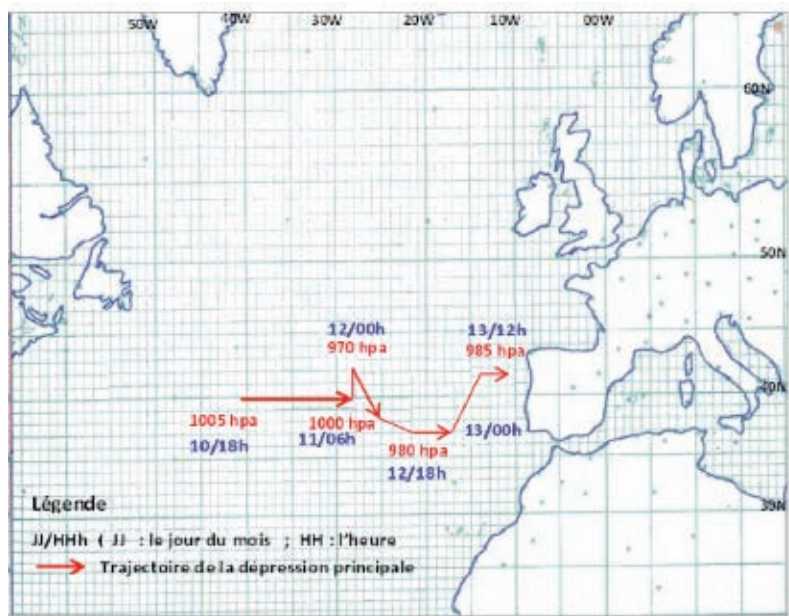


Figure 8 : Trajectoire de la dépression Atlantique durant la période du 10 au 13 Avril 2003

2- Situation du 04 janvier 2008

Du 03 au 06 janvier 2008, les côtes atlantiques marocaines au nord de Lâayoune ont été intéressées par des houles exceptionnellement dangereuses qui ont atteint, d’après les enregistrements de la bouée installée au large de Mohammedia et d’après les observations satellitaires, des valeurs de 5 à 9 mètres avec une hauteur maximale de 13 mètres au large du port de Mohammedia.

a) Evolution de la situation du 01 au 06 janvier 2008

La dépression 990 hPa située au sud-ouest de Terre-Neuve a subi un creusement explosif de 25 hPa en 24 heures (sa valeur au centre passe de 990hPa à 965 hPa) au cours de la journée du 01/01/08 à 0000 TU au 02/01/08 à 0000TU (figure 9).



Cette situation météorologique a été caractérisée par une évolution zonale de la dépression Nord Atlantique, sur le 50ème parallèle. Le creusement important de cette dépression a été traduit par un vent fort de 50 à 60 kt soufflant sur un fetch F1 très important  $F1 > 3000\text{km}$  (figure 9) où la houle dépasse déjà les 6 mètres. Cette évolution zonale a permis au fetch d'être bien orienté vers le Maroc (figure 10-11). Les vents forts ont soufflé pendant une durée d'action très suffisante afin de générer des houles exceptionnelles.

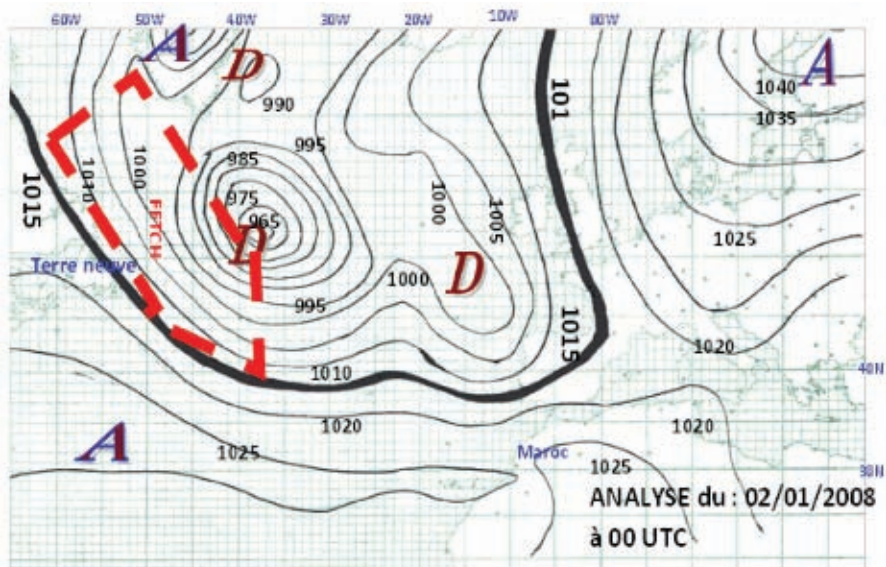


Figure 9 : Analyse en surface du 02/01/2008 à 00 UTC

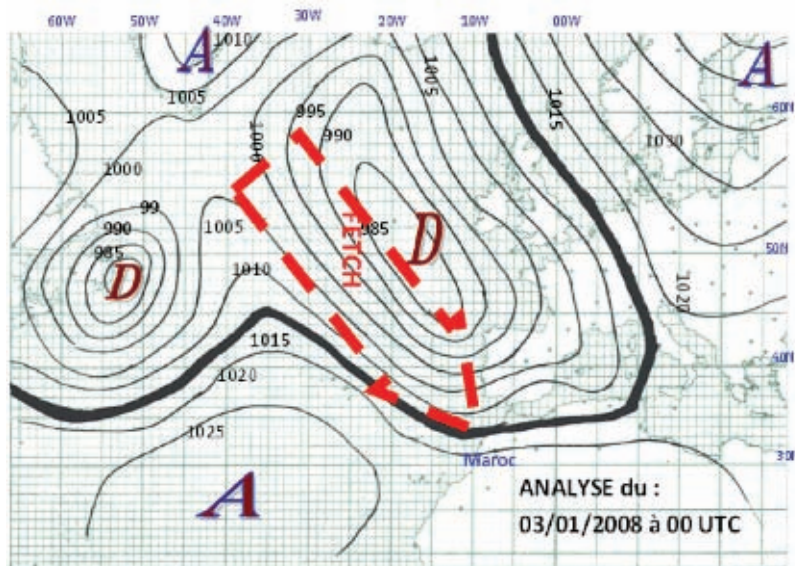
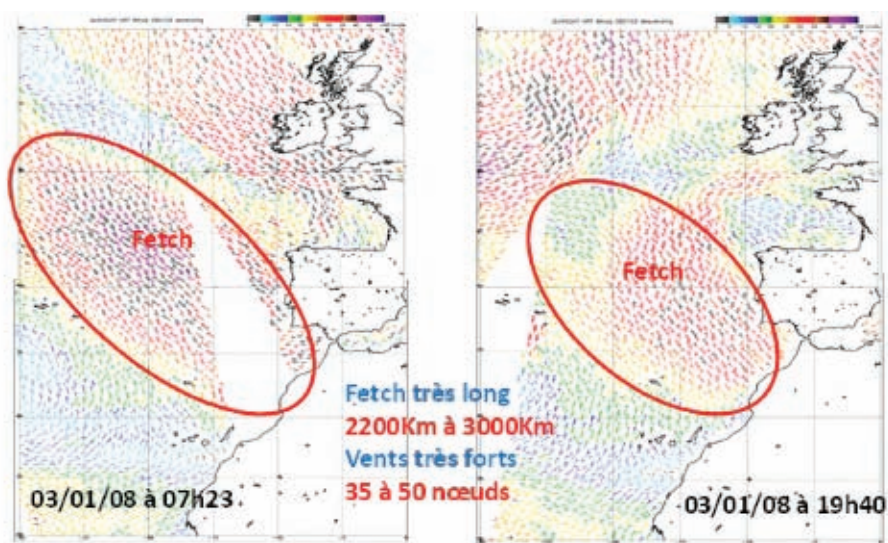
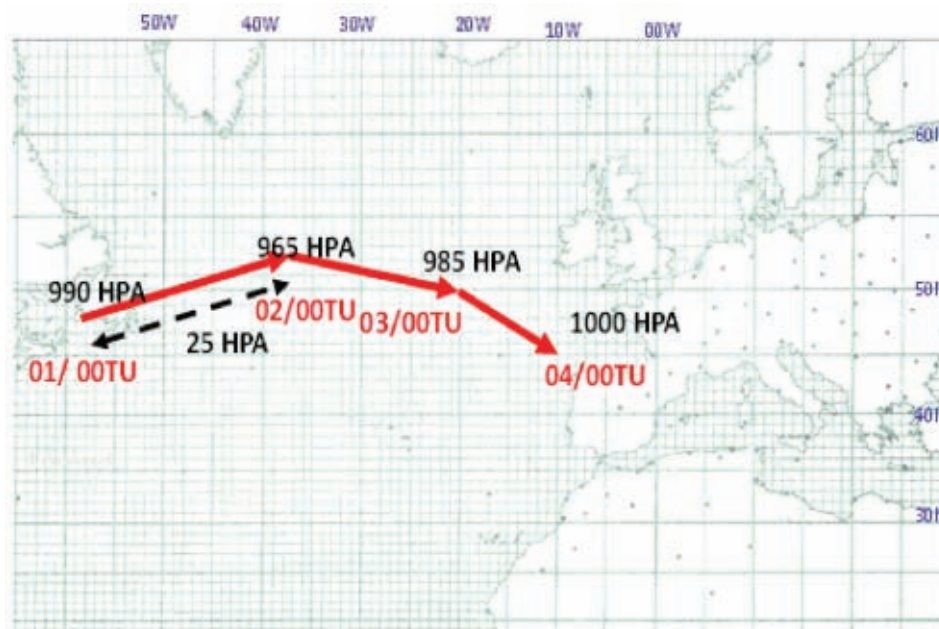


Figure 10 : Analyse en surface du 03/01/2008 à 00 UTC



**Figure 11 :** Image du satellite QUIKSCAT du 03/01/08 à 07h23min et 19h40min  
Vent fort de secteur Nord-ouest bien orienté vers le Maroc

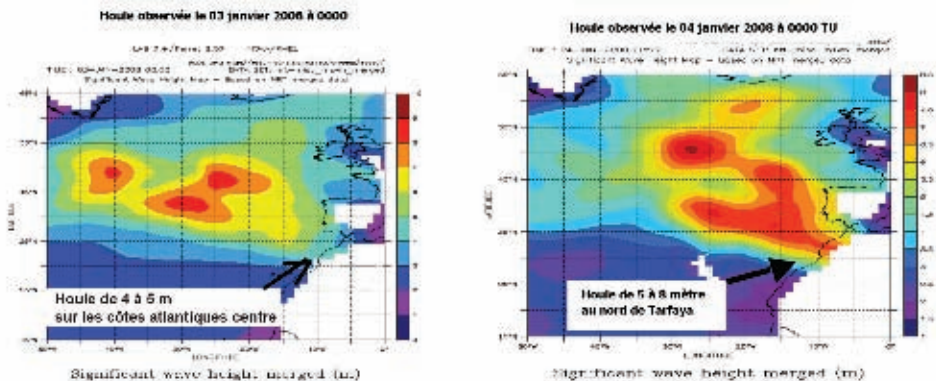


**Figure 12 :** Trajectoire de la dépression Atlantique  
durant la période du 01 au 04 Janvier 2008

### *b) Houle observée durant la période du 02/01/08 au 06/01/08*

D'après les observations satellitaires (NOAA) (Figure 13), la houle a atteint :

- 4 à 6 m durant la journée du 03 janvier 2008 à 00TU, entre Rabat et Agadir des
- 6 à 9 m durant la journée du 04 janvier 2008, entre Rabat et Agadir et des hauteurs de 4 à 6 mètres entre Agadir et Laâyoune et au nord de Rabat.



**Figure 13 :** Houle observés du 03 au 04 janvier 2008

A partir des mesures effectuées par la bouée installée dans le port de Mohammedia, la houle a atteint au cours de la journée du 04/01/2008 la hauteur  $H_{1/3}=7.8$  mètre à 11h30min et un maximum  $H_{1/3max}=11$  mètres.

Dans cette situation, la houle exceptionnelle s'explique par :

- Le creusement important de la dépression du nord atlantique (25 hPa en 24 heures) traduit par un vent fort de 50 à 60 kt soufflant sur un fetch très important supérieur à 3000km où la houle dépasse déjà les 6 à 7 mètres.
- L'évolution zonale de la dépression a permis au fetch d'être bien orienté vers le Maroc.
- Les vents forts qui ont soufflé pendant une durée d'action très suffisante afin de générer des houles exceptionnelles.
- Les vents favorables de secteur nord de 20 à 25 kt, soufflant sur le trajet de la houle, ont favorisé son arrivée aux côtes marocaines avec des hauteurs importantes.

### **3- Situation du 07 janvier 2014**

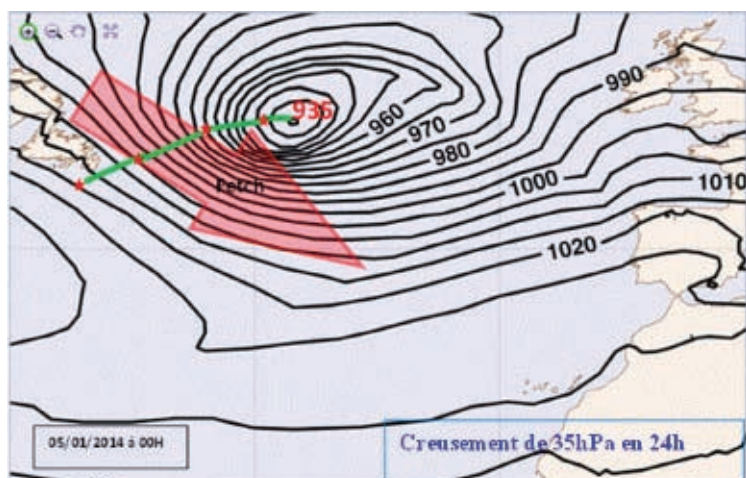
#### *a- Analyse de la situation du 05 au 07 janvier 2014*

Une vaste zone dépressionnaire de valeur 970 hPa centrée au sud de Terre-Neuve a subi un creusement explosif de 35hpa/24h. Cette dépression bien creuse 935hpa (figure 14), centrée le 05/10/2010 par 50<sup>ème</sup> Nord et 37<sup>ème</sup> Ouest, a évolué durant la période du 05 au 08 janvier 2014 vers le nord-est, tout en dirigeant un vent violent de direction nord-

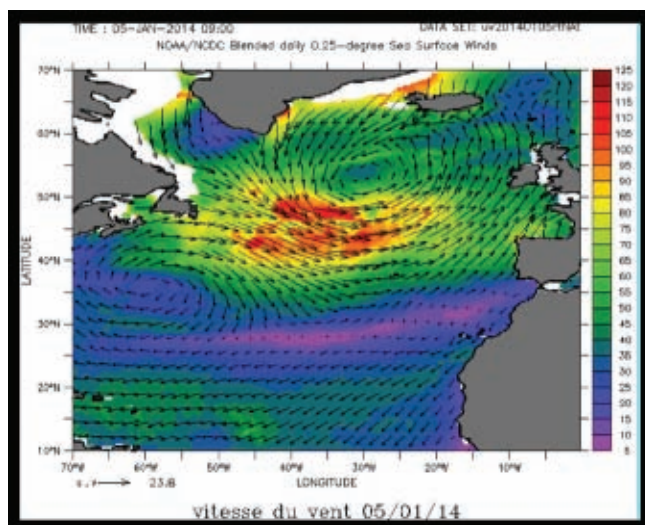


ouest et de vitesse moyenne entre 60 et 120km/h (figure 15). Ces vents ont soufflé sur un fetch très important de plus de 3000km de longueur (figure 14) et qui ont soulevé la mer pour donner des vagues d'environ 15 mètres de hauteur significative  $H_s$  sur la zone génératrice. Ce train d'ondes a frappé les côtes marocaines les 7 et 8 janvier avec des vagues de hauteur significative moyenne  $H_s$  entre 5 et 9 mètres, de direction nord-ouest et de longue période d'environ 20s.

Ce phénomène a eu lieu pendant un temps stable où les côtes marocaines étaient sous l'influence de l'anticyclone des Açores avec des pressions voisines de 1025hPa avec des brouillards denses qui ont couvert une bonne partie des côtes la matinée du 07/01/2014.



**Figure 14 :** Analyse de la pression au niveau de la mer le 05 janvier 2014, le tracé en vert : trajectoire du centre de la dépression du 04/01/2014 à 00h au 05/01/2014 à 00h, la flèche en rouge montre la longueur du Fetch lié aux vents de NW.



**Figure 15 :** Vents à 10 mètres observé par Satellites le 05/01/2014 à 09TU.

*b- Valeurs observées*

➤ Au large atlantique :

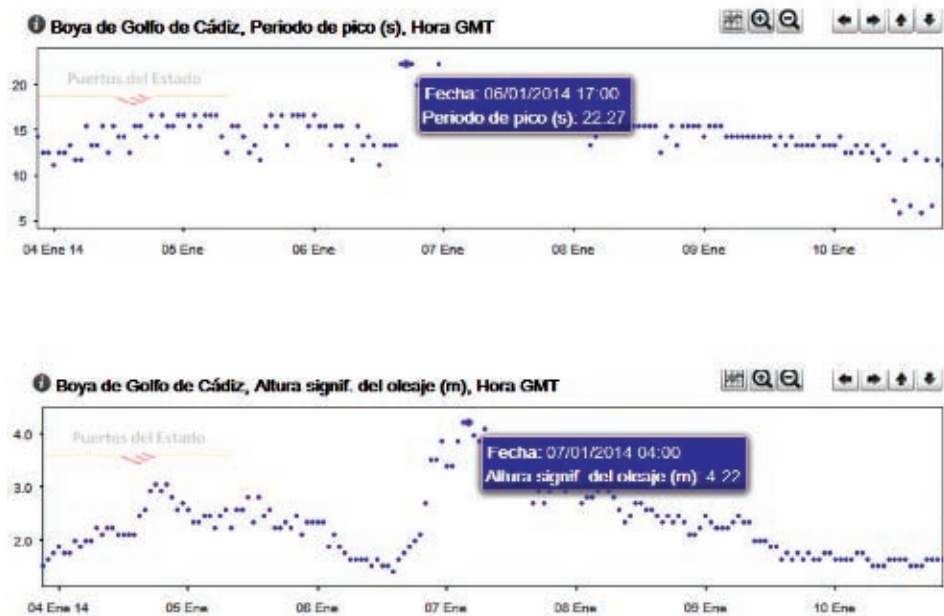
Entre la soirée du 6 janvier et le lendemain après-midi, on a relevé des observations de bateaux qui donnent des valeurs importantes de houle. Ainsi on a enregistré des hauteurs de vagues entre 5 et 9 mètres et des périodes allant de 14 à 30 secondes. La direction de propagation de ces houles est généralement de nord-ouest (NW).

➤ Près des côtes

Deux bouées qui ont donné plus de renseignements sur l'ampleur de cette houle; la bouée de l'autorité portuaire de l'Espagne, ancrée sur le golfe de Cadix et la bouée de l'Agence Nationale des Ports installée au port de Mohammedia.

- La bouée de Cadix

Les graphes en dessous présentent l'enregistrement de la hauteur significative  $H_s$  entre le 4 et 10 janvier 2015. Le maximum a été observé la matinée du 6 janvier avec une hauteur de 4,22m. La bouée a enregistré une période très élevée de 22,27s la soirée du 6 janvier (Figure 16).

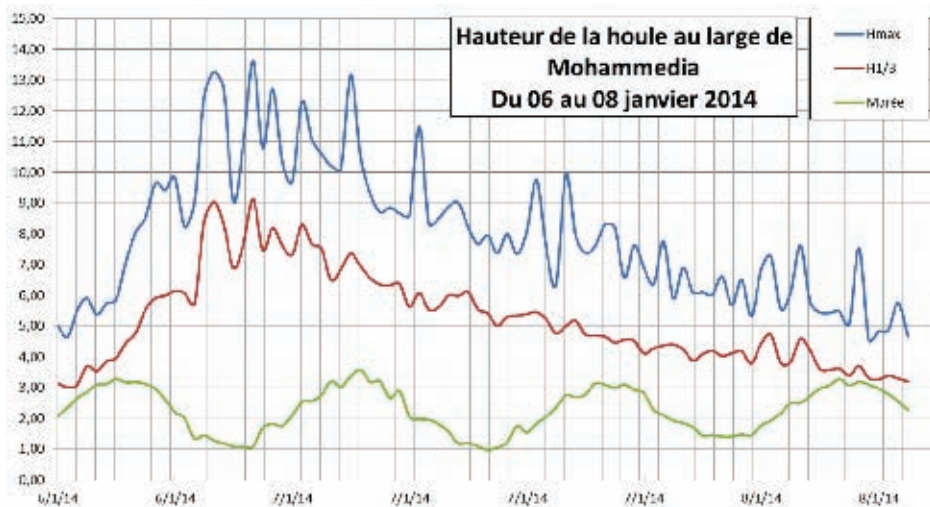


**Figure 16 :** l'enregistrement de la bouée de CADIZ entre le 4 et le 10 janvier 2014

- La bouée de Mohammedia

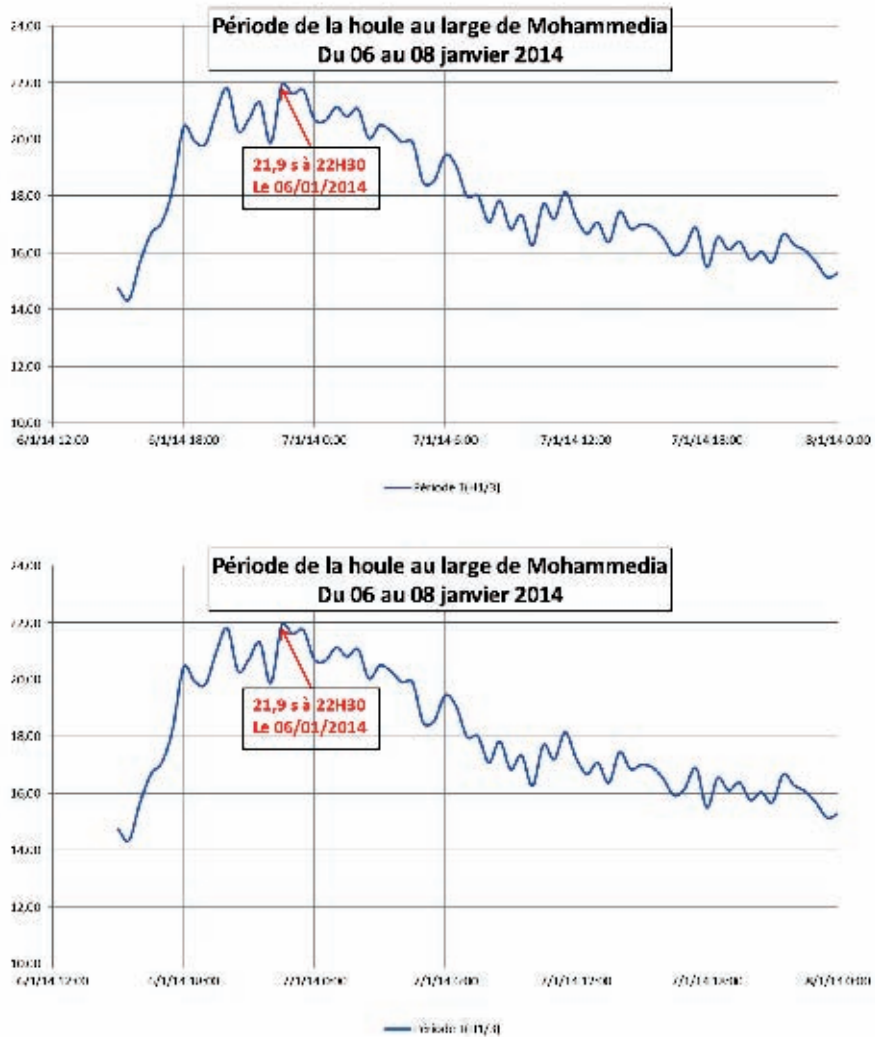
Le graphe présenté ci-dessous (Figure 17) montre la superposition des hauteurs de la houle enregistrées par la bouée de Mohammedia et celles des marées mesurées par le marégraphe installé au port de Casablanca. L'arrivée des trains de houle dangereuse a débuté l'après-midi du 6 janvier. Pendant la nuit du 6 au 7 janvier, la hauteur significative  $H_s$  a atteint des hauteurs entre 6 et 9 mètres. A noter que la hauteur  $H_{max}$  a dépassé plusieurs fois 13m.

Le maximum de cet événement ( $H_s$  entre 7 et 9 mètres) s'est produit aux vers minuit et a coïncidé avec la marée basse (1 mètre). Le 7 janvier vers 06 UTC, la hauteur  $H_s$  était à peu près égale à 7 mètre avec une hauteur  $H_{max}$  de 13m, cette houle a coïncidé avec la marée haute du 7 janvier vers 06UTC qui avait comme hauteur la valeur de 3,5m.



**Figure 17 :** l'enregistrement de la bouée de Mohammedia  
et du marégraphe installé à Casablanca entre  
le 6 janvier à 15UTC et le 8 à 10UTC.

Concernant les périodes de la houle  $T_{1/3}$ , d'après le graphe (Figure 18), elles ont atteint des valeurs entre 20 et 22 secondes. Par conséquent, la journée du 07 janvier 2014 a connu des houles extrêmement puissantes et dévastatrices.



**Figure 18 :** évolution de la période T1/3 de la houle enregistrée par la bouée de Mohammedia entre le 6 et la 8 janvier 2014.

***c- Dispositions prises par la DMN en cas de situations de fortes houles :***

En plus des prévisions quotidiennes concernant l'état de la mer sur la bande côtière, la DMN déclenche, en cas de situation extrême, son système d'alerte qui consiste à élaborer les produits suivants :

- des communiqués de presse sont diffusés 72h à l'avance pour avertir et sensibiliser la population sur le phénomène en question. Des interventions au niveau des médias sont également assurées par les spécialistes pour informer et sensibiliser les citoyens sur les risques associés au phénomène prévu.

- des bulletins météorologiques spéciaux en cas de fortes houles et de vents forts sont élaborés 24h à l'avance, décrivant le détail du phénomène (intensité, zone menacée, heure de début et de fin du phénomène et son évolution). Ces bulletins sont diffusés en haute priorité aux destinataires concernés.
- des cartes de vigilance météorologique signalant, en quatre couleurs (vert, jaune, orange et rouge), le degré de risques par phénomène maritime, diffusées à la Direction Générale de la Protection civile.

Par ailleurs, la DMN procède au renforcement de l'assistance au profit des usagers de la mer et de la veille météorologique sur toute la zone de responsabilité. La DMN participe également aux réunions spéciales tenues par le centre de veille et de coordination relevant du Ministère de l'Intérieur, en vue de coordonner les interventions des départements concernés. Ces situations sont archivées, ré-analysées et étudiées en vue de capitaliser l'expérience des prévisionnistes et améliorer leurs compétences professionnelles dans le domaine de la gestion des situations météorologiques maritimes extrêmes.

#### ***d- Conclusion***

Les fortes houles qui affectent les côtes atlantiques marocaines sont dues à des tempêtes généralement hivernales qui prennent naissance sur le nord atlantique. Les dépressions météorologiques associées sont caractérisées par des valeurs de pression atmosphérique assez basses (entre 965 et 935hPa), subissant un creusement explosif de l'ordre de 15 à 35hPa/24h. Ces fortes houles sont formées le long d'un fetch de 2000 à 3000 km et sont caractérisées par des périodes très grandes (supérieure à 16s en général), se déplaçant dans une direction de Nord-ouest. Ces houles exceptionnelles engendrent un transport d'une puissance importante de l'ordre de 800kW par mètre de large, pour une houle de 10m et 20s.

Le phénomène peut être amplifié davantage lorsqu'il coïncide avec une marée haute de forte amplitude comme c'est le cas pour la situation du 07/01/2014.

Les situations météorologiques de fortes houles précitées ont occasionnés des dégâts matériels sur les infrastructures portuaires et ont perturbées largement l'activité maritime pendant quelques jours. En particulier celle du 07 janvier 2014 dont les dégâts ont été très importants sur tout le littoral s'étendant de Larache jusqu'à Sidi Ifni.

Aussi et en vue de maîtriser davantage la prévision de tels phénomènes aussi bien dans le temps que dans l'espace, et minimiser son impact sur la sécurité des vies et des biens, les actions suivantes devraient être entreprises :

- Le renforcement des moyens d'observation in-situ ou par télé-détection, dans ce cadre la DMN est en cours d'exécution d'un projet pilote de réseau de radars marine pour la mesure des vagues et des courants entre Casa et Rabat, ce réseau pourra être étendu aux autres régions côtières.
- Le développement des performances en termes de résolution et d'échéance des modèles de prévision numérique des caractéristiques des vagues.



- Le renforcement de capacités des prévisionnistes par la formation continue dans le domaine de la météorologie maritime.
- La coordination avec les départements concernés pour une meilleure gestion des situations exceptionnelles relatives aux fortes houles.
- Le développement de partenariats avec les acteurs du secteur maritime en vue de mettre en place des projets intégrés concernant l'observation et le suivi du milieu marin en vue d'améliorer la prévision des fortes houles affectant le littoral marocain.
- Le renforcement de l'assistance et de la sensibilisation des usagers pour contribuer à la sécurité et au rendement de leurs activités spécifiques.
- La sensibilisation de la population sur les risques associés au phénomène de forte houle afin d'éviter les zones menacées et minimiser les dégâts.

### **Références :**

[1] Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, R. G. Dean and R.A. Dalrymple, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., ISBN 0-13-946038-1, 1984. Reprinted in Singapore: World Scientific Publishing Co., ISBN 981-02-0420-5, 1991.

[2] Gallois Lucien. Le phénomène de la houle sur la côte atlantique du Maroc. In: Annales de Géographie. 1920, t. 29, n°162. pp.462-464.

[3] Zakarya E., (1994), La houle et son impact sur le littoral Atlantique Marocain, approche par modélisation, Thèse de Doctorat, Université de Paris IV, 204 p.

[4] Rapport du ministère de l'Équipement et du Transport sur : *«les impacts de la houle exceptionnelle du 6 au 7 janvier 2014»*, mars 2014

[5] Tolman. H. L., 2009: User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 276, 194 pp.

[6] Booij, N., Holthuijsen, L.H. and R.C. Ris, 1996, The SWAN wave model for shallow water, Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng., Orlando, USA, Vol. 1, pp. 668-676.

---

- **Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci M. EL MESSAOUDI pour cette conférence qui a décrit le phénomène de la houle, son historique, sa caractérisation, sa modélisation et l'utilisation des modèles pour la prise des mesures pour la protection des populations.

## DISCUSSION

Nous passons maintenant à la discussion des deux présentations de ce matin, qui ont été faites par M. MOKSSIT et M. EL MESSAOUDI. Nous allons y consacrer une vingtaine de minutes afin de rattraper le retard accumulé depuis le début de la séance. Merci.

### - Pr. Malik GHALLAB (CSMI)

Merci, je trouve que l'exposé est excellent. Pour affiner le modèle, est-ce que nos deux collègues de la météorologie nationale ont des collaborations académiques avec les universitaires marocains? Quelles sont-elles et quels sont les mécanismes de recherches conjointes qui sont menées entre les équipes quelles soient de mathématiques appliquées ou quelles soient d'autres champs disciplinaires dans ces collaborations?

### - Mr. Mohamed KABBAJ (CESDE)

Les exposés ont montré des capacités très intéressantes de modélisation et des capacités d'observation qui sont très importantes. Je voudrais poser quelques questions, en particulier pour le modèle qui nous a été exposé au niveau de l'océanographie. Est-ce qu'on a des capacités de suivi des phénomènes de type tsunami? Parce que là ça nous a montré des phénomènes de type dépression.

La deuxième chose : je voudrais savoir si on a les mêmes analyses au niveau de la terre pour assurer le suivi des conséquences des précipitations sur le sol, recenser les points à risques et aviser les populations suffisamment à l'avance.

On constate qu'avec cette capacité de calcul et d'analyse de l'information de la Direction de la météorologie, pourquoi ne pas l'utiliser aussi pour appréhender les phénomènes de l'environnement et ainsi rendre son action plus efficace. Merci.

### - Pr. Daoud AIT-KADI (CSTETM)

Merci beaucoup monsieur le président. D'abord, j'en profite pour féliciter pour leurs présentations les deux orateurs. La question qui me préoccupe c'est d'intégrer ces phénomènes aux stades de la conception parce que souvent les temps de réaction sont très faibles. Il y a des méthodes qui permettent d'évaluer la criticité de certaines régions et poser des priorités. Comment vous interagissez dans les grands projets marocains de développement et d'urbanisation? Merci.

**- Pr. Mohamed SINAN (EHTP, Casablanca, Maroc)**

Je suis professeur à l'Ecole Hassania des Travaux Publics, expert dans le domaine de l'eau et des changements climatiques. Je voudrais juste apporter quelques informations en complément de ce qui a été dit dans les deux exposés. Le Maroc s'est beaucoup intéressé aux changements climatiques depuis déjà maintenant au moins une quinzaine d'années. Le premier travail important qui a été fait sur le sujet a été déposé, sous forme de communication nationale, au Secrétariat des Nations Unies et l'EHTP a été associée à ce travail. Une deuxième communication nationale a été préparée en 2010. Actuellement notre pays s'attèle à l'actualisation de cette communication (3<sup>ème</sup> édition). Le résultat de l'étude d'actualisation (il y a à peine deux mois) confirme l'augmentation de température de 3-4 °C à l'horizon 2080-2100, une baisse des précipitations qui varierait entre 20% et 40% et puis une baisse des ressources en eau jusqu'à 20-30% par rapport à la situation actuelle. Le «capital eau» va descendre quel que soit le scénario à moins de 500 m<sup>3</sup>/habitant/an, ce qui est considéré au niveau mondial comme un seuil de pénurie. Notre pays est donc appelé à élaborer des mécanismes d'adaptation pour faire face à cette situation dans le futur.

**- Pr. Albert SASSON (CSTV)**

Merci Monsieur le Directeur. J'ai trouvé bien entendu les deux exposés fort-intéressants. D'ailleurs, nous les avons programmés, je m'y attendais. Ce qui m'avait frappé dans le second exposé, et là je rejoins ce qu'a dit Daoud AIT-KADI, c'est que en fait nous pouvons améliorer nos moyens de prévision et d'anticipation, mais il faut élaborer une politique d'aménagement du littoral. Il faut que les populations reculent, or nous construisons encore sur les dunes. Merci.

**- Pr. Rajae EL AOUD (CSTV)**

Merci Monsieur le Directeur. Je voudrais tous d'abord remercier les orateurs pour leurs exposés. M. MOKSSIT nous a rappelés, à juste titre, un élément extrêmement important à la base de la résilience des populations face à ce genre de catastrophes et de désastres naturels. C'est celui relatif à la sensibilisation de la population, sa culture, sa prédisposition à se conformer à certaines règles. Je serais intéressée de savoir, dans notre contexte, à côté de ce que votre Direction diffuse et partage comme informations, ce qui est parfois difficile à absorber par la population, qui a à charge cette responsabilité au niveau central et au niveau local le plus décentralisé possible?

**- Pr. Omar ASSOBBEI (CSTETM)**

Moi je voudrais juste compléter ce qu'a dit le Pr. Albert SASSON concernant l'aménagement du territoire et revenir aussi sur le point évoqué hier par notre collègue Juan Carlos CASTILLA qui a parlé du comportement. A mon sens, je crois que l'expérience vécue a montré que par exemple lors des phénomènes extrêmes survenus dans l'Ourika il y a quelques années la population rurale habitant sur les lieux n'a pas été concerné par les phénomènes mais c'était surtout les touristes. Ceci indique qu'il y a un savoir populaire qui n'est pas partagé et qui devrait normalement l'être à toutes les populations locales ou à l'échelle du pays..

**- Pr. Mahfoud ZIYAD (CITIT)**

Merci Monsieur le Directeur des Séances. Mes remerciements aussi aux deux intervenants. Ma question est innocente car je ne suis pas spécialiste dans le domaine. On parle souvent de l'effet papillon dans les systèmes dynamiques. Ma question est la suivante: M. MOKSSIT a cité 2° comme limité donnée par ces modèles, je pense que c'est en contradiction avec l'effet papillon. Peut être que les limites sont plus faibles que ça.

Ma deuxième question a été abordée par plusieurs intervenants. Même quand on sait prévoir ces phénomènes, nous ne savons pas les traiter. Est-ce que les causes sont dues uniquement au comportement des populations ou bien il y a d'autres causes, on voudrait une réponse. Merci.

**- M. Ali BOUKHARI (CITIT)**

Merci Monsieur le président de séance. D'abord, je félicite les deux intervenants. Ma question est simple : y a-t-il une sensibilisation au niveau des écoles marocaine que ce soit le primaire ou le secondaire? Est-ce qu'il y a une formation dans ce sens pour que l'on puisse sensibiliser convenablement nos générations futures? Ce qu'on entendu ce matin ce sont des choses importantes, mais ça reste entre les spécialistes. On informe quand il y a des phénomènes graves qui peuvent se produire, mais ça reste quant même assez restreint. Merci.

**- Pr. Daoud AIT-KADI (CSTETM)**

Merci beaucoup. Je voudrais d'abord remercier les deux conférenciers. J'ai beaucoup apprécié la première conférence, et j'ai deux questions pour Pr. OUAZAR. La première question porte sur le risque qui est le produit du hasard x la vulnérabilité tel que l'avez défini. Je voudrais savoir comment vous estimez les probabilités de ces événements indésirables, et évidemment à partir d'un ensemble de données qui est relativement limité?

Ma deuxième question : dans l'analyse d'impacts comment agir sur cet impact négatif pour diminuer d'autres impacts?

La troisième question a trait au coût de l'inaction ou la non décision.

Merci.

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

Merci monsieur le Directeur des Séances. Je remercie les collègues pour leurs questions.

Je commencerai par répondre au Pr. GHALLAB au sujet des difficultés de modélisation. Je dois dire que c'est une chaîne logistique. En fait, il y a le système naturel (plaine, rivière, bassin versant) et des observations d'abord liées à la météo, mais ce n'est pas suffisant de dire ce qui va tomber en pluie. Une fois cette pluie tombée on va la suivre dans son cheminement, là le modèle est conceptuel avec des difficultés qu'on sait résoudre. La difficulté réside dans les paramètres. Il faut faire une étude de sensibilité dépendant des scénarios causés par les changements climatiques. On arrive à cerner ce qui se passe si on a les bonnes données.

Pour la question de M. SMANI sur les barrages, les hydrologues ont tendance à travailler avec l'ancien paradigme avec les périodes de retour pour faire le dimensionnement de l'ouvrage. Actuellement la donne a changé avec les changements climatiques, ce ne sont plus les séries stationnaires et on ne peut plus faire la même chose.

M. YAZAMI m'a interpellé sur la gestion de l'eau. Il y a la gestion de l'eau comme bien et la gestion de l'eau comme risque. Il faut le faire de manière intégrée : satisfaire la demande et chercher à juguler l'effet dévastateur.

Le transfert de bassin à bassin a fait l'objet d'études antérieurement. Le Maroc n'est pas passé à l'action dans ce domaine en raison du coût énergétique, mais l'énergie solaire peut actuellement constituer un créneau à explorer.

Quant à la question sur les pluies artificielles, je ne peux malheureusement pas apporter d'éléments de réponse.

**- Mr. Mohamed KABBAJ (CESDE)**

Concernant le transfert d'eau entre barrages, nous avons un projet important pour transférer 700 millions de m<sup>3</sup> du Barrage Al Wahda vers la Chaouia. Le projet devrait être avancé dans ses aspects d'études et il est question seulement de montage financier pour la réalisation. Par contre il existe déjà des transferts entre petits bassins mitoyens.

**- Pr. Donald WILWHITE (College of Natural Resources, Lincoln – University of Nebraska)**

Thank you very much for the questions. I'll try to answer those, as best as I can, given the time constraint. First of all, regarding the question of bottle necks, there have been and there can be few bottle necks to moving to crowd risk management approach to dealing with drought in the future. Certainly, in the area of data, another issue has been the quality in the timing like seasonal forecast information but reliability of that research is not very good for most parts of the world for most seasons of the year and so forth. Data availability and flow can be a bottle neck, the sharing of data across ministries and with the private sector can be an issue relative to the availability of the data which often prevents its use in putting together early warning systems, decision support tools and so forth.

I would the largest single bottle neck that I have seen with this different approach to drought management has been compartmentalization within ministries and administrations, and this is true in most countries. Drought is an issue that cuts across through so many sectors both in terms of the data that is collected as well as finding solutions, sharing information about the impacts about risks. This is a huge problem and it's one that we have to deal with more effectively if we are going to deal with the complexity of drought in the future.

There is a question about probability based methods. When we started pulling all the data that is going into the drought monitor map, there is a question on how you put all that together and express those different variables in a similar way, and you need to look at that in a probability based fashion.

There is also a question about rainfall changes in the USA. What we have seen in general is that there is an increase in the rainfall across most of the northern part and the eastern part of the country, while we were seen a significant decline in precipitations (rain, snow) both in the western United States particularly the south-west. In California there is a lot

of discussions about mega-droughts that last a decade or more and what is that going to mean for drought management and water management in the future. Water movement is obviously very costly.

The US government used to have a pretty strong research program on weather modifications but essentially abandoned that program. There are a lot of technical difficulties and there is not a lot of scientific evidence.

The questions from AIT-KADI are very interesting questions but are not easily answered. Out of our 50 states we have 47 states with drought plans and have gone through the process of risk management. It's been more of a qualitative approach along with quantitative approach.

Regarding the cost of inaction versus the cost of action, one of the things that has been demonstrated with research over the years is that for every 1\$ you invest in mitigation you save about 4\$ in impacts. This 4 to 1 ratio seems to apply whether you are talking about droughts, about floods or other extreme events. Investing in preparedness planning is very cost-effective and in the long-run you are going to save money. The severe drought in the USA during 2011-2012 resulted in the Federal government spending \$62 billion on drought relief. My question to the Federal government : if you took 10 or even 20% of that and invest it in mitigation, you would have a much greater effect and benefit in the long term. Relief tends to cause inaction because people tend to become dependent upon the government, and what we want to build is self reliance. We want to teach people to become good managers of the resource. Thank you.

**- M. Abdellah MOKSSIT (CSTETM)**

Merci Monsieur le Directeur des Séances. Merci aussi à tous les intervenants qui ont posé des questions fort pertinentes qui vont enrichir la portée de ces exposés.

Par rapport à la relation entre la météorologie nationale dans le domaine de la recherche avec les universités, je vais m'appuyer sur quelques chiffres. A ce jour, nous avons plus de 20 ingénieurs météorologistes qui ont tous un Doctorat en plus de relations de partenariat avec les Universités et le grandes Ecoles (EHTP, EMI, ENIM). Nos cadres participent à l'encadrement des doctorants de l'Université, mais il s'agit d'une recherche canalisée vers l'amélioration des modèles et de notre capacité à accomplir notre mission.

En réponse à M. KABBAJ, je dirai que toutes les capacités de la météorologie nationale lui ont permis d'installer un réseau pour :

- La mesure de la qualité de l'air (une trentaine de stations). Nous disposons également de modèles de prévision pour la qualité de l'air. Le dernier (URBANAIR) a été mis en place cette année et concerne la qualité de l'air urbaine de Casablanca au niveau même des quartiers.
- La ressource en eau : nous sommes actuellement en train d'installer un modèle à 3 couches (sol, atmosphère et interface sol-atmosphère).

L'effet papillon est intégré dans la couche limite de turbulence et est pris en considération dans les modèles de prévision que nous utilisons. Par contre quand on parle des anomalies au niveau d'une échelle qui concerne tout un globe c'est la cascade inverse qui donne les signatures qu'on relève sur toutes les cartes du monde.

- **M. Brahim EL MESSAOUDI** (Direction de la météorologie nationale, Maroc)

Je vais répondre à la dernière question relative à la sensibilisation de la population qui est un point très important. Avec une population non sensibilisée, tous les efforts consentis ne serviront à rien. Nous avons commencé, à travers nos bulletins, à instaurer une culture du risque auprès du citoyen marocain.

Concrètement, nous recevons régulièrement la visite des écoles, des lycées et des universités qui viennent bien sûr s'informer sur les activités de la météorologie nationale. Je pense que c'est là une action qui nécessite une amélioration.

- **Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci M. MOKSSIT et M. EL MESSAOUDI pour tous ces moyens qui ont été mis en œuvre par Direction de la météorologie nationale pour développer la prévision et la protection contre les phénomènes climatiques extrêmes. Merci également à tous les intervenants qui ont participé au débat. Nous allons reprendre nos travaux après une pause de 20 minutes.





**SÉANCE II :**  
**PHÉNOMÈNES CLIMATIQUES EXTRÊMES**  
**(SUITE)**

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Nous allons commencer la deuxième séance qui sera aussi consacrée aux phénomènes climatiques extrêmes. La première conférence sera donnée par le Pr. Driss OUAZAR, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat. Il traitera de la «Gestion intégrée des inondations».

## INTEGRATED FLOOD MANAGEMENT: DATA/BIG DATA, MODELS, (UN) CERTAINTY AND KNOWLEDGE

*Driss OUAZAR*

*École Nationale Supérieure des Mines de Rabat  
(Ex ENIM) Rabat / SYSCOM*

*Université Mohammed V - Rabat,  
Ecole Mohammadia d'Ingénieurs/ LASH*



### Résumé :

La fréquence et l'intensité des inondations survenues ces dernières années sont de plus en plus élevées partout dans le monde et en particulier au Maroc. Ceci a provoqué beaucoup de pertes humaines, de biens matériels et la détérioration d'infrastructures sociales et économiques.

Face à cette situation, lutter contre les inondations est d'une importance capitale. Privilégier la gestion intégrée des inondations à l'échelle du bassin versant est devenu une nécessité incontournable ; politique traduite par la création d'ouvrages (barrages, bassin) pour stocker les eaux afin de réduire les inondations. Cette approche est considérée comme essentiellement curative. Une gestion globale du risque Inondation exige d'allier le curatif au préventif. Elle doit viser à gérer à long terme l'aléa et réduire la vulnérabilité dans le cadre d'une approche intégrée de la gestion des inondations, qui respecte le fonctionnement naturel des rivières, et se fonde sur leur législation et leurs politiques existantes couvrant l'intégralité du cycle de gestion des catastrophes (prévention, préparation, réaction et remise en état); Elle devrait s'articuler autour de plusieurs axes dont les principaux sont les suivants :

- amélioration de la connaissance, de la prévision ainsi que l'annonce,
- ralentissement dynamique des ruissellements et des crues,

- actions sur l'espace agricole,
- actions sur l'espace urbain,
- réduction de la vulnérabilité,
- développement de la culture du risque et sa mémoire grâce à une bonne coopération entre les divers experts de la météorologie, l'hydrologie, l'hydraulique et l'océanographie.

Dans cette présentation, nous proposons une méthodologie de modélisation opérationnelle pour la gestion intégrée du risque d'inondation dans le contexte des changements climatiques et nous intégrons dans la méthodologie l'étude de stratégies de résilience et d'adaptation, et on met en exergue le fait que la société doit réapprendre à vivre avec les inondations comme auparavant et concilier le développement économique et l'équilibre des milieux naturels.

## Introduction

Water is a fundamental requirement for survival in the next millennium due to fresh water shortage, increased human population, activities and thus quality degradation. The situation is most critical in semi-arid to arid regions. For the sake of illustration, some problems are enumerated herein:

Climate change (9) and environmentally related: Water as a good

- Global change and warming of the planet with less and less precipitation, excess deforestation, desertification, in addition to industrialization;
- Water environmental problems will for ever continue to be caused by the discharge of various types of pollutants into the natural water system, the degradation of water quality due to the population growth and the industrial development worldwide;
- Continuous decrease of water level in aquifers during drought season;
- Pumping at rates exceeding the annual renewable amount by the precipitation has caused serious problems such as loss of water wells due to declining water table, saline water intrusion in coastal regions, land subsidence, deterioration of water quality, etc.

Floods : Water as a risk

- The frequency and intensity of floods in recent years have highly increased around the world, including Morocco. This has caused much loss of life, material goods and the deterioration of social and economic infrastructures;
- Dam breaking is considered a special flood associated with the mechanistic failure of a dam due to man made or natural hazards;

- Flooding is considered as the most worldwide natural disaster (represents almost 37%). Fighting against flooding is therefore of utmost importance;
- Usually, the policy consisted in infrastructures (dams, river works and restoration) to store water and facilitate flow to reduce flooding, and to a less degree watershed management. These are essentially preventive measures.

Know how

- Man mismanagement (competence, know how, modeling and simulation tools, data).

These problems are further compounded by the contamination of surface and subsurface water from domestic, municipal, agricultural, and industrial sources.

Water shortage will adversely affect the living standard and economic activities. If not properly mitigated, it will trigger social unrest, and negatively impact domestic stability. In parallel, though water is commonly considered by most people as a good, it can also be a high risk. Excess water can pose many problems to human being and activities, as it has been observed all over the world these last two decades. A detailed categorization of flood losses is given reference 15.

Therefore, flood control and protection requirements have attracted the attention of the scientific community increasingly to deal with flooding issues as both an engineering pursuit and a social endeavour through scientific research investigations (1, 2, 3, 4, 7).

In the past, physically based flood control through the construction of levees, dykes, diversion channels, dams and related structures were considered as the main mitigation measures.

However with the high increase of flood losses continued, a new approach emerged utilizing the concept of risk in the decision-making. The flood cannot be defined as an independent object of the society but it has to be considered as a constraint which itself is a part of history within a territory. Now, some questions can be raised: i) to what extent and how human actions affect the risk of flooding? ii) to what extent and how does it affect the flood hazard in turn on human activities, particularly on the opportunities for spatial territorial development? (6, 9).

The diversity of societal responses to flood hazard and prescription of preventive policies are dependent on perceptions, political processes and local issues.

It is to be noticed that flood defense projects are of special concern as they are very complex, environmentally sensitive, and under close public scrutiny.

Integrated flood management approach is of paramount importance to handle flood risk issues. This paper covers some aspects; namely Data / Big Data, Models, (Un) Certainty and Knowledge (14).

## Integrated Water Resources Management (IWRM)/ IFM Paradigm



**Figure 1:** Integrated Water Resources Management (IWRM)

Integrated Water Resources Management (IWRM), as depicted in Figure 1 (12,13,14) has been largely defined by many stakeholders at the level of international institutions and will not be defined again in this paper. Integrated Flood Management (IFM) integrates land and water resources development in a river basin, within the context of Integrated Water Resources Management.

The objectives of the decision maker/ manager are mainly:

- Floods analysis and protective measures;
- Costs-Benefits and Tradeoffs between different Integrated Flood Management Strategies;
- Climate change effect;
- “Optimum” design of hydraulic infrastructures and other protective measures.

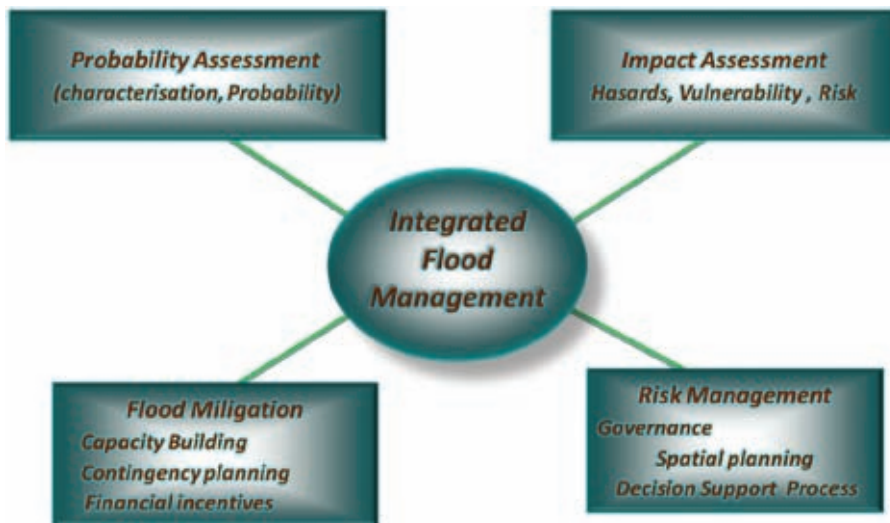
IWRM/IFM Specific features involve (11, 12):

- Multi-sources spatial data sets, Multi-Scale, and Multi-Models;
- Heterogeneous data formats and standards, resulting from various sophisticated simulation models, that can ironically, create more of a Big Data challenge than the experimental sciences they are supposed to complement or replace;
- Large simulations are becoming unavoidable tackling all the scientific aspects at multiple scales.

IFM (Figure 2) is considered as a comprehensive approach to flood management, i.e. a global flood risk management in the context of climate change:

- i) integrating resilience and adaptation strategies;
- ii) reconciling economic development and balance of natural environments;
- iii) combining curative and preventive measures aimed to manage the long-term hazard and reduce vulnerability.

It is based on legislation and existing policies covering the entire disaster management cycle (prevention, preparedness, response and rehabilitation), considers land and water resources at watershed scale, the overall objective being the minimization of life and property damage, and maximization of floodplains benefits. The recognition of periodic floods benefits to ecosystems is of paramount importance (6).



**Figure 2:** IFM-Components

Issues related to data and modeling are discussed in the next sections.

### **Data Aspects (5, 12,13, 14)**

The flooding causes are numerous:

- High intensity rainfall;
- Prolonged rainfall;
- Storm surges;
- High tides;



- Sea waves;
- Disturbances;
- Urbanization excess.

The associated vulnerability factors are summarized below:

- Poor drainage system;
- Blockage of drains;
- Deforestation, soil erosion and silting of river beds;
- Removal of sand, gravel and boulders from river beds for construction issues;
- Small river catchment area;
- Conditions of steep slope;
- Low lying coastal areas.

The main parameters used for flooding characterization, also considered as danger indicators are:

- Peak flow;
- Volume;
- Depth of water;
- Duration;
- Velocity;
- Rate of rise;
- Frequency or occurrence;
- Seasonal.

Therefore, flood issues are data dependent. Data sets types include :

- Real-time meteorological and hydrological data from hydro-meteorological stations (water stages, precipitation, air temperatures, water temperatures, etc.);
- Processed data (discharges, hydrological reporting, hydrological situation, processed information for input into hydrological models);
- Parameters related to soils, and roughness;
- Boundary conditions;
- Digital elevation models using satellites images (if possible LIDAR);
- River profiles and networks;
- Infrastructure (roads, railways, bridges);

- Socio-economic information (needed for impact assessment);
- Input and output data of different simulations generated by simulations or obtained from sensors;
- Permanent or periodically updated;
- Publicly available / restricted access.

The usual hydrological observation networks feature the following:

- Many networks are specific project-oriented objectives;
- Mainly aimed to early warnings for disaster prevention;
- Expansion of networks to obtain short time series of data;
- Diminution of the number of observations due to short-term economic considerations (rationalization) of networks;
- Hydrological networks induced by climate change issues are just starting;
- No or few investment plans in multi-purpose hydrological networks (local, regional, global scales).

To complete data, additional weather radar and telemetric system, are needed, for accurately forecasting precipitation in catchment areas (Network densification optimization).

Some illustrations of data acquis

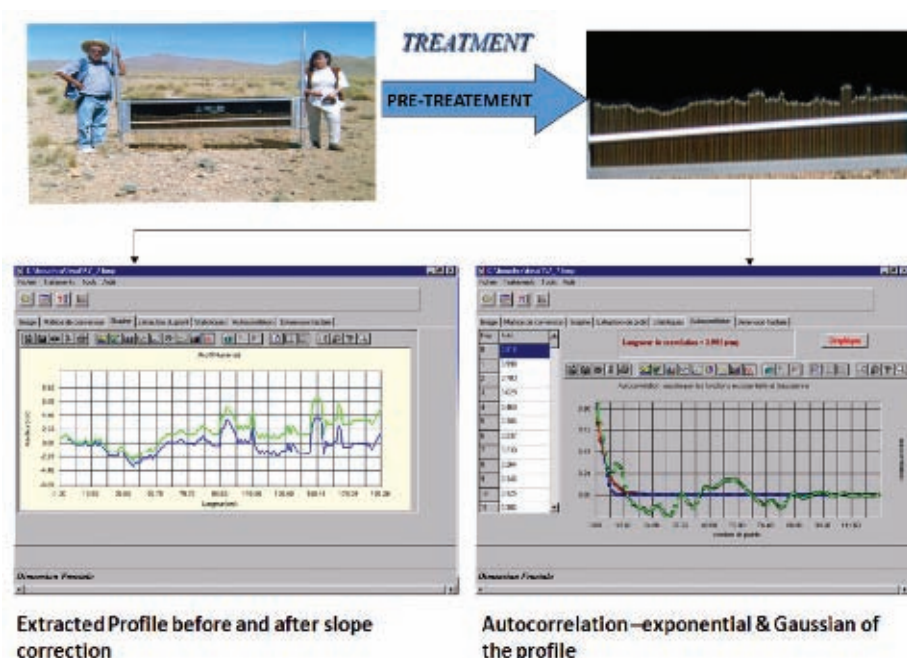


Figure 3: illustration of data acquisition

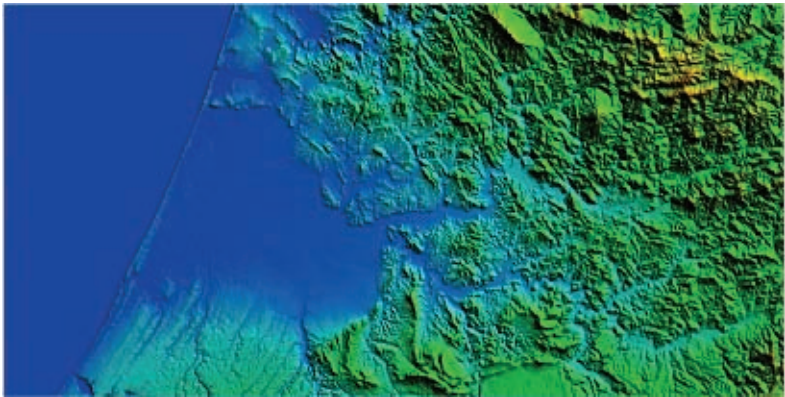


Figure 4: Illustration using the LIDAR Image

Big Data are offering other opportunities for risk assessment of inundations that will permit improving real time operations decision support by :

- Acquisition, automation, remote control, transmission of data;
- Advance asset management capabilities;
- Increase the amount of advanced metering infrastructure in water utilities.

and real time control of the environment by increased monitoring and sensors in the natural environment will allow to see how reliable are we doing with the environment.

Modeling Issues (4, 14)

Systems analysis as illustrated in Figure 5 allows the abstraction of the whole phenomenology by inputs or causes, some processing (system model, transfer function) and the outputs or effects. If the box is well defined and developed, the outputs will be well reproduced and the predicted results will closely approximate the observations.

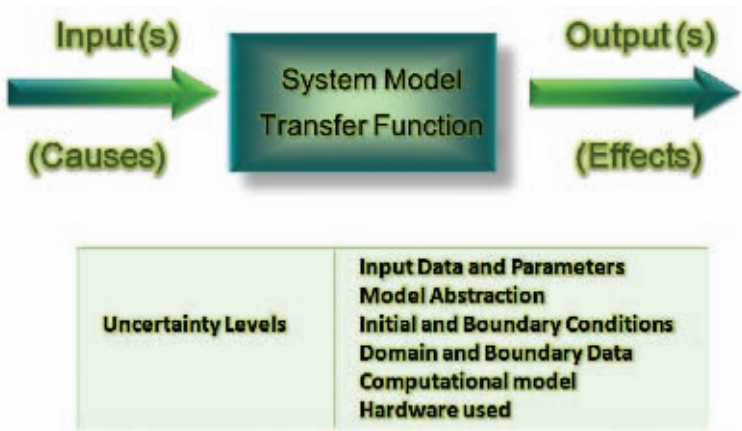


Figure 5: Modeling Issues

Usually whatever the model (conceptual, empirical), there are many levels of uncertainty associated with the parameters involved, and thus this will also lead in some uncertainty in the results.

For simulation and modeling purposes, flooding studies involve various categories of models to assess the potential impact of river floods or dam failure, by estimating:

- detailed flood extents for various scenarios (wave time arrival, depth, velocity variation in space);
- socio-economic impact in the surrounding area.

### **Modeling Process – Steps (5):**

- Step 1: Phenomena, Domain of study, Observations/Experiments -Data/Parameters issues;
- Step 2: Mathematical Formulation (PDE, Characterization, BC, IC), Domain of study, Heterogeneities, Parameters, Knowledge;
- Step 3: Operators, Domain, and Boundary Approximation, Parameters id;
- Step 4: Numerical algorithms, Computer Implementation (Scalar, HPCN, Grid,...).

There are three modeling levels:

#### **i) Meteorological models**

- Global;
- Regional;
- Downscaling tools.

#### **ii) Hydrological models**

- Deterministic/stochastic;
- Black box/Conceptual;
- Semi distributed, Distributed, Lumped.

#### **iii) Hydraulic models – Wave Propagation**

- 1.5D, 2.5D Saint-Venant Shallow Water PDE (1, 7);
- Full Navier Stockes or Reynolds Equations (4, 7).

There are also modelling uncertainty associated with right model, getting the model right, and other uncertainties to climate change paradigm and knowledge of flood terminology (10/50/ 100-yearflood meaning, climate effects) and scenario specifications control /settings / configuration. The overall picture and concepts of the global vision are illustrated in Figures 6 and 7.

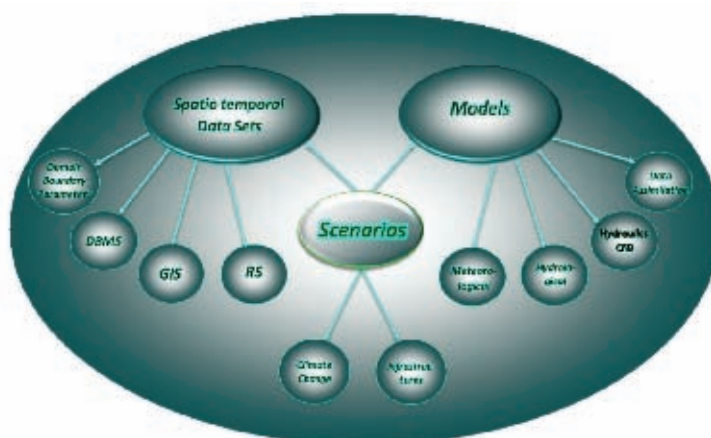


Figure 6 : IFM – Computational Aspects

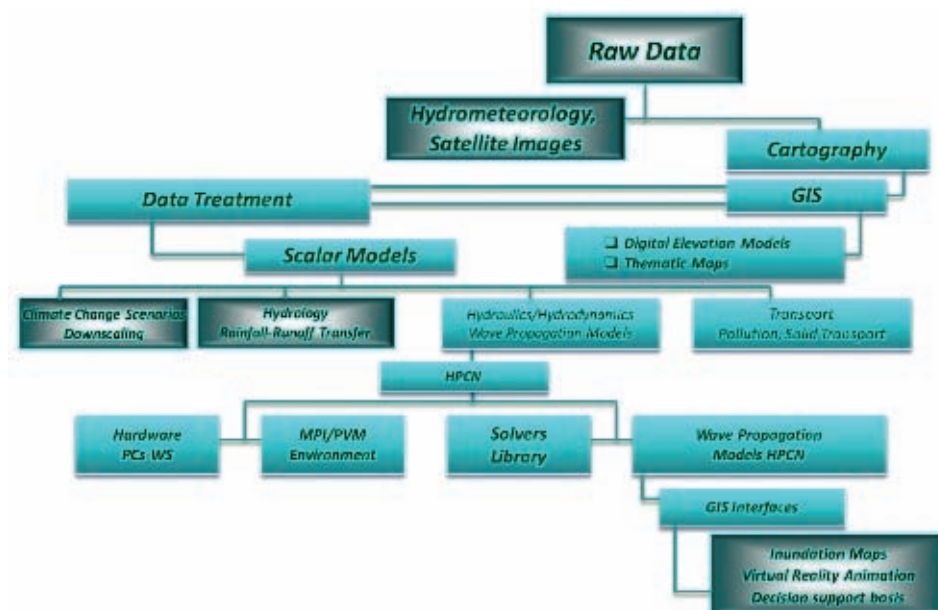


Figure 7: Global Vision

Flood simulation will allow flood extent assessment and at a prospective level, to analyze floodplain morphology changes including riverbed and subsurface properties changes, due to repetitive floods for a given site. The flood modeling needs boundary conditions for the flood wave propagation process. Thus there is a need to compute discharge hydrographs that can be obtained through precipitation data via various models. One can deal with voluntary dyke breaking, dam-breaking or simply floods. In any case, a flood hydrograph has to be generated somehow through hydrological considerations or mechanistic ones. The problem is that we do not have the discharge directly. Only precipitation data may

be available complemented by some in situ measurements. Transfer functions are needed to find out the transform to build the so-called hydrograph. Studies of submersion wave propagation have aroused more and more interest these last decades. The prediction of both inundated zones and flood wave arrival times in the downstream valley is of crucial importance and allows the establishment of appropriate alarm plans for preventive evacuation of populations threatened by an imminent storm or barrage failure. Reliability of estimated values is strongly dependent on the proper selection of both solution models that are used to compute the phenomenon and involved hydraulic parameters that often originate in experiments and/or heurism. Whatever the problem, the governing equations are based on non-linear partial differential equations of elliptic, parabolic or hyperbolic types. To solve them, one needs :

- to appropriately define the domain (this is done through river/watershed/lake cross sections, or more precisely Digital elevation model);
- to find out orders of magnitudes of various parameters and coefficients involved in the governing mathematical operator, identify and define boundary conditions, the excitation of the system, etc..

So that the problem is well posed.

Usually before scenarios analysis, one needs to define clearly the objectives, then proceeds with the choice of a numerical method, adequate meshing and numerical modeling, the calibration and qualification of the model, scenario simulations and model exploitation. The detailed modeling process can be summarized as follows:

- Data;
- Geology;
- Physical/Chemical processes;
- Acquisition, follow-up and monitoring;
- Conceptual models;
- Geologic structure;
- Relevant parameters/processes;
- Dimensionality;
- Mathematical/Numerical models;
- Verification/Validation;
- Calibration/Sensitivity analysis;
- Scenarios simulation / Prediction;

The overall modeling is an iterative process, and hybrid in reality involving going back and forth to experimental information. Very often, data is incomplete and/or inaccurate. Optimization can help in reducing trial and errors for calibration purposes, identifying appropriate parameters needed for simulation and in the monitoring process.

## Mitigation Measures

- Intensification of Flood management measures needed :  
Structural (river bed dredging, deepening and widening, construction of river dams and reservoirs)  
Non-structural measures (controlled development, early warning and forecasting, prevention of extraction of gravels, boulders, sands from river bank).
- Hazard mapping and integrated land and water management needed;
- Integrated Water Resource Management (IWRM) in river basin catchment areas.

## Design and planning consideration are:

- Previous efforts did not meet expectations (do better, set priorities)- Flood management is not a local civil engineering issue but concerns co-ordinated strategic management sets of actions involving both water and land use;
- Permanent flood mitigation is hard to achieve and it takes years to complete;
- Gain knowledge from historical flood records and previous experience, and identify scope, schedule and resources need to successfully reduce or prevent potential flood damages;
- Identify the way stakeholders need to work together for conducting a successful plan against floods;
- Change of Paradigm is required to deal with flooding in a sustainable manner – Re-learn to Live with Floods as Non-structural measures are more sustainable than building infrastructures.

## Key focus actions consist in:

- Improving knowledge, forecasting and alert;
- Dynamic slowing runoff and flooding;
- Agricultural land and urban space;
- Reducing vulnerability;
- Development of risk culture and memory through cooperation between experts (hydrology, hydraulics, Human and Social Sciences).

## Flood prevention in Morocco

Morocco has faced numerous floods to name a few Errachidia 1962-1965, Sebou 2 years frequency (with the existing infrastructures of today still risk), Ourika 1995, El Hajeb 1997, Al Hoceima 2003, Martil 2000, Bouskoura-Casablanca (10 years return), Khenifra 2003, Mohammadia 2002-2003 and recently Guelmim, Sidi Ifni, Ouarzazate, Haouz 2014 as depicted in Figure 8 for the sake of illustration.

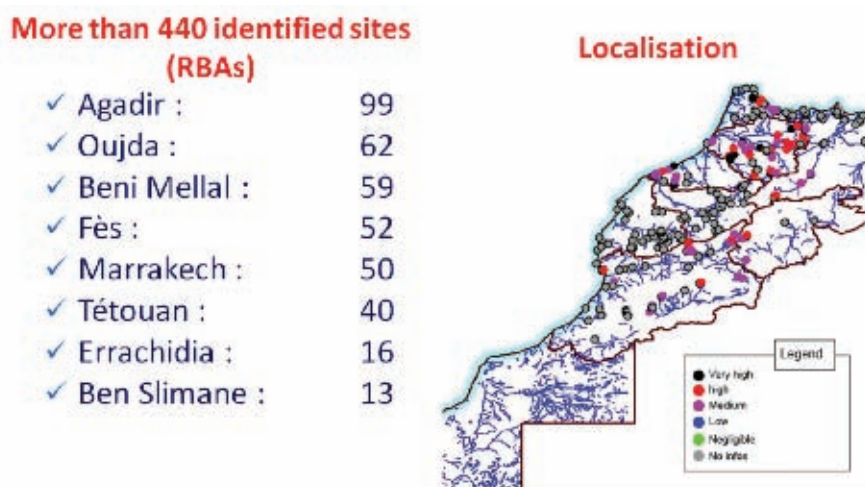




**Figure 8:** Illustration of floods damage in Morocco

Flood prevention in Morocco as developed by the hydraulic administration covers:

- Wide range of integrated measures at river basin level;
- Emphasis on information management, early warning systems, flood protection plans;
- Raise protection levels by combination of land improvement measures (enhance natural capacity to retain flood water) and structural measures (contain and divert flood discharges);
- National Plan for Protection Against Floods (PNI) since 1990;
- The PNI serves as a committee for project screening and selection;
- Characterization of flooding problems and regulations land uses control in flooded areas (Flood Type, Exhaustive Inventory of Sites, Definition of appropriate preventive measures);
- Institutional framework to make a review:
  - Existing state of the law, regulation, organization and responsibilities of various departments and agencies (local authorities, associations, etc.);
  - Proposals for improvements and modifications to better prevent flooding and to accompany the proposed protection measures.
- Development of an action plan:
  - Establishment of a timetable of protective structures, investment appraisal and development of financing plans;
  - Proposal to improve forecasting and flood warning and for the cleaning and maintenance of waterways.



**Figure 9:** Vulnerability of Moroccan territories (Source Hydraulic Administration)

Four types of risk are taken into consideration (Figure 9); i.e. human, social (Construction, Infrastructure and Agricultural), environmental, and economic; according the following appreciation in terms of impact:

<i>Negligible</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>	<i>Veryhigh</i>
5%	20%	21%	20%	32%

In comparison, the European Union directive considers :

- Integrated flood management approach covers the entire disaster management cycle (prevention, preparedness, response and recovery)
- Flood forecast, early warning, increased use of insurance, contingency plans ...
- Strengthen mechanisms for cooperation and coordination between the authorities responsible for civil protection, disaster management, the management of flood risk, land and water management, to establish a link between the measures of prevention, preparedness and response.

## Key Actions :

- Forecasting and early flood warning at Meteorological, Hydrological and Hydraulic scales (gains in time);
- Flood storage by large dams and development later in Agriculture, Water Supply and Energy;
- Diverting and spreading floods and seasonal development in agriculture, evaporation and groundwater recharge;
- Encourage land-use planning practices (rainwater harvesting) that reduce the consequences of flooding;

- Conduct flood management from regional, system wide, and nationwide perspectives to provide multiple benefits;
- Increase collaboration among public agencies to improve flood management planning, policies, and investments;
- Establish sufficient and stable funding mechanisms to reduce flood risk;
- Energy development by turbine exclusively.

### Concluding Remarks, Lessons Learnt, and Key Principles

- Conduct regional flood risk assessments to better understand nationwide flood risk;
- Increase public and policymaker awareness about flood risks to facilitate informed decisions;
- Increase support for flood emergency preparedness, response, and recovery programs to reduce flood impacts;
- Make best use of available information/Data and do not wait for high quality data and tools to become available, Involve Research Institutes;
- Involve stakeholder at the earliest stages of impacts and adaptation;
- Use of analytical tools to test sensitivity to Climate Change and assess the risk;
- Identification of new vulnerabilities or opportunities should be connected to assessment of implications for regional development.

### Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the support through IRIACC Initiative sponsored by IDRC under the project entitled “Faire-face aux Changements Ensemble: Mieux s’adapter aux Changements Climatiques au Canada et en Afrique de l’Ouest”, Project Number: 106372-013.

### Bibliography

- 1- Aldrighetti, E. (2007): Computational hydraulic techniques for the Saint Venant Equations in arbitrarily shaped geometry. Ph.D. thesis. Università degli Studi di Trento.
- 2- Alhuri, Y., D. Ouazar, A. Naji, and A. Taik. (2012): Numerical simulation of Saint-Venant equations with turbulence using radial basis functions: application to Lake Bouregreg, International Journal of Computer Applications in Technology 43 (2): 128–139.
- 3- Alhuri, Y., D. Ouazar, and A. Taik. (2011): Radial Basis Functions, Alternative Solutions to Shallow Water Equations. Frontiers in Science and Engineering 1 (1): 1–19.
- 4- Hasnaoui, M.D., D. Ouazar, A. Bouziane., M. Benhamid (2015): The role of rainwater harvesting in mitigating floods and dams siltation: A case study from Morocco, Water Shortage and Hydropower Development for Africa, The international Journal on Hydropower & dams , pp 85-91 2015.
- 5- Hasnaoui, M.D., D. Ouazar, N. Aqid, and M. Touji (2013): Hypsometrical Approach as a Decision Tool for Rational Management and Planning of Watersheds to Meet

- Sustainable Development, Journal of Sustainable Watershed Science & Management 1 (3): 99–107, 2013 doi: 10.5147/jswsm.2013.0126.
- 6- Ouazar, D. (2013): Invited Speaker- Integrated Water Resources Management under Sustainable Development Constraints : Case Studies in Morocco, Tsukuba University, Alliance for Research on North Africa (ARENA), Japan, June 17, 2013.
  - 7- Ouazar, D. (2013): IWRM - Sustainable Development Basis for water resources: Some Applications / Illustrations in Semi-Arid to Arid Areas in Morocco, AIMS NEI, African Institute for Mathematical Science (AIMS Next Einstein Initiative) Global Alumni Reunion, Invited Speaker Section 5: IDRC Highlights IRIACC FACE Project, June 25- 30, 2013.
  - 8- Benkhaldoun, F., Ouazar, D. Raghay, S. (eds) (2005): Problems and Perspectives, Finite Volumes for Complex Applications IV, Hermes Science Publishing Limited, 730 p, 2005.
  - 9- El Dabaghi, F. and D. Ouazar (2001) : Esimeau Integrated Information System for Modeling and Management of Water Resources; Concepts and architecture, J. of Systems Analysis Modelling Simulation, SAMS, Vol. 41, pp. 669-688, 2001.
  - 10- European Commission (EC). (2007): Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the Assessment and Management of Flood Risks.
  - 11- Hervouet J.M. (2007): Hydrodynamics of Free Surface Flows modelling with the finite element method, 341 p., John Wiley & Sons, Ltd.
  - 12- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Cambridge, Cambridge University Press.
  - 13- Integrated Flood Management-Concept Paper (2004): Edited by Technical Support unit, World Meteorological Organization Weather • Climate • Water and Global Water Partnership, 28 p. APFM Technical Document No. 1, second edition © The Associated Program on Flood Management, 2004.
  - 14- Ouazar (2014): Data and/or Big Data, Knowledge, and Modelling of Water Systems, Workshop- Big Data: Challenges and Applications, Invited Speaker, 17-19 February 2014, Imperial College London, UK.
  - 15- Parker, D.J. (ed.) (1999): Floods, Volume I and II. London, Routledge.

---

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci Pr. OUAZAR pour cette conférence qui présente les travaux qui se font à l'échelle universitaire sur la même thématique qui a été présentée par nos collègues de la Direction de la météorologie nationale. Ceci illustre l'intérêt porté pour ce thème des deux côtés et la possibilité de collaboration dans le futur.

Je donne la parole maintenant au Pr. Donald WILWHITE, Professor of Earth Climate au College of Natural Resources, Lincoln – University of Nebraska. Pr. WILWHITE va nous parler de la «Gestion intégrée des sécheresses : Un nouveau paradigme pour le 21<sup>ème</sup> siècle».

A vous la parole professeur.

## INTEGRATED DROUGHT MANAGEMENT: A NEW PARADIGM FOR THE 21<sup>ST</sup> CENTURY

*Donald A. WILHITE*

*Professor of Applied Climate Science,  
School of Natural Resources,  
University of Nebraska, Lincoln,  
Nebraska-68583, U.S.A.  
([dwilHITE2@unl.edu](mailto:dwilHITE2@unl.edu))*



### Abstract

There is increasing concern worldwide about the ineffectiveness of current drought management practices that are largely based on a crisis management approach. These practices are reactive and, therefore, only treat the symptoms (impacts) of drought rather than the underlying causes for the vulnerabilities associated with impacts. Through the adoption of national drought policies that are focused on risk reduction and complemented by drought mitigation or preparedness plans at various levels of government, the coping capacity of nations to manage droughts can be improved. However, given the complexities of drought, both physical and social, the development process must be integrated across sectors through the inclusion of all appropriate ministries and key stakeholders. The time for adopting an approach that emphasizes drought risk reduction is now, given the spiraling impacts of droughts in an ever-increasing number of sectors and the current and projected trends for the increased frequency, severity and duration of drought events in association with a changing climate. This paper discusses the principles and objectives of national drought policies and a template for the development of national drought policies for governments as a follow up to the High-level Meeting on National Drought Policies held in Geneva, Switzerland in March 2013.

### Key Words

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

## Introduction

The implementation of a drought policy based on the philosophy of risk reduction can alter a nation's approach to drought management by reducing the associated impacts (risk). This concept helped motivate the World Meteorological Organization's (WMO) Congress, at its Sixteenth Session held in Geneva in 2011, to recommend the organization of a "High-level Meeting on National Drought Policy (HMNDP)." Accordingly, WMO, the Secretariat of the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), in collaboration with a number of UN agencies, international and regional organizations, and key national agencies, organized and held the HMNDP in Geneva from 11 to 15 March 2013. The theme of the HMNDP was "Reducing Societal Vulnerability – Helping Society (Communities and Sectors)."

Concerns about the spiraling impacts of drought on a growing number of sectors, the current and projected increase in the incidence of drought frequency and severity for many regions, and the outcomes and recommendations emanating from the HMNDP have drawn increased attention from governments, international and regional organizations, and non-governmental organizations. Given the complexities of drought and the multitude of ministries and stakeholders that must be involved in the development of a national drought policy and preparedness plans, this process must include the three pillars of the policy, i.e., monitoring, prediction, early warning and information delivery; vulnerability and impact assessment; and mitigation and response, and be integrated across all appropriate ministries and inclusive of key stakeholders.

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

## National Drought Policy: Background

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

on risk management through the application of preparedness and mitigation<sup>1</sup> measures (HMNDP, 2013). This policy should be directed toward reducing risk by developing better awareness and understanding of the drought hazard and the underlying causes of societal vulnerability along with developing a greater understanding of how being proactive and adopting a wide range of preparedness measures can increase societal resilience. Risk management can be promoted by encouraging the improvement and application of seasonal and shorter-term forecasts, developing integrated monitoring and drought early warning systems and associated information delivery systems, developing preparedness plans at various levels of government, adopting mitigation actions and programs, creating a safety net of emergency response programs that ensure timely and targeted relief, and providing an organizational structure that enhances coordination within and between levels of government and with stakeholders. The policy should be consistent and equitable for all regions, population groups, and economic sectors and consistent with the goals of sustainable development.

As vulnerability to and the incidence of drought has increased globally, greater attention has been directed to reducing risks associated with its occurrence through the introduction of planning to improve operational capabilities (i.e., climate and water supply monitoring, building institutional capacity) and mitigation measures that are aimed at reducing drought impacts. This change in emphasis is long overdue. Mitigating the effects of drought requires the use of all components of the cycle of disaster management (Figure 1), rather than only the crisis management portion of this cycle. Typically, when drought occurs, governments and donors have followed with impact assessment, response, recovery, and reconstruction activities to return the region or locality to a pre-disaster state. Historically, little attention has been given to preparedness, mitigation, and prediction/early warning actions (i.e., risk management) and the development of risk-based national drought management policies that could reduce future impacts and lessen the need for government and donor interventions in the future. Crisis management only addresses the symptoms of drought, as they manifest themselves in the impacts that occur as a direct or indirect consequence of drought. Risk management, on the other hand, is focused on identifying where vulnerabilities exist (particular sectors, regions, communities, or population groups) and addresses these risks through systematically implementing mitigation and adaptation measures that will lessen the risk to future drought events. Because societies have emphasized crisis management in past attempts at drought management, countries have generally moved from one drought event to another with little, if any, reduction in risk. In addition, in many drought-prone regions, another drought event is likely to occur before the region fully recovers from the last event. If the frequency of drought increases in the future, as projected for many regions, there will be less recovery time between these events.

Progress on drought preparedness and policy development has been slow for a number of reasons. It is certainly related to the slow-onset characteristics of drought and the lack of a universal definition. Drought shares the distinction of being a creeping phenomenon

---

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



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

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

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

## **Drought Policy Development: A Template for Action**

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

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

to any level of government (i.e., local, state or provincial, or national) or geographical setting for the development of a drought preparedness or mitigation plan.

The Integrated Drought Management Program (IDMP), launched by the Global Water Partnership (GWP) and the World Meteorological Organization (WMO) at HMNDP in 2013, recognized the urgent need to provide nations with guidelines for the development of national drought management policies (<http://www.droughtmanagement.info/>). To achieve this goal, the drought preparedness planning methodology referred to above was modified to define a generic process that governments can follow for the development of a national drought policy and associated drought preparedness plans at various levels of government that support the principles of that policy (IDMP, 2014). This policy development process is provided on the IDMP website in all of the languages of the United Nations and, thus, is not described in this paper. The goal of this 10-step process is to provide a template for governments and organizations to follow to reduce societal vulnerability to drought. A national drought policy can be a stand-alone policy or a subset of a natural disaster risk reduction, sustainable development, integrated water resources or climate change adaptation plan that may already exist.

## **Drought Policy: Characteristics and the Way Forward**

As a beginning point in the discussion of drought policy, it is important to identify the various types of drought policies that are available and have been utilized for drought management. The most common approach followed by both developing and developed nations is post-impact government (or nongovernment) interventions. These interventions are normally relief measures in the form of emergency assistance programs aimed at providing money or other specific types of assistance (e.g., livestock feed, water, food) to the victims (or those experiencing the most severe impacts) of the drought. This reactive approach, characterized by the hydro-illogical cycle, Figure 2, is seriously flawed from the perspective of vulnerability reduction since the recipients of this assistance are not expected to change behaviors or resource management practices as a condition of the assistance. Although drought assistance provided through emergency response interventions may address a short-term need, it may in the longer term actually decrease the coping capacity of individuals and communities by fostering greater reliance on these interventions rather than increasing self-reliance. This reliance on the government for relief is contrary to the philosophy of encouraging self-reliance through an investment in appropriate mitigation actions that can improve drought coping capacity. Government assistance or incentives that encourage these investments would be a philosophical change in how governments respond and would promote a change in the expectations of livestock producers as to the role of government in these response efforts. The more traditional approach of providing relief is also flawed in terms of the timing of assistance being provided. It often takes weeks or months for assistance to be received, at times well beyond the window of when the relief would be of greatest value in addressing the impacts of drought. In addition, those livestock producers who previously employed appropriate risk reduction techniques are likely ineligible for assistance since the impacts they experienced were reduced and therefore do not meet the eligibility requirements. This approach rewards those that have not adopted appropriate resource management practices.

Although there is at times a need to provide emergency response to various sectors (i.e., post-impact assessment interventions), it is critically important for the purpose of moving toward a more proactive risk management approach that the two drought policy approaches described below become the cornerstone of the policy process.

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

The third type of policy approach emphasizes the development of pre-impact government programs or measures that are intended to reduce vulnerability and impacts. This approach could be considered a subset of the approach listed above. In the natural hazards field, these types of programs or measures are commonly referred to as mitigation measures. Mitigation in the context of natural hazards is different from mitigation in the context of climate change, where the focus is on reducing greenhouse gas (GHG) emissions. Mitigation in the context of natural hazards refers to actions taken in advance of drought to reduce impacts in the future. Drought mitigation measures are numerous, but they may be more confusing to the general public in comparison to mitigation measures for earthquakes, floods and other natural hazards where the impacts are largely structural. Impacts associated with drought are generally non-structural, and thus the impacts are less visible, more difficult to assess in a timely fashion (e.g., reductions in crop yield), and do not require reconstruction as part of the recovery process. Drought mitigation measures would include establishing comprehensive early warning and delivery systems, improved seasonal forecasts, increased emphasis on water conservation (demand reduction), increased or augmented water supplies through greater utilization of ground water resources, water reutilization and recycling, construction of reservoirs, interconnecting water supplies between neighboring communities, drought preparedness planning to build greater institutional capacity, and awareness building and education. In some cases, such water resource augmentation measures are best developed jointly with a neighboring state (or country), or at least such measures should be coordinated if they might have an impact on the other riparian state (or downstream use in general). Insurance programs, currently available in many countries, would also fall into this category of policy types.

### **Principal Elements of a Drought Risk Reduction Policy Framework**

Drought policy should emphasize four principle components during the development process: (1) risk and early warning, including vulnerability analysis, impact assessment, and communication; (2) mitigation and preparedness, including the application of effective and affordable practices; (3) awareness and education, including a well-informed public and a participatory process; and (4) good governance and an effective policy framework, including political commitment and responsibilities (UNISDR, 2009). Another important

component of this framework is the inclusion of policy options for emergency response and relief. In all cases, when severe drought occurs, governments and other organizations must provide some form of emergency relief to those sectors most affected. However, it is crucial, as a part of a drought risk reduction policy, for this assistance to be provided in a form that does not run counter to the goals and objectives of the national drought policy, which would include a strong emphasis on the sustainability of the natural resource base. For example, a food for work program is often used as an emergency response measure. If the work associated with this program is directed towards building small water storage systems, the outcomes of this work will lead to future risk reductions associated with water shortages for domestic water supplies or irrigation.

### **National Drought Management Policy: A Process**

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

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

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

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

greater emphasis on mitigation planning with each revision. Now, this original methodology has been modified once again to reflect an emphasis on capacity development for a national drought management policy, including the development of drought preparedness plans that are necessary in support of a national policy.

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

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

- Step 1:** Appoint a national drought management policy commission
- Step 2:** State or define the goals and objectives of a risk-based national drought management policy
- Step 3:** Seek stakeholder participation; define and resolve conflicts between key water use sectors, considering also transboundary implications
- Step 4:** Inventory data and financial resources available and identify groups at risk
- Step 5:** Prepare/write the key tenets of a national drought management policy and preparedness plans, which would include the following elements:
  - Monitoring, prediction, early warning and information delivery
  - Vulnerability/risk and impact assessment
  - Mitigation and response
- Step 6:** Identify research needs and fill institutional gaps
- Step 7:** Integrate science and policy aspects of drought management
- Step 8:** Publicize the national drought management policy and preparedness plans and build public awareness
- Step 9:** Develop educational programs for all age and stakeholder groups
- Step 10:** Evaluate and revise national drought management policy and supporting preparedness plans

## Summary and Conclusion

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

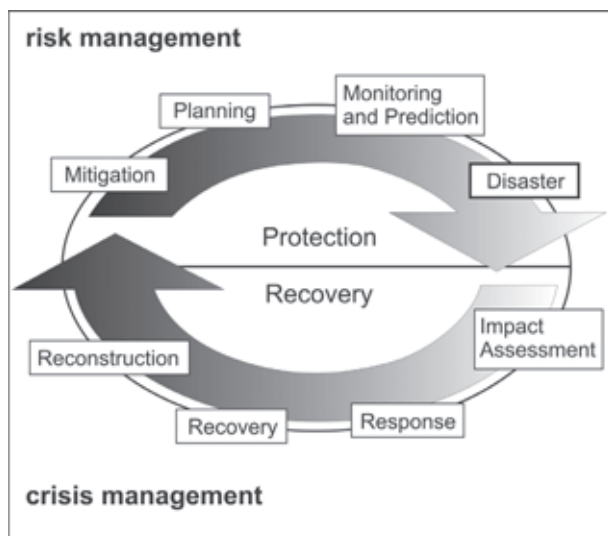
The intent of the drought policy development and planning process included in this paper and referenced (IDMP, 2014) is to provide a set of generic steps or guidelines that nations can use to develop the overarching principles of a national drought policy that is integrated across sectors and aimed at risk reduction through a national drought policy commission. This policy would be implemented at the sub-national (i.e., provincial, state or local) level through the development and implementation of drought mitigation and preparedness plans that follow the framework or principles of the national drought policy. Following these guidelines, a nation can significantly change the way they prepare for and respond to drought by placing greater emphasis on proactively addressing the risks associated with drought through the adoption of appropriate mitigation actions. These guidelines are generic in order to enable governments to choose those steps and components that are most applicable to their situation. The risk assessment methodology embedded in this process is designed to guide governments through the process of evaluating and prioritizing impacts and identifying mitigation actions and tools that can be used to reduce the impacts of future drought episodes. Both the policy development process and the planning process must be viewed as ongoing, continuously evaluating the nation's changing exposure and vulnerabilities and how governments and stakeholders can work in partnership to lessen risk.

## References

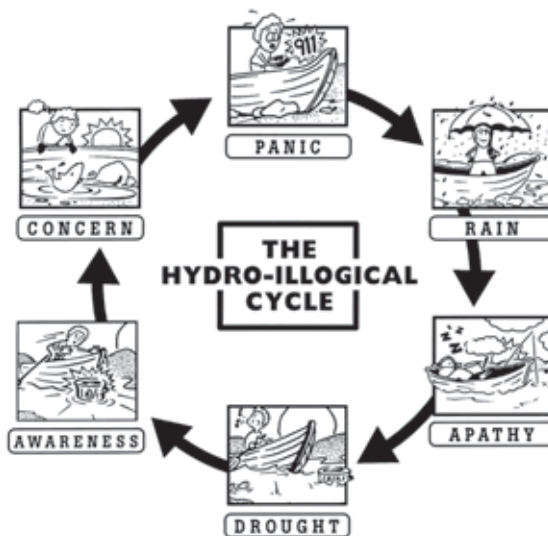
- HMNDP. 2013. Final Declaration from the High-level Meeting on National Drought Policy. (<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/meetings/hmndp13/>).
- IDMP (Integrated Drought Management Programme). 2014. National Drought Management Policy Guidelines: A Template for Action. Prepared by D.A. Wilhite.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

## Figure Captions

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



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



- **Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup Pr. WILWHITE pour votre conférence.

La discussion des deux présentations sera déplacée au début de l'après-midi pour laisser place à la présentation des nouveaux membres de l'Académie.



## DISCUSSION

### - Pr. Tijani BOUNAHMIDI (Directeur des Séances)

Nous reprenons nos travaux avec la discussion des deux présentations (celles du Pr. OUAZAR et du Pr. WILWHITE) faites durant la deuxième partie de la séance de la matinée et qui ont porté sur la gestion des inondations et de la sécheresse.

La parole est à l'assistance.

### - Pr. Malik GHALLAB (CSMI)

Les deux présentations de la fin de la matinée étaient extrêmement intéressantes. J'ai beaucoup apprécié la vision d'ensemble et intégrative du Pr. Donald WILWHITE.

C'est une question plus technique que je voudrais poser à notre ami Driss OUAZAR dont j'ai beaucoup apprécié la présentation, s'il pouvait nous dire où se trouvaient les goulots d'étranglement par rapport aux problèmes qu'il a évoqués en termes de modélisation des observations. Quelles sont les difficultés rencontrées? Est-ce que ce sont des difficultés d'acquisition de davantage de modèles, de moyens d'instrumentation, de moyens d'observation, de confrontation de ces modèles à la réalité (à l'échelle très locale ou à une échelle plus globale), et peut-être aussi une question plus technique et focalisée : es-ce que des méthodes de planification probabilistes sont possibles dans ce domaine? Sont-elles utilisées?

### - M. Mohamed SMANI (CITIT)

Merci monsieur le Directeur des Séances. Ma question s'adresse au Pr. OUAZAR: vous avez montré que la gestion liée aux phénomènes des inondations est très complexe tant au niveau du recueil des informations qu'au niveau des modèles de prédiction. Ma question concerne essentiellement l'impact sur les ouvrages et notamment les barrages. Alors, peut-on prévoir à un niveau satisfaisant l'impact sur les barrages existants et le risque que cela pourrait entraîner pour l'aval du barrage en termes d'infrastructures et de la résilience du barrage compte tenu des changements climatiques attendus?

Le deuxième volet de la question a trait à l'existence de travaux de recherche en cours se rapportant à cette problématique, notamment liée aux barrages, et quel type de partenariat vous avez éventuellement avec les départements concernés? Merci.

### - Membre de l'audience

Il est très intéressant qu'on ait eu successivement deux conférences : l'une sur les inondations et l'autre sur les sécheresses, et pour moi qui ne suis pas un spécialiste je trouve que c'est un problème de gestion de l'eau. Est-ce qu'aux USA, un grand pays où il y a beaucoup de précipitations, on a noté une baisse ou une augmentation du volume des eaux de pluie?

Est-ce qu'on peut imaginer des transferts d'eau des zones où il y a des inondations vers des zones où sévit une sécheresse en utilisant des sources d'énergies renouvelables (solaire ou éolienne)?

**- M. Ali BOUKHARI (CITIT)**

Merci monsieur le président de séance. Ma question est simple : qu'en est-il des pluies artificielles dans le domaine de la recherche?

**- Pr. Daoud AIT-KADI (CSTETM)**

Merci beaucoup. Je voudrais d'abord remercier les deux conférenciers. J'ai beaucoup apprécié la première conférence, et j'ai deux questions pour Pr. OUAZAR. La première question porte sur le risque qui est le produit du hasard x la vulnérabilité tel que l'avez défini. Je voudrais savoir comment vous estimez les probabilités de ces événements indésirables, et évidemment à partir d'un ensemble de données qui est relativement limité?

Ma deuxième question : dans l'analyse d'impacts comment agir sur cet impact négatif pour diminuer d'autres impacts?

La troisième question a trait au coût de l'inaction ou la non décision.

Merci.

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

Merci monsieur le Directeur des Séances. Je remercie les collègues pour leurs questions.

Je commencerai par répondre au Pr. GHALLAB au sujet des difficultés de modélisation. Je dois dire que c'est une chaîne logistique. En fait, il y a le système naturel (plaine, rivière, bassin versant) et des observations d'abord liées à la météo, mais ce n'est pas suffisant de dire ce qui va tomber en pluie. Une fois cette pluie tombée on va la suivre dans son cheminement, là le modèle est conceptuel avec des difficultés qu'on sait résoudre. La difficulté réside dans les paramètres. Il faut faire une étude de sensibilité dépendant des scénarios causés par les changements climatiques. On arrive à cerner ce qui se passe si on a les bonnes données.

Pour la question de M. SMANI sur les barrages, les hydrologues ont tendance à travailler avec l'ancien paradigme avec les périodes de retour pour faire le dimensionnement de l'ouvrage. Actuellement la donne a changé avec les changements climatiques, ce ne sont plus les séries stationnaires et on ne peut plus faire la même chose.

M. YAZAMI m'a interpellé sur la gestion de l'eau. Il y a la gestion de l'eau comme bien et la gestion de l'eau comme risque. Il faut le faire de manière intégrée : satisfaire la demande et chercher à juguler l'effet dévastateur.

Le transfert de bassin à bassin a fait l'objet d'études antérieurement. Le Maroc n'est pas passé à l'action dans ce domaine en raison du coût énergétique, mais l'énergie solaire peut actuellement constituer un créneau à explorer.

Quant à la question sur les pluies artificielles, je ne peux malheureusement pas apporter d'éléments de réponse.

**- Mr. Mohamed KABBAJ (CESDE)**

Concernant le transfert d'eau entre barrages, nous avons un projet important pour transférer 700 millions de m<sup>3</sup> du Barrage Al Wahda vers la Chaouia. Le projet devrait être avancé dans ses aspects d'études et il est question seulement de montage financier pour la réalisation. Par contre il existe déjà des transferts entre petits bassins mitoyens.

**- Pr. Donald WILWHITE (College of Natural Resources, Lincoln – University of Nebraska)**

Thank you very much for the questions. I'll try to answer those, as best as I can, given the time constraint. First of all, regarding the question of bottle necks, there have been and there can be few bottle necks to moving to crowd risk management approach to dealing with drought in the future. Certainly, in the area of data, another issue has been the quality in the timing like seasonal forecast information but reliability of that research is not very good for most parts of the world for most seasons of the year and so forth. Data availability and flow can be a bottle neck, the sharing of data across ministries and with the private sector can be an issue relative to the availability of the data which often prevents its use in putting together early warning systems, decision support tools and so forth.

I would the largest single bottle neck that I have seen with this different approach to drought management has been compartmentalization within ministries and administrations, and this is true in most countries. Drought is an issue that cuts across through so many sectors both in terms of the data that is collected as well as finding solutions, sharing information about the impacts about risks. This is a huge problem and it's one that we have to deal with more effectively if we are going to deal with the complexity of drought in the future.

There is a question about probability based methods. When we started pulling all the data that is going into the drought monitor map, there is a question on how you put all that together and express those different variables in a similar way, and you need to look at that in a probability based fashion.

There is also a question about rainfall changes in the USA. What we have seen in general is that there is an increase in the rainfall across most of the northern part and the eastern part of the country, while we were seen a significant decline in precipitations (rain, snow) both in the western United States particularly the south-west. In California there is a lot of discussions about mega-droughts that last a decade or more and what is that going to mean for drought management and water management in the future. Water movement is obviously very costly.

The US government used to have a pretty strong research program on weather modifications but essentially abandoned that program. There are a lot of technical difficulties and there is not a lot of scientific evidence.

The questions from AIT-KADI are very interesting questions but are not easily answered. Out of our 50 states we have 47 states with drought plans and have gone through the process of risk management. It's been more of a qualitative approach along with quantitative approach.

Regarding the cost of inaction versus the cost of action, one of the things that has been demonstrated with research over the years is that for every 1\$ you invest in mitigation you save about 4\$ in impacts. This 4 to 1 ratio seems to apply whether you are talking

about droughts, about floods or other extreme events. Investing in preparedness planning is very cost-effective and in the long-run you are going to save money. The severe drought in the USA during 2011-2012 resulted in the Federal government spending \$62 billion on drought relief. My question to the Federal government : if you took 10 or even 20% of that and invest it in mitigation, you would have a much greater effect and benefit in the long term. Relief tends to cause inaction because people tend to become dependent upon the government, and what we want to build is self reliance. We want to teach people to become good managers of the resource. Thank you.

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Nous passons à la 3<sup>ème</sup> séance consacrée aux «Séismes et ondes de tempête». La première conférence sera donnée par le Pr. Philippe TAQUET, président de l'Académie des Sciences de France et professeur au Muséum d'Histoire Naturelle (Paris). Il va nous parler sur : «Le temps de la Terre, le temps de l'Homme».

**SÉANCE III :**  
**SÉISMES ET ONDES DE TEMPÊTE**

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Nous passons à la 3<sup>ème</sup> séance consacrée aux «Séismes et ondes de tempête». La première conférence sera donnée par le Pr. Philippe TAQUET, président de l'Académie des Sciences de France et professeur au Muséum d'Histoire Naturelle (Paris). Il va nous parler sur : «Le temps de la Terre, le temps de l'Homme».

## LE TEMPS DE LA TERRE, DE LA VIE ET DE L'HOMME

*Philippe TAQUET*

*Académie des Sciences - France  
Académie Hassan II des Sciences et Techniques - Maroc  
Muséum National d'Histoire Naturelle - France*



### Résumé :

De la durée de l'existence de notre planète Terre, formée il y a 4,6 milliards d'années, à celle de notre existence humaine, dont la longévité dépasse rarement les 100 ans, se dégagent et s'opposent deux notions bien réelles: celle du temps de la Terre et celle du temps de l'Homme ; celle du temps long, du temps profond et celle du temps court, parfois de l'instantané.

Avec la naissance et l'essor à la fin du dix-huitième puis au début du dix-neuvième siècle des sciences de la terre, la notion de temps cyclique a fait place à celle de temps continu. L'étude des Epoques de la Nature chères à Louis-Leclerc de Buffon s'est enrichie des travaux sur la succession des dépôts sédimentaires, ainsi que des découvertes sur les faunes et les flores du passé. Ainsi est née la Géohistoire qui donne la juste mesure de la place de l'homme dans la nature, qui permet de suivre les événements, soit progressifs et graduels, soit soudains et catastrophiques de l'histoire de la vie et de l'histoire de la terre.

L'homme, pour qui le temps est toujours compté se mesure désormais au temps infiniment long de la planète qui l'héberge. L'homme, toujours pressé, perd sans cesse la notion du temps long et oublie les événements extrêmes, rares à l'échelle d'une vie, fréquents à l'échelle du temps terrestre. Il construit ses habitations dans des zones inondables, s'installe dans des couloirs d'avalanches, bâti sur des terrains instables, néglige le recul des côtes et les submersions marines périodiques.



Aujourd'hui, la science et la technologie sont là pour assurer, dans le domaine des risques naturels (hydro-météorologiques, littoraux, géologiques) une meilleure connaissance des aléas et des risques associés, pour informer les populations, pour mettre en place des réseaux de surveillance et d'alerte, pour la prise en compte de ces aléas dans les aménagements, la construction des bâtiments et des ouvrages ou dans la gestion des crises.

Concilier le temps de la Terre et celui de l'Homme pour faire face aux risques naturels, tel est l'enjeu d'un développement durable de nos sociétés.

De la durée de l'existence de notre planète la Terre, formée il y a environ 4 milliards 600 millions d'années, à celle de l'existence de chacun d'entre nous, dont la longévité dépasse ou dépassera rarement les 100 ans, se dégagent et s'opposent deux notions bien réelles: celle du temps de la Terre et celle du temps de l'Homme; celle du temps long, du temps profond d'une part et celle du temps court, parfois de l'instantané d'autre part.

Le temps long, le temps profond est si difficile à appréhender, si étranger à notre expérience de tous les jours, qu'il demeure un obstacle à la compréhension du monde qui nous entoure. Il aura fallu aux scientifiques plus d'un siècle et demi - du milieu du XVII<sup>ème</sup> siècle au début du XIX - pour admettre l'idée de la profondeur du temps.

Notre existence est scellée au temps qui passe; elle est façonnée à la fois par des environnements qui nous semblent immuables ou au contraire par le retour cyclique des jours et des saisons, elle est marquée par des événements isolés comme des catastrophes naturelles ou bien elle est rythmée par l'écoulement de la vie : naissance, croissance et mort. Temps cyclique ou temps linéaire, deux perceptions du temps qui coexistent en l'homme. Les peuples anciens croyaient que le temps était cyclique par nature; dans la pensée occidentale, le temps linéaire exerce une profonde influence qui a permis de concevoir l'idée de progrès, d'évolution cosmique ou d'évolution biologique.

Les premiers historiens de la terre comme l'Anglais Thomas Burnet ou le Danois Nicolas Stenon ont conçu, entre 1669 et 1689, l'histoire terrestre comme une fascinante et subtile combinaison de temps linéaire (ou sagittal) et de temps cyclique. Tous deux ont conjugué des preuves, du moins le supposaient-ils, tirées de l'observation de la nature et de l'enseignement des textes sacrés.

L'histoire de notre planète et sa structure, étaient complètement inconnues jusqu'au XVIII<sup>ème</sup> siècle. En 1664-1665, Athanase Kircher, prêtre jésuite né en Allemagne, décrit le *Mundus subterraneus* (Le monde souterrain) dont les eaux souterraines communiquent avec les eaux salées des océans ou avec les eaux de cavités situées sous les montagnes et donnant naissance aux rivières (Godwin, 2009).

Mais au 18<sup>ème</sup> siècle, de brillants membres de l'Académie des Sciences à Paris, tel Antoine Laurent de Lavoisier ou Georges Louis Leclerc, comte de Buffon, vont présenter devant leurs confrères les résultats de leurs recherches novatrices; le premier montrant clairement sur des coupes de terrain les preuves des avancées et des reculs des mers grâce à l'examen de l'érosion des côtes en Normandie et grâce à l'analyse des dépôts

sédimentaires au Nord de Paris ou sur les coteaux de Meudon, le second se livrant dans ses forges de Montbard à des expériences sur la durée du refroidissement de boulets de fer de différents diamètres portés au rouge, pour tenter d'estimer l'âge de notre planète depuis sa formation. Buffon avançait dans ses écrits le chiffre de 75000 ans, tout en étant convaincu, comme le montre son manuscrit, que l'âge de la Terre devait s'approcher davantage des 3 millions d'années. Buffon craignait en effet que son texte ne soit censuré par les professeurs de la Sorbonne et il nota prudemment dans son manuscrit :

Quoiqu'il soit très vrai que plus nous étendrons le temps et plus nous nous rapprocherons de la vérité et de la réalité de l'emploi qu'en a fait la nature, néanmoins il faut le raccourcir autant qu'il est possible pour se conformer à la puissance limitée de notre intelligence.

Buffon va tenter de retracer les Epoques de la Nature (Roger 1988) en exposant avec les qualités d'un grand styliste sa méthode de travail:

Comme dans l'histoire civile, on consulte les livres, on recherche les médailles, on déchiffre les inscriptions antiques, pour déterminer les époques des révolutions humaines, et constater les dates des événements moraux; de même, dans l'Histoire naturelle, il faut fouiller les archives du monde, tirer des entrailles de la terre les vieux monuments, recueillir leurs débris, et rassembler en un corps de preuves tous les indices des changements physiques qui peuvent nous faire remonter aux différents âges de la Nature. C'est le seul moyen de fixer quelques points dans l'immensité de l'espace, et de placer un certain nombre de pierres numéraires sur la route éternelle du temps. Le passé est comme la distance; notre vue y décroît, et s'y perdrait de même si l'histoire et la chronologie n'eussent placé des fanaux, des flambeaux aux points les plus obscurs.

L'écossais James Hutton, en 1795, dans sa *Theory of the Earth* (Gould, 1990) comprend, en examinant une coupe des terrains situés à Siccar Point, au Nord de la Grande Bretagne, où se trouvent des couches verticales sectionnées et recouvertes de couches horizontales, qu'il y a une discordance et que les schistes, brisés et découverts à la suite d'un soulèvement des terrains sous l'action de roches ignées, ont été exposés aux actions atmosphériques avant que ne se déposent en couches horizontales des formations calcaires. Il y a donc en ce lieu la preuve d'une succession d'événements dans l'histoire de la Terre. Mais Hutton reste attaché à l'idée de cycle et il est intimement convaincu qu'à une période de soulèvement succède une période de repos, et que le passé de la Terre tel qu'on peut l'observer est celui d'un éternel recommencement.

Les dépôts sédimentaires du Bassin parisien et du centre de Paris étaient particulièrement favorables à des observations in situ, avec les carrières souterraines d'où l'on extrayait le calcaire pour bâtir des immeubles et les monuments de Paris, ou le gypse exploité en galeries sous la butte Montmartre et destiné à la fabrication du plâtre.

A l'inverse de Hutton, deux jeunes et brillants naturalistes français, Alexandre Brongniart et Georges Cuvier vont, en 1808, dans un *Essai sur la Géographie minéralogique du Bassin de Paris*, (Cuvier et Brongniart, 1808 et Cuvier, 1812) dresser soigneusement la coupe des terrains qui se sont déposés successivement au dessus des couches de la craie

de Meudon; ils vont reconstituer la succession des faunes au cours du temps et montrer qu'aux fossiles marins, oursins et mosasaures, trouvés dans la craie, succèdent des restes de vertébrés terrestres proches des tapirs dans les couches de gypse de Montmartre; ces couches étant elles-mêmes recouvertes de niveaux pétris de coquilles marines, d'huitres, au dessus desquels les niveaux les plus récents renferment des faunes d'eau douce, puis des dépôts récents avec des restes de mammouths. Selon Cuvier, les faunes se succèdent et chacune est remplacée par une autre à la suite de brusques révolutions du globe. Avec Brongniart et Cuvier est née la notion de Géohistoire, c'est-à-dire la possibilité de reconstituer les différents âges de la Terre. Cuvier qui s'inspire avec talent du style de son prédécesseur Buffon a écrit:

J'essaie de parcourir une route où l'on n'a encore hasardé que quelques pas, et de faire connaître un genre de monuments presque toujours négligé, quoique indispensable pour l'histoire du globe.

Antiquaire d'une espèce nouvelle, il m'a fallu apprendre à déchiffrer et à restaurer ces monuments, à reconnaître et à rapprocher dans leur ordre primitif les fragments épars et mutilés dont ils se composent .... à les comparer enfin à ceux qui vivent aujourd'hui à la surface du globe....art presque inconnu, et qui supposait une science à peine effleurée auparavant.

«Les faits que je viens d'exposer n'ont rien de commun avec les systèmes ordinaires de géologie, dans lesquels on construit le monde à priori. Ils sont une véritable histoire prouvée par des monuments que chacun peut consulter et tout le monde la lira nécessairement comme moi, mais ils ne sont encore qu'un bien petit fragment de la grande histoire du monde».

Du côté des britanniques, Charles Lyell allait donner à la géologie ses lettres de noblesse dans ses *Principles of Geology* (Lyell. 1830, réédition 1990), où il montrait que l'étude des causes actuelles était la clef de la compréhension du passé. On cite avec juste raison la figure qu'il donne dans son ouvrage des colonnes du temple de Serapis près de Naples, dont les futs portent à plusieurs mètres au dessus du sol des incrustations de coquilles marines qui témoignent ainsi de la présence de la mer méditerranée à une époque postérieure à l'époque romaine. Avec l'étude du présent, Lyell montrait qu'il devenait possible de percer les limites du temps, de pénétrer dans l'épaisseur du temps de la terre. (Rudwick, 2005 ).

Les études détaillées de l'évolution des faunes marines et continentales au cours des temps géologiques montrèrent par ailleurs que l'histoire de la vie dans le passé ne fut pas un long fleuve tranquille, mais qu'elle fut marquée par des périodes d'expansion et de diversification remarquables, et qu'elles furent aussi perturbées par des crises importantes lors d'extinctions massives d'espèces animales et végétales. Cinq grandes extinctions ont ainsi jalonné l'évolution biologique (vers 440 millions d'années à la limite Ordovicien-Silurien, vers 370 millions d'années au Dévonien supérieur, à la fin du Permien il y a 250 millions d'années, il y a 210 millions d'années à la limite Trias-Jurassique et enfin il

y a 65 millions d'années à la fin du Crétacé). Certains spécialistes se demandent d'ailleurs si nous ne sommes pas entrés dans la 6ème extinction en raison des changements climatiques et de l'action de l'homme sur notre Planète.

En janvier 1912, le météorologue allemand Alfred Wegener énonce devant ses collègues de l'Association des géologues de Francfort sur le Main, son hypothèse de la translation horizontale des continents au cours des temps géologiques. Cette hypothèse sera détaillée en 1915 dans un ouvrage intitulé, La Genèse des continents et de océans (Wegener, 1937). Dans les années 50, la science nouvelle du paléomagnétisme, puis les études des dorsales océaniques, grâce à des forages profonds et des mesures sismiques effectués lors de campagnes océanographiques, ainsi que les progrès des études géophysiques, viendront confirmer l'intuition de Wegener de l'existence d'une dérive des continents; une révolution dans les sciences de la terre se produisit ainsi avec la tectonique des plaques. On sait aujourd'hui que l'Amérique du Nord s'éloigne de l'Europe pendant la durée de votre vie d'une distance égale à notre taille.

Les roches elles aussi gardent la mémoire du temps, elles ont enregistré les événements; les minéraux gardent en eux le moment de leur cristallisation, de leur formation et les progrès de la physique ont permis, grâce à de nouvelles méthodes de passer de l'âge relatif des objets du passé à leurs âges absolus : la géochronologie nucléaire, les isotopes, permettent aujourd'hui avec les méthodes au Rubidium-Strontium, au Potassium-Argon, à l'Uranium-Plomb, à l'Uranium/Thorium/Hélium, au Carbone 14, puis au Carbone 13, de connaître avec plus de précision les âges de la Terre. Certains résultats ne sont connus qu'au million d'années près, mais ils s'inscrivent dans une durée de 4,6 milliards d'années.

Quoiqu'il en soit, nous avons bien du mal, nous lointains descendants d'un ancêtre hominidé, Toumaï, qui peuplait l'Afrique tchadienne il y a près de 7 millions d'années, à nous représenter le passé lointain de la terre et à imaginer nos continents peuplés de ces merveilleuses bêtes, telles Atlasaurus, Ouranosaurus, Spinosaurus ou Sarcosuchus, de ces représentants des dinosaures dont le groupe domina la terre pendant plus de 155 millions d'années.

L'homme, fort heureusement, n'est pas confronté à ces géants de la préhistoire, mais il doit faire face à bien d'autres réalités. Les mouvements de la croûte terrestres sont continus et la plupart du temps échappent à nos moyens de perception. Les mouvements des plaques tectoniques, leurs confrontations sont la cause de secousses sismiques et d'éruptions volcaniques. Le tremblement de terre de Lisbonne le 1er novembre 1755 qui fit 60.000 morts frappa de stupeur et d'émotion l'Europe toute entière, tout comme celui d'Agadir au Maroc le 29 février 1960: durant 15 secondes, ce tremblement de terre de 5,9 sur l'échelle de Richter causa la mort de 15.000 personnes; tout récemment celui du Népal, de 7,8 sur l'échelle de Richter causa la mort de 8.000 personnes et fut la cause d'innombrables destructions.

L'homme doit faire face à des éruptions dont certaines sont dévastatrices, telle celle de Catane en Sicile qui, en 1669, causa l'incendie de la ville, ou celle de la Montagne Pelée à la Martinique le 8 mai 1902 qui entraîna la mort de 26000 personnes et n'épargna qu'une personne : le seul prisonnier qui était enfermé dans la prison de la ville.

Nous sommes malheureusement bien incapables dans l'état actuel de la science de prévoir la date des séismes, même si les sismologues et les géophysiciens connaissent parfaitement et précisément les zones les plus susceptibles d'être soumises à des tremblements de terre majeurs : en Chine au Japon, aux Philippines, au Tibet ou au Népal, aux Caraïbes, en Californie ou au Chili. Ils ont dressé des cartes de sismicité, telle celle de la France qui montre que ce pays dans une région du globe relativement stable. Mais d'autres régions sont constamment soumises à ce type d'aléas, tel le Japon.

Le Japon vit dans la crainte des tremblements de terre. Les mythes japonais reflètent cette menace, tel celui du Namazu, poisson-chat géant qui vit dans les profondeurs de la Terre et dont les mouvements périodiques sont considérés comme étant responsables des séismes et des tsunamis dans ce pays; les tsunamis sont bien connus des japonais, et ce depuis des siècles comme le montre la représentation par l'artiste Hokusai de la grande vague au large de Kanazawa (1830); en 1896, un tsunami causa la mort de 20.000 personnes dans le Nord-Est du Japon. Très conscients du danger, les Japonais ont protégé certaines portions de leur côte Est: des barrages artificiels, pourvus de portes dont la fermeture se fait automatiquement en cas d'alerte, ont été installés dans de petits villages côtiers.

Malgré cette connaissance des séismes et des tsunamis, les Japonais eurent à subir la catastrophe de la centrale nucléaire de Fukushima au Japon, catastrophe qui faisait suite au tremblement de terre du 11 mars 2011 et au tsunami induit par le séisme; cet événement a profondément traumatisé les Japonais. L'Académie des Sciences à Paris a décidé en 2011 de travailler, pour témoigner sa solidarité avec le Japon, sur les causes et sur les conséquences de cette catastrophe tant du point de vue géophysique, que du point de vue médical et nucléaire. Un rapport très détaillé a été transmis à nos confrères du Science Council of Japan et ce rapport fut grandement apprécié (Rapport Fukushima, 2012).

L'une des conclusions majeures de ce rapport, montre bien que l'homme n'avait pas correctement pris en compte le temps de la Terre. La mesure de la magnitude des séismes fut développée en 1935 par Charles Francis Richter pour classer les séismes enregistrés en Californie. On considérait depuis l'installation des premiers sismographes qu'un séisme dévastateur pouvait se produire avec une magnitude de 9 tous les 1 à 5 siècles environ. Le séisme de Tohoku qui s'est produit au large de Fukushima avait une magnitude de 9,09 à 9,1; il fut suivi d'un mégatsunami avec des vagues de 15 à 20 mètres de hauteur. Autant d'événements dont l'intensité n'avait pas été imaginée. Ils succédaient à d'autres mégaséismes tel celui de Sumatra (2004, magnitude de 9,1 à 9,2) celui d'Alaska en 1964 (9,2) et celui du Chili en 1960 (9,5). Les japonais avaient fait des calculs d'après la magnitude de leurs séismes passés et d'après l'ampleur des tsunamis historiques en considérant les événements du siècle passé. Mais le temps de la terre ne se mesure pas à l'échelle -humaine- du siècle. De tels mégaséismes et mégatsunamis peuvent donc

se produire à l'échelle de 500 ou de 1000 ans ou plus. Et l'on attend en Turquie, en Californie, au Chili d'autres mégaséismes dévastateurs. Pourra-t'on un jour prévoir les tremblements de Terre et les éruptions volcaniques? Les chercheurs en Sciences de la Terre travaillent à améliorer l'interprétation de ces phénomènes et à les prévoir. On sait aujourd'hui ausculter les frémissements de notre planète comme le montre notre collègue Michel Campillo de l'Institut des Sciences de la Terre de Grenoble.

Dans le domaine des inondations catastrophiques, il n'y a plus aujourd'hui de parisien vivant qui puisse témoigner de l'ampleur de la crue de 1908 à Paris. Les clichés pris dans la gare d'Orsay ou dans les rues de la capitale donnent une idée de l'importance de cette inondation. Pour prévenir les effets d'une future crue, deux énormes bassins de rétention ont été créés en amont de Paris, le bassin Marne et le bassin Seine qui doivent théoriquement protéger Paris des crues très importantes; des mesures de prévention ont été prises et l'on a jugé prudent de déménager le contenu des réserves du département des peintures du Louvre qui étaient en sous-sol dans des bâtiments le long de la Seine pour les transporter en lieu sûr.

C'est en occultant le passé et en oubliant les leçons des anciens, en cédant à la pression immobilière, que des élus de communes situées sur des côtes basses de l'Ouest de la France ont délivré des permis de construire en zones inondables, de sorte qu'en février 2010 la tempête Xynthia en une nuit submergea bon nombre de résidences secondaires et causa la mort de 29 personnes par noyade.

La prévention des risques naturels doit donc prendre en compte le temps de la Terre pour que ce temps soit compatible avec les activités humaines : inventorier les zones inondables, les zones d'avalanches, d'éboulements, de glissements de terrain et d'affaissements, les zones sismiques pour mesurer autant que possible les risques encourus par les populations.

La prévention doit être associée à une bonne information et à une meilleure connaissance du temps de la Terre. L'enseignement, la formation, la sensibilisation sont des facteurs essentiels pour éviter la vie en catastrophe (Courtillot, 1995). Toucher du doigt ou regarder de près des empreintes de dinosaures de 160 millions d'années, expliquer la lente formation des montagnes, les processus d'érosion, autant de thèmes qui permettent de saisir la profondeur du temps. A ce titre, les 115 géoparcs créés un peu partout dans le monde sont autant de vitrines à ciel ouvert offrant des explications à de nombreux visiteurs sur le temps de la Terre. Les musées géologiques, les promenades géologiques, la protection et la conservation des stratotypes ou de sites remarquables font partie des moyens mis en œuvre. Le Maroc peut être fier d'avoir reçu le label de l'UNESCO pour le premier géoparc créé en Afrique, géoparc situé dans la province d'Azilal dans le Haut Atlas et qui a été inauguré en novembre 2014.





Photos montrant le gisement à traces et ossements de dinosaures du Géoparc de Mgoun



Quel temps reste-t-il à la vie? Quelle sera la durée de vie de notre espèce? Serons-nous supprimés de l'histoire future de la Terre à la suite de la chute d'une météorite géante, à la suite d'un évènement externe contingent ou à la suite de mauvaises adaptations de nos gènes face aux changements environnementaux?

Les continents poursuivront leurs randonnées planétaires, la croûte terrestre continuera à frémir et à trembler, les transgressions et les régressions des mers se succéderont, les montagnes se soulèveront, les granites seront réduits en poussière, les climats changeront, les espèces disparaîtront. Notre espèce, Homo sapiens, si elle sait faire preuve de sagesse, peut espérer exister pendant plusieurs millions d'années, le soleil nous garantissant pour des milliards d'années encore ses rayons bienfaisants, et sauf accidents de parcours, chutes de météorites, températures excessives (chaudes ou froides), conflits généralisés, épidémies incontrôlables, etc... nous pouvons regarder l'avenir avec un certain optimisme.

Pour conclure ces quelques minutes d'une approche succincte du Temps de l'Homme mesuré au Temps de la vie, au temps de la Terre, je ferai miennes ces deux sentences :

Celle de Denis Diderot qui notait fort justement: Tout s'anéantit, tout périt, tout passe. Il n'y a que le monde qui reste, il n'y a que le temps qui dure.

Et cette sage sentence d'un penseur arabe : Vis, si tu peux, l'éternel dans l'heure qui passe.

### Références bibliographiques :

Courtillot Vincent. 1995. La vie en catastrophes. Fayard.

Cuvier Georges et Brongniart Alexandre. 1808. Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris. Annales du Muséum d'Histoire naturelle. 11, 293-326.

Cuvier Georges. 1812. Recherches sur les ossements fossiles de Quadrupèdes où l'on rétablit les caractères de plusieurs espèces d'animaux que les révolutions du globe paraissent avoir détruites. T. I., Discours préliminaire.

Godwin Joscelyn. 2009. Athanasius Kircher. Le Théâtre du Monde. Imprimerie nationale.

Gould Stephen Jay 1990. Aux racines du temps. Grasset.

Lyell C. 1830. Réédition 1990. Principles of Geology. University of Chicago Press.

Roger Jacques. 1988. Buffon. Les Epoques de la nature. Edition critique. Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle. Sciences de la Terre. T. 10.

Rudwick M. 2005. Bursting the limit of time. The reconstruction of Geohistory in the Age of Revolution. University of Chicago Press.

Wegener Alfred. 1937 Le genèse des continents et des océans. Théorie des translations continentales. Librairie Nizet et Bastard. Paris.

Rapport 2012: The major accident at Fukushima. Seismic, nuclear and medical considerations. Working group Solidarity for Japan chaired by Alain Carpentier, with Etienne-emile Baulieu, Edouard Brézin and Jacques Friedel. EDP sciences. Paris.

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci Pr. TAQUET pour cette conférence qui a été très riche en informations. Je passe la parole maintenant à M. Michel CAMPILLO, professeur à l'Université Joseph Fourier à Grenoble (France) pour parler de: «L'apport de l'imagerie basée sur le bruit sismique au suivi temporel des structures géologiques (volcans, failles, injections...).

## APPORT DE L'IMAGERIE BASÉE SUR LE BRUIT SISMIQUE AU SUIVI TEMPOREL DES STRUCTURES GÉOLOGIQUES (VOLCANS, FAILLES, INJECTIONS)

*Michel CAMPILLO*

*Université Joseph Fourier, Grenoble  
France*



### Résumé :

Nous présenterons les principes des méthodes de corrélation qui permettent d'extraire des signaux continus enregistrés par les stations sismologiques des sismogrammes virtuels identiques à ceux qui seraient produits par une source appliquée à la position d'une station. Cette approche conduit à une exploitation optimale des enregistrements et a permis de réaliser des tomographies locales de haute résolution avec des techniques d'ondes de surface dans diverses régions du monde. Il a été montré récemment que toutes les ondes sismiques peuvent être reconstruites, y compris des phases d'ondes de volume qui ont traversé les structures les plus profondes de la planète.

La permanence du bruit ambiant rend aussi possible d'utiliser cette approche pour mesurer les variations temporelles des propriétés élastiques des roches grâce à des mesures de variations des vitesses sismiques. Nous présenterons des applications de cette approche au suivi d'édifices volcaniques d'une part, et montrerons les variations de vitesse associées à un fort séisme d'autre part. Ces exemples montrent le potentiel des méthodes basées sur le bruit ambiant pour détecter et imager les déformations en profondeur.

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci M. CAMPILLO pour le respect très strict du temps imparti à l'exposé et pour cette présentation qui a touché à tous les aspects relatifs aux mesures et aux traitements des signaux sismiques pour la prévision des séismes. Nous aurons maintenant une demi-heure pour la discussion des deux conférences de M. TAQUET et de M. CAMPILLO.

## DISCUSSION

**- Pr. Mostapha BOUSMINA** (Chancelier)

J'étais vraiment impressionné de voir la carte du Japon et le nombre de stations de mesure de risques sismiques. Ceci ne m'étonne pas, le Japon est le laboratoire à l'échelle mondiale car c'est une île qui subit tout ce que nous pouvons imaginer comme risques naturels. Sur les échelles de temps que notre collègue Philippe TAQUET a parlé, le Japon est amené un jour à disparaître totalement ou partiellement, et de ce fait les japonais ont acquis une expérience unique. J'aimerais savoir qu'en est-il de la collaboration avec le Japon, d'abord pour les équipes françaises mais aussi pour nos équipes marocaines? Merci.

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

Les deux exposés étaient vraiment fascinants. Merci aux deux orateurs. J'ai beaucoup apprécié ce que vous avez présenté. Je crois comprendre que selon la profondeur et le type d'ondes il ya des réductions de vitesses de propagation. Je me demande sur quels types d'ondes ces réductions de vitesse sont observées?

**- Pr. Michel CAMPILLO** (Université Joseph Fourier à Grenoble, France)

La première question était relative aux efforts japonais. Effectivement, le Japon est aujourd'hui un laboratoire puisqu'il dispose des meilleurs réseaux à la fois en sismologie et en géodésie, il dispose ainsi d'une source d'informations assez riche.

Aujourd'hui, le Japon est en train d'installer un réseau en domaine océanique de plusieurs centaines de stations avec une technique de dérouler de lignes en fond de mer. C'est une opération assez nouvelle, mais extrêmement fascinante.

En matière de collaboration, le Japon mène une politique d'ouverture des données assez claire car il est aisé de récupérer des données du réseau japonais. Notre expérience à Grenoble est très positive quant à la collaboration avec les équipes japonaises dans le domaine de la sismologie.

**- Pr. Ahmed EL HASSANI** (CSTETM)

L'exposé de mes collègues Taj-Eddine CHERKAOUI et Ramon CARBONELL, prévu au programme, donnera d'amples informations sur cette collaboration des équipes

marocaines avec les équipes d'autres pays. Au Maroc, nous avons une large coopération avec l'Europe et nous avons installé, en collaboration avec l'Espagne, la France, les USA et l'Italie des centaines de stations (à peu près 1.000 stations) à travers le Maroc où nous avons pu atteindre des profondeurs voisines de 100 Km pour réaliser le premier profil sismique du Maroc. Nous avons ainsi pu avoir une bonne connaissance de la géologie du Maroc.

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

Je vais juste souligner l'importance des collaborations internationales. Avec les japonais, les choses ont commencé il y a longtemps avec Xavier LE PICHON qui fait des plongées dans le sous marin KAIKOU au large de la côte Est du Japon pour étudier les plaques sur place. C'est la raison pour laquelle les liens avec l'Académie des Sciences étaient très forts et ont conduit à la nécessité de travailler ensemble à l'échelle de la planète. Les japonais sont très demandeurs de coopération.

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

Merci monsieur le Directeur des Séances. Tout d'abord, je remercie M. TAQUET et M. CAMPILLO pour ces deux exposés très importants. Personnellement, le premier m'a fait rêver sur notre Terre, son histoire et son développement. Aussi, la deuxième partie sur l'expérimentation en allant jusqu'à 100 km en profondeur de la Terre sinon plus. Si l'expérimentation sur terre est facile, l'expérimentation dans des puits très profonds rend difficile le fait d'appréhender et de voir ce qui se passe réellement.

Ma question à M. CAMPILLO est simple, moi qui n'est pas du domaine mais je suis curieux: est-ce que cette méthode là a été utilisée pour voir des cisaillements et des cassures dans les roches et la stratigraphie? Est-ce que ça permet aussi de voir des dépôts de gisements (pétrole, gaz, minerais)? Merci.

**- Pr. Michel CAMPILLO (Université Joseph Fourier à Grenoble, France)**

Alors la partie imagerie a effectivement servi pour faire de l'imagerie de la croûte et des failles. Pour certains chercheurs ça pourrait servir de complément à l'imagerie structurale.

La seule application en domaine minier consiste à utiliser le bruit de la mine, les tunnels jouant le rôle de diffracteurs.

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI (Directeur des Séances)**

Merci beaucoup M. TAQUET. Merci beaucoup M. CAMPILLO. Merci pour les intervenants qui ont posé des questions et contribué au débat.



**SÉANCE IV :**  
**SÉISMES ET ONDES DE TEMPÊTE (SUITE)**



**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Nous allons poursuivre nos travaux de cet après-midi sur les séismes et ondes de tempête avec trois présentations qui seront faites par :

- M. Tajeddine CHERKAOUI, ancien professeur de l'Université Mohammed V - Rabat et le Pr. Ahmed EL HASSANI, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et professeur de l'Université Mohammed V - Rabat.
- M. Ramon CARBONELL, de l'Institut des Sciences de la Terre - Almeria en Espagne.
- M. Fida MEDINA, ancien professeur de l'Université Mohammed V - Rabat et Président de l'Association Marocaine des Géosciences.

Nous commencerons par la présentation des M. CHERKAOUI et M. EL HASSANI sur «Evaluation et l'atténuation de l'aléa sismique au Maroc».

## EVALUATION ET ATTÉNUATION DE L'ALÉA SISMIQUE AU MAROC

***Taj-Eddine CHERKAoui <sup>a</sup>  
& Ahmed EL HASSANI <sup>b</sup>***

***a- Université Mohammed V de Rabat  
mt.cherkaoui@gmail.com***

***b- Université Mohammed V de Rabat et Académie  
Hassan II des Sciences et Techniques  
a.elhassani@academiesciences.ma***



***Taj-Eddine CHERKAoui***



***Ahmed EL HASSANI***

### **Résumé :**

Par sa situation géographique, le Maroc se trouve sur la bordure nord-ouest de la plaque africaine, qui est en mouvement continu de rapprochement et de collision avec la plaque eurasiennne. Ce mouvement fait du Maroc un pays à sismicité modérée, pouvant donner lieu, de temps en temps, à des tremblements de terre destructeurs atteignant une magnitude proche de 6,5 (Al Hoceima 2004). Ce risque est resté longtemps sous-estimé et dans une large mesure ignoré, et ce n'est qu'après le séisme d'Agadir (1960) que l'État adopte une nouvelle politique de recherche dans le domaine de la sismologie. Mal définie il y a encore une trentaine d'années, la sismicité du Maroc a commencé à être connue avec précision grâce au développement et à l'extension du réseau sismologique et aux nombreux travaux de recherche et de missions de terrain réalisés. Une délimitation, la plus précise possible, des zones potentiellement sismogènes et une analyse sismotectonique permettant la détermination des failles actives contribuent d'aboutir à un zonage sismique qui constitue un pas indispensable dans l'évaluation de l'aléa sismique.

Dans la prédiction (prévision à court terme) des séismes, qui a pour but de limiter les pertes en vies humaines et en dégâts matériels, quatre paramètres principaux doivent être pris en compte : le lieu, la date, la magnitude et les effets que le séisme peut entraîner à la surface du sol. Comme il est actuellement impossible de prédire de manière précise l'avènement d'un séisme, la prévision à long terme et la prévention restent sans conteste les seuls moyens possibles pour réduire au mieux les dommages provoqués par les tremblements de terre. C'est pour cela que toute décision en matière d'urbanisme, d'aménagement de

l'espace ou de génie parasismique doit s'appuyer sur la connaissance des caractéristiques des séismes connus et probables. Aussi, l'application des règles parasismiques aux constructions neuves est en principe obligatoire au Maroc depuis 2002 pour la quasi-totalité des bâtiments situés dans les zones différentes de zéro<sup>1</sup>. En revanche, aucune obligation de renforcement préventif n'existe en ce qui concerne le patrimoine bâti. Or, la vulnérabilité aux séismes de ce dernier est parfois très élevée et, dans les zones les plus exposées, de nombreuses pertes en vies humaines pourraient être occasionnées par des tremblements de terre de forte intensité, par conséquent, dans certaines villes surpeuplées, les quartiers ou bâtiments anciens présentent un risque sismique considérable. La prévention sismique doit naturellement être complétée par des programmes de sensibilisation des citoyens, des élus et des responsables contre les méfaits des séismes.

## Introduction

Le Maroc est situé à l'extrême nord-ouest du continent africain, là où la plaque eurasienne entre en collision avec la plaque africaine et dont le taux de rapprochement est de 0,4 cm/an environ dans le golfe de Cadix et au niveau du détroit de Gibraltar (DeMets *et al.* 1990, McClusky *et al.* 2003, Fernandez 2004, Serpelloni *et al.* 2007). Cette position particulière du Maroc se traduit actuellement par une sismicité relativement importante qui reflète la poursuite de la convergence entre ces deux plaques lithosphériques. La limite entre celles-ci est soulignée par un alignement des épicentres entre les Açores et le détroit de Gibraltar.

## La connaissance de la sismicité du Maroc

Depuis une trentaine d'années et dans le cadre d'un projet de construction d'une centrale électronucléaire<sup>2</sup>, une révision de la sismicité historique et instrumentale du Maroc a été entreprise. De nombreux travaux de recherche, études et thèses ont été lancés qui ont abouti à des résultats intéressants et à l'établissement de fichiers de sismicité (Cherkaoui 1988, 1991, Elmrabet 1991).

### a) Sismicité historique

Avant le XXe siècle, notamment, la plupart des séismes connus se sont produits dans les principales villes du Maroc : Fès, Marrakech, Salé, Sebta, Tanger, Meknès, etc., ce qui ne peut correspondre qu'en partie à la réalité.

Jusqu'à une vingtaine d'années, la sismicité historique du Maroc n'était connue qu'à travers quelques catalogues comme ceux de Perrey (1847, 1859), Galbis (1932, 1940), Hée (1932) et Roux (1934). Les travaux de recherche de sources originales et de rassemblement de documents (Vogt 1985, Levret 1991, 1995, Elmrabet 1991), et le dernier catalogue espagnol (Martinez Solares et Mezcu Rodriguez 2002) ont permis

1- D'après le règlement de construction parasismique (RPS-2000, version 2011), en terme de zonage sismique, le territoire national est divisé en cinq zone (de 0 à 4) : du risque sismique négligeable (zone 0) au plus fort risque sismique (zone 4).

2- Projet de la centrale électronucléaire a été initié par Feu Hassan II en 1984, puis abandonné après l'accident nucléaire de la centrale de Tchernobyl en 1986.

d'établir des listes des séismes historiques ressentis au Maroc avant 1900. D'après cette base de données, on peut considérer, à ce jour, que la sismicité sur une période de mille ans environ, vue sous l'angle de la macrosismicité, a atteint un niveau de connaissance suffisant afin de contribuer, sans trop d'incertitude, à l'évaluation de l'aléa sismique.

La démarche logique qui a été suivie pour un retour aux sources originales était en premier lieu de consulter les catalogues classiques les plus accessibles (Perrey 1847, Galbis 1932, 1940, Roux 1934, Kárník 1969)<sup>3</sup>, puis de proche en proche de remonter à la source de l'information: presse nationale et européenne, travaux d'érudits, monographies, documents administratifs, chroniques historiques, jusqu'aux manuscrits contemporains de première main.

La révision des données de la sismicité historique nous réserve souvent de multiples surprises : élimination de faux séismes, ayant parfois des intensités susceptibles d'influencer sur les valeurs de l'aléa sismique, découverte de séismes perdus de vue, relocalisation d'épicentres, réappréciation d'intensités épicentrales, révision des aires macrosismiques, etc., avec de nombreuses conséquences proprement sismologiques, sismotectoniques et pratiques. Les apports qui contribuent à des révisions régulières concernent le dépistage de «faux séismes» quelquefois confondus avec des événements naturels ou artificiels. Des glissements de terrain ou des éboulements sont consignés en tant que séisme, comme à Ghomara en 1909 (cet événement sera discuté en détail un peu plus loin). Il est fréquent que des éboulements soient liés à l'effet des séismes lointains lorsque le terrain est propice (surplomb, crevasse), mais ceux-ci sont volontiers présentés comme des séismes locaux.

Pour la sismicité instrumentale, révision macrosismique et révision instrumentale vont de pair. Selon le cas, c'est l'une ou l'autre qui apporte les arguments déterminants (Ambraseys *et al.* 1991).

### **Réinterpréter les événements historiques à la lumière des nouvelles connaissances : cas du faux séisme de Ghomara (21-22 janvier 1909)**

Cet événement pose une foule de problèmes. Il a été signalé pour la première fois par Galbis en 1932 dans son premier catalogue : «*Terremoto en Romara (zona de Tetuán, Marruecos), que produjo desprendimiento de tierra, quedando el poblado completamente destruído. Hubo 100 victimas entre muertos y heridos. Grado X. E. (R.F.)*»<sup>4</sup>.

Repris ensuite par Roux (1934) avec quelques informations supplémentaires : «*Un tremblement de terre de degré 10 -échelle Rossi-Forel-, a détruit les douars de Romara, à 5 km de Tétouan, pendant la nuit du 21 au 22 (janvier), et fait cent victimes, morts ou blessés. Il a été précédé d'un bruit formidable, qui sema la panique dans la population indigène, et accompagné d'un autre bruit souterrain. Tandis que les indigènes terrorisés s'enfuyaient, la montagne qui abritait leur douar s'effondra, ensevelissant une grande partie d'entre eux.*»

3- Ces catalogues classiques ont généralement la fâcheuse habitude de copier volontiers les uns les autres, sans esprit critique, sans retour aux sources, sans recherches nouvelles (Vogt, 1991).

4- L'échelle d'intensité Rossi-Forel date de 1873, première échelle macrosismique moderne utilisée en Europe pour classer les séismes composée de 10 degrés d'intensité.

Kárník (1969), en se référant certainement aux deux textes cités ci-dessus, admet un épïcêtre par 35,6°N-5,4°W, dans les parages de Tétouan pour une intensité IX (MM)<sup>5</sup> et une magnitude macrosismique 6,2. Le catalogue espagnol propose un épïcêtre par 35,5°N-5,6°W et une intensité IX (MSK-64) (Mezcua et Martinez Solares 1983).

Quoi qu'il en soit, cet événement a attiré notre attention depuis une trentaine d'années (Cherkaoui *et al.* 1987, Herquel *et al.* 1987) quand nous avons commencé la révision de la sismicité du Maroc depuis 1901 pour l'établissement d'un nouveau fichier de sismicité (Cherkaoui 1988) et nous l'avons écarté pour l'évaluation de l'aléa sismique au Maroc (Cherkaoui 1991). Des doutes ont été émis également par Levret (1988) et Vogt (1996) sur la nature de cet événement.

Faisons d'abord le point sur les informations dont nous disposions à l'époque :

- Le «séisme» de Ghomara a entraîné, dans la nuit du 20 au 21 janvier 1909, un gigantesque glissement de terrain meurtrier ce qui rendait difficile son évaluation ;
- Il n'a été enregistré par aucune des trois stations espagnoles, alors en fonctionnement, dont celle de San Fernando située à 110 km environ (Figure 1) ;
- Il n'a pas été ressenti ni à Tétouan ni dans ses environs ;
- Cette région montagneuse très accidentée est sujette aux glissements de terrain qui peuvent se produire en l'absence même de séisme à la suite de fortes pluies ou en cas de séismes superficiels de faible magnitude (Herquel *et al.* 1987).

Le travail que nous avons mené a porté sur la recherche et l'analyse de sources d'archives contemporaines. La position et la nature même de cet événement ont pu être revues à la lumière de sources documentaires restées inédites à ce jour et nous ont permis de mieux comprendre cet événement. Nous disposons de quatre articles de journaux publiés une dizaine de jours après la catastrophe.

**1<sup>er</sup> document :** *«Por moros fugitivos llegados á Tetuán se sabe que en el poblado de Romara, situado á 50 kilómetros de dicha plaza, ha ocurrido una catástrofe, causada por un temblor de tierra que produjo el desprendimiento de una montaña, en la que se hallaba situado dicho poblado. Quedaron sepultados un centenar de muertos y heridos.*

*Los moros precedentes del aduar donde ocurrió la catástrofe que llegan á Tetuán, están aterrados y no se dan cuenta siquiera de lo que pasó. Creen que el Dios Grande envió el terremoto como castigo, por haber permitido á los infieles entrar en el imperio. Por lo lejano que está el lugar del terremoto se carece de detalles.»*<sup>6</sup>

**2<sup>e</sup> document :** *«Les indigènes arrivés de Tétuan (à Sebta, NDLR), rapportent que le village de Romara situé à cinquante kilomètres et bâti sur le flanc d'une montagne a été détruit par un affaissement du sol et une avalanche de terre et de rochers ; il y a eu une centaine de morts et de blessés.»*<sup>7</sup>

5- L'échelle d'intensité Mercalli établie en 1902 a été modifiée en 1956 (MM), comprend 12 degrés d'intensité. Très semblable à l'échelle Medvedev-Sponheuer- Kárník version 1964 (MSK-64).

6- Le journal espagnol «El Siglo futuro» du 30 janvier 1909, 3<sup>ème</sup> année, n° 457, page 2.

7- Le journal français «L'Action française» du 30 janvier 1909, 2<sup>ème</sup> année, page 1.

**3<sup>e</sup> document :** «*A Tétouan (Maroc) plusieurs villages habités par la tribu des Zémaras ont été ensevelis par suite du glissement d'une montagne. Ce sont des troubles sismiques qui ont déterminé la catastrophe. On signale de nombreux morts et blessés.*»<sup>8</sup>

**4<sup>e</sup> document** est beaucoup plus explicite: «*Se han recibido más noticias acerca de la catástrofe que destruyó estos días la aldea de Romara, situada, como se sabe, a unos cincuenta kilómetros de aquella plaza. Dicen los moros fugitivos, que llegaron allí pocas horas después del siniestro, que éste ocurrió de noche, sintiéndose grandes ruidos subterráneos que conmovieron a toda la gente de aquellos lugares, la cual, presa de gran pánico, se echó fuera de sus chozas, prosternándose en suplicante actitud para pedir perdón á Alah, suponiendo á los ínfeles causantes de la desgracia.*

*De repente mientras todos estaban orando, se produjo una espantosa sacudida, acompañada de horrísono ruido, que hizo temblar el suelo, originándose desprendimientos de tierras y enormes peñascos en una montaña próxima que dominaba el poblado, cayendo como nube infernal sobre éste, que quedó sepultado en breves momentos. Con tanta rapidez se produjo la catástrofe, que no dio tiempo á los moradores para á salvo, y sólo los más distantes, que vivían en el llano, pudieron huir, buscando refugio hacia la costa.*

*Esto es lo que cuentan los fugitivos; añadiendo que no comprenden el fenómeno, é ignoran el número de víctimas, si bien suponen que debe ser considerable.*»<sup>9</sup>



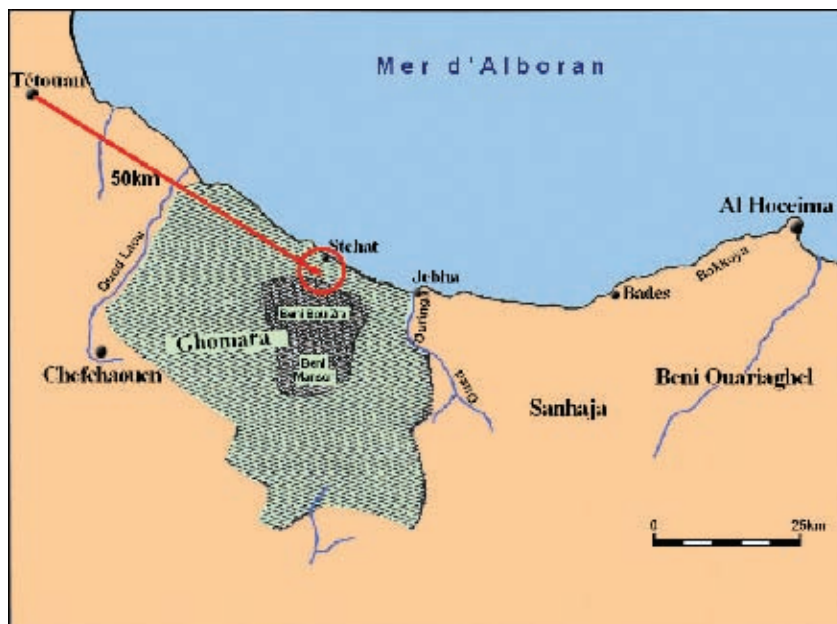
**Figure 1 :** Localisation des premières stations sismiques du réseau espagnol (IGN, 2004).

8- Le journal français 'Le Réveil Ploërmelais' du 31 janvier 1909, 4<sup>e</sup> année, n° 5.

9- Le journal madrilène «La Época» du 1 février 1909, 61<sup>ème</sup> année, n° 20 931, page 1.

Ces quatre articles apportent de nombreux éléments nouveaux parmi lesquels nous retiendrons les suivants :

- le village concerné par cette catastrophe est situé près de la côte méditerranéenne à une cinquantaine de kilomètres au sud-est de Tétouan dans le territoire de Ghomara et non pas à 5 km comme il a été indiqué par les différents documents cités ci-dessus<sup>10</sup>, il serait donc dans les environs de Stehat (Figure 2).
- bâti probablement à flanc d'une montagne, des blocs de pierres se détachent de la montagne ensevelissant maisons, habitants et bétail.



**Figure 2 :** Sur une erreur dans le texte de Galbis (5 km au lieu de 50 km) et reprise par tous les catalogues postérieurs le faux séisme a été placé dans les environs de Tétouan au lieu d'une localité située dans le territoire de Ghomara.

Il était fréquent que dans le passé des événements naturels provoquant des dégâts importants puissent être assimilés à des séismes. La chaîne rifaine est très vulnérable aux risques naturels surtout sur sa bordure nord. La topographie contrastée et les conditions hydrologiques et météorologiques de cette région, les localités du Rif central n'échappent pas aux risques de déclenchement de glissements de terrain, d'éboulements et des chutes de pierres et de blocs. Pratiquement tous les reliefs abrupts, surtout les falaises, sont producteurs de chutes de pierre et d'éboulement qui peuvent parfois être spectaculaires (PAC-Maroc, 2010)<sup>11</sup>.

10- Le territoire de la confédération des Ghomara s'étend de l'oued Laou à l'ouest à l'oued Ouringa à l'est.

11- Département de l'Environnement (2010) : Programme d'aménagement côtier du Rif central (PAC-Maroc), Activité thématique GIZC, Rapport final de l'action 1 : diagnostic. Secrétariat d'Etat auprès du ministère de l'Energie, des mines, de l'eau et de l'environnement chargé de l'eau et de l'environnement, Rabat, 236p.





**Figure 3 :** Éboulement et coulée de pierres d'Amtrasse (Province de Chefchaouen) sur la route principale N 39 survenu le 5 mars 2008 (PAC-Maroc, 2010).

L'événement de Ghomara ne serait en fin de compte qu'un éboulement et chutes de pierres et de blocs comme ce fut le cas par exemple à Amtrasse le 5 mars 2008 dans la province de Chefchaouen (PAC-Maroc, 2010) (Figure 3). Par conséquent les valeurs des vitesses et des accélérations, anormalement élevées, du règlement de construction parasismique pour la province de Tétouan devraient impérativement être révisées.

### **b) Sismicité instrumentale**

Si la sismicité historique couvre une période assez longue (plusieurs siècles), la sismicité instrumentale se limite à quelques décennies, mais elle apporte des informations précises et indispensables pour l'amélioration de la connaissance et de la compréhension des phénomènes sismiques, pour l'évaluation de l'aléa sismique ainsi que sur les mesures de prévention à mettre en œuvre.

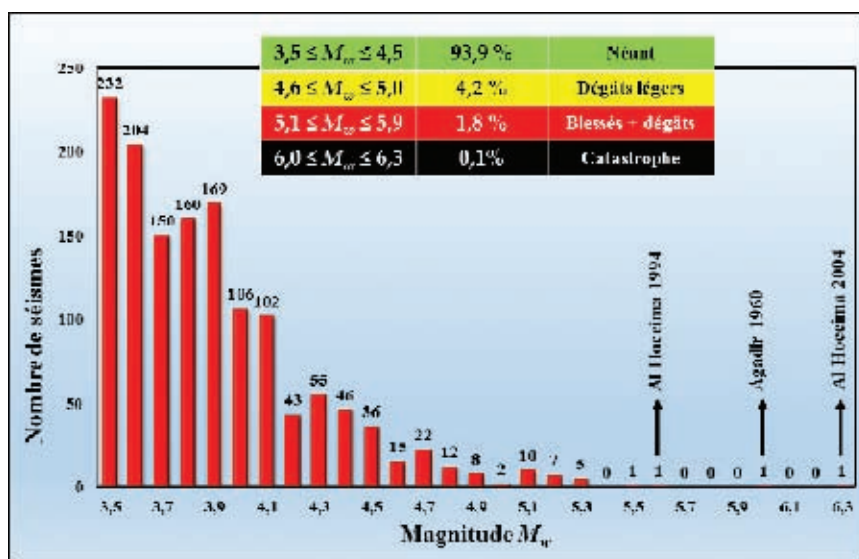
Ce n'est qu'en 1937 que la première station sismographique fut installée au Maroc à l'observatoire d'Ibn Rochd (Averroès) de l'Institut scientifique ; la deuxième station n'a vu le jour qu'en 1964 à l'observatoire d'Ifrane (de la même institution). Le développement

assez important du réseau sismographique national, où le nombre de stations est passé de deux en 1964 à quatorze en 1981, a permis d'améliorer sensiblement la localisation instrumentale des épicentres. Actuellement, le Maroc est doté d'un nombre assez important de stations sismiques numériques modernes couvrant presque tout le territoire national.

La sismicité récente du Maroc a fait l'objet d'une révision complète pour la période 1901-1986 (Cherkaoui, 1988, 1991). Dans ce travail, nous avons procédé à un calcul complet de la magnitude des séismes antérieurs à 1972, aucun calcul de celle-ci n'a été fait auparavant, sauf pour quelques séismes importants ( $m \geq 4.5$ ) enregistrés par le réseau mondial. Les magnitudes mentionnées dans les différents catalogues étaient macrosismiques évaluées à partir de formules empiriques (Munuera 1963, Kárník 1969, Bensari 1978).

Les intensités macrosismiques ont été réévaluées à partir des questionnaires, articles de presse, documents et rapports conservés dans les archives de l'Institut scientifique (Université Mohammed V de Rabat) et ramenées à la même échelle (MSK-1964).

L'examen de la sismicité historique et récente montre que le Maroc est un pays à sismicité modérée, les séismes destructeurs sont rares, mais leur probabilité d'occurrence n'est pas nulle. La sismicité historique recense par ailleurs plusieurs séismes destructeurs depuis un millier d'années (Elmrabet 1991). Alors que depuis 1901 à nos jours, le pays a connu également une dizaine de séismes violents dont deux catastrophiques (Figure 4). L'évaluation de l'aléa sismique au Maroc est par conséquent indispensable. L'estimation de l'aléa sismique est ainsi un premier pas vers l'estimation du risque sismique qui intègre également la vulnérabilité des bâtiments.



**Figure 4 :** Le nombre de séismes de  $M_w \geq 3,5$  ayant eu lieu au Maroc entre 1901 et 2014. Environ 94% des séismes n'ont pas provoqué de dégâts, 4,2% ont provoqué des dégâts légers, 1,8% a fait des blessés et causé des dégâts importants et deux séismes (0,1%) ont été destructeurs. La magnitude  $M_w=6,1$  du séisme d'Agadir a été calculée à partir d'une relation de corrélation entre  $M_w$  et mb.

## Connaissance de l'aléa sismique

L'aléa sismique est la possibilité pour un site donné (ou région) de subir une secousse sismique. L'évaluation de l'aléa est la première étape de la prévention du risque sismique. Elle exige la délimitation de «zones sismiques» (ou sismogènes), ce sont généralement des failles actives susceptibles d'engendrer de futurs séismes. L'identification de ces zones à l'échelle du globe est relativement facile, car les séismes sont localisés sur des bandes étroites à la limite des plaques. À l'échelle d'une région, la délimitation de ces zones-sources est compliquée et imprécise, car la sismicité devient diffuse ; ceci est due, essentiellement, aux erreurs de localisation, surtout pour les séismes historiques.

Un premier zonage peut être fait en se basant sur des données géologiques ; la corrélation de celles-ci avec les données géophysiques peut amener à modifier le zonage initial. L'apport de la sismicité est très important ; dans certains cas on sera obligé de regrouper deux zones ou plus pour respecter les contraintes qu'impose le traitement statistique des données (Dadou *et al.* 1984).

Le concept de zonage sismique passe donc par une étude sismotectonique détaillée de la région concernée ; cette étude fait appel aux données géologiques, néotectoniques et géophysiques.

Faute de pouvoir prévoir les séismes, il s'avère nécessaire de renforcer les mesures de protection contre les tremblements de terre par la délimitation des zones sujettes aux séismes (zonage sismique) et par l'évaluation du danger sismique dans ces zones. Le résultat de ce travail est l'établissement de cartes d'aléa sismique. Pour ceci, il faut pouvoir estimer les paramètres des trois principaux éléments :

- ceux concernant la source, c'est à dire la détermination du lieu où le séisme pourrait se produire et sa magnitude probable ;
- ceux concernant les effets de propagation des ondes sismiques en établissant des lois d'atténuation de l'intensité avec la distance épacentrale ;
- ceux concernant les effets locaux à la surface du sol en tenant compte de la structure du sous-sol et de la topographie du terrain.

Pour déterminer les sources potentielles, il est nécessaire de disposer de données représentatives de la tectonique d'une région. Il faut également disposer de catalogues sismologiques aussi complets que possible en incluant la sismicité historique, car la sismicité instrumentale ne couvre qu'une période d'observation assez courte. Les données sismologiques doivent être homogénéisées en unifiant les échelles de l'intensité et de la magnitude et en précisant les marges d'incertitude des différents paramètres.

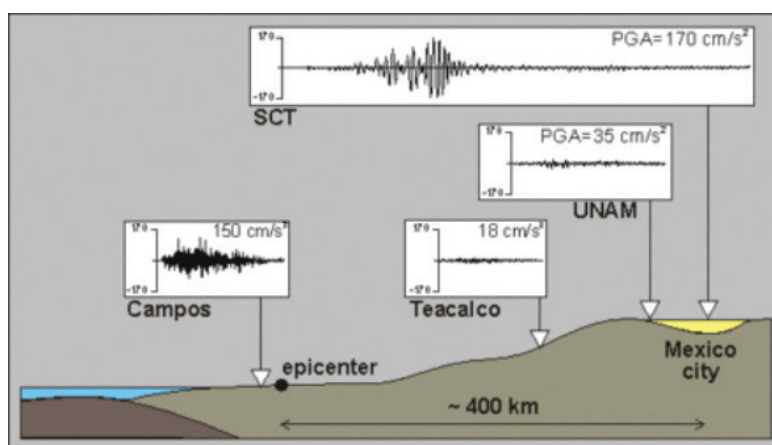
L'évaluation de l'aléa sismique est assez récente au Maroc dont les premiers résultats ont été publiés en 1991 (Cherkaoui 1991, Tadili 1991). Puis des projets internationaux comme GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program), lancé en 1992 dans le cadre de la «Décennie internationale pour la prévention des catastrophes naturelles (1990-1999)» et SESAME (Seismotectonic and Seismic Hazard Assessment of the Mediterranean Basin:

2001-2004) (Giardini *et al.* 2003) ont suivi, dont le but est l'établissement de cartes d'aléa sismique globales en accélération horizontale maximale<sup>12</sup>.

### Aléa sismique local (microzonage)

Les observations faites sur le terrain suite à un tremblement de terre ont montré que la distribution des dégâts était souvent inhomogène à des distances égales de l'épicentre et pour le même type de construction. Ces dommages ne sont pas dus uniquement à la quantité d'énergie sismique mise en jeu lors du déclenchement du séisme, mais ils sont dus également aux conditions locales au site : la topographie et la structure géologique du sol.

Lors du tremblement de terre Michoacán en 1985 ( $M_w = 8,2$ ), les dégâts les plus importants ont été observés dans la ville de Mexico, pourtant située à plus de 400 km de l'épicentre, en raison de sa construction sur un bassin argileux, ce qui a conduit à une dispersion des ondes sismiques et par conséquent à une amplification des oscillations (Singh *et al.* 1988) (Figure 5).



**Figure 5 :** accélérogrammes enregistrés lors du séisme de Michoacán en 1985, la valeur maximale de l'accélération a été enregistrée à la station SCT à Mexico à 400 km environ de l'épicentre.

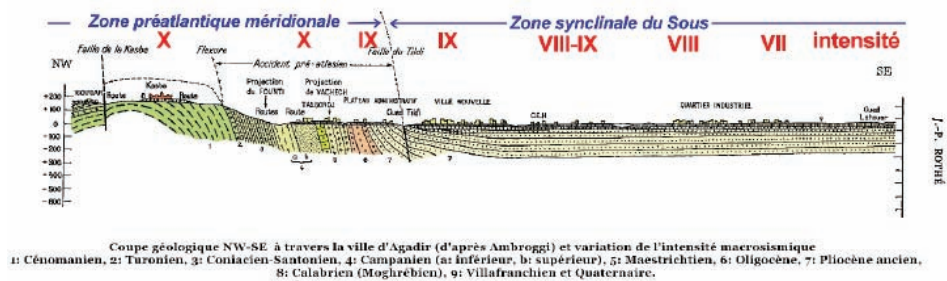
Lors du séisme d'Agadir de 1960, nous avons constaté que l'importance des dégâts provoqués par ce tremblement de terre, de magnitude pourtant modérée<sup>13</sup>, était due en grande partie à la géologie complexe du site (Ambroggi 1960) (Figure 6). Le maximum des dégâts a été observé dans les quartiers situés sur les formations horizontales, qui couvrent en discordance les couches plus anciennes, redressées par la flexure sud-atlasique (Cherkaoui *et al.* 1989, Cherkaoui 1991) (Figure 6).

12- <http://www.seismo.ethz.ch/GSHAP/>

13- Celle-ci n'a pu être calculée directement à partir de l'enregistrement de l'observatoire d'Averroès, la seule station qui existait à l'époque au Maroc, car les amplitudes des ondes P et S sont saturées et la coda du signal est masquée par l'arrivée d'une réplique. Plusieurs centres internationaux ont calculé la magnitude du séisme d'Agadir, mais l'écart entre la valeur maximale et minimale est de l'ordre de 1,25 environ. Nous avons donc essayé de recalculer la magnitude en établissant une relation de corrélation entre  $m_b$  de la station de Moscou et  $m_b$  de l'International Seismological Center, ce qui nous a permis d'en déduire la magnitude du séisme d'Agadir égale à :  $5,88 \pm 0,18$  (Cherkaoui *et al.* 1989).

Ce phénomène a été également observé lors du séisme d'Al Hoceima de 2004 ( $M_w = 6,3$ ) dans la localité d'Imzouren, situé à 15 km au nord-est de l'épicentre. Plusieurs immeubles du centre-ville, essentiellement, de type R+3 se sont effondrés ou partiellement endommagés (Figure 7). Les mesures récentes pour l'évaluation de l'effet de site sismique par l'utilisation de la technique du rapport spectrale H/V du bruit de fond (Nakamura 1989) ont démontré que, effectivement, les valeurs les plus basses des fréquences fondamentales sont enregistrées dans la plaine de Rhiss-Nekor et dans le centre-ville, là où l'épaisseur des dépôts de couverture est très importante (entre 20 et 90 m environ).

Il est indispensable que les villes exposées à un fort aléa sismique et ayant connu par le passé de violents tremblements de terre, comme Agadir, Casablanca, Fès, Meknès, Rabat, Salé ou Tanger soient dotées de cartes de microzonage sismique à l'instar de la ville d'Al Hoceima. En effet, après le terrible séisme de 2004, l'agence urbaine d'Al Hoceima a réalisé une carte d'aptitude à l'urbanisation régissant la constructibilité et définissant les mesures de prévention à prendre concernant les aléas sismiques, des mouvements de terrain et des inondations.



**Figure 6 :** Coupe géologique NW-SE de la ville d'Agadir (Ambroggi, 1960).  
 Les chiffres romains indiquent les valeurs des intensités macrosismiques observées lors du tremblement de terre de 1960 (Rothé, 1960).



**Figure 7 :** L'effondrement partiel ou total de toute une rangée d'immeubles au centre-ville d'Imzouren lors du séisme d'Al Hoceima de 2004. (Ph. Cherkaoui)



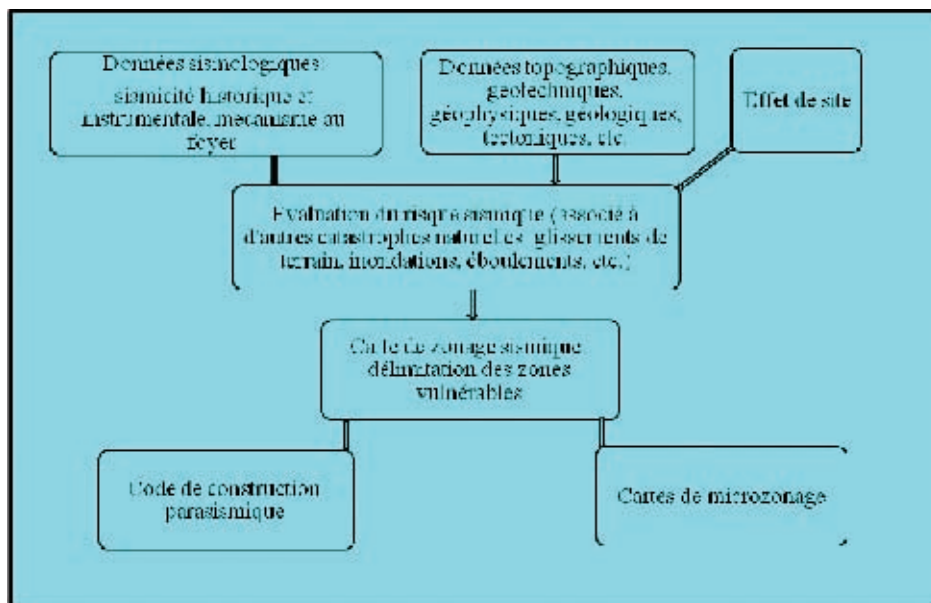


Tableau I : Principales étapes pour la réalisation de cartes de microzonage sismique.

## Prévision

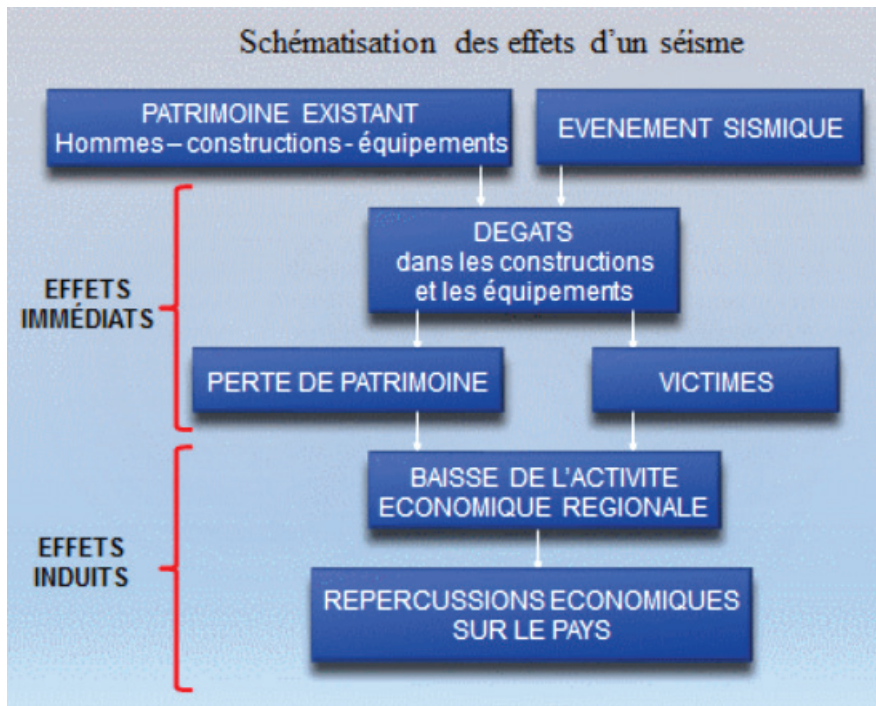
Il est certain que les tremblements de terre restent l'une des catastrophes naturelles que l'homme craint le plus. Par leur caractère imprévisible et leur violence inouïe, les tremblements de terre peuvent dévaster, en l'espace d'une dizaine de secondes, des régions entières provoquant ainsi la destruction des habitations, des édifices, des bâtiments publics, des voies de communication, etc.

Le déclenchement d'un tremblement de terre peut engendrer d'autres phénomènes : inondation, avalanche, tsunami, glissement de terrain, incendie, liquéfaction du sol, etc. Ceux-ci peuvent, à leur tour, provoquer, parfois, plus de dégâts que le séisme lui-même.

Depuis le début du XXe siècle, le Monde connaît une explosion démographique et une expansion économique extraordinaire. Des villes à haut risque sismique comme Mexico, Santiago de Chili, San Francisco, Tokyo, etc. ont vu leur population augmenter de façon inquiétante.

En plus de la concentration humaine s'ajoute la concentration industrielle : centrales thermiques et nucléaires, usines chimiques, stocks de déchets toxiques, barrages, etc. Quelle serait l'ampleur des dégâts en cas d'un tremblement de terre ? Tout le monde se rappelle la triple catastrophe de Fukushima le 11 mars 2011. En l'espace de quelques heures, le Japon a dû affronter un séisme ( $M_w = 9,0$ ), puis un tsunami puis un accident nucléaire dont les conséquences sont encore présentes. Quatre ans plus tard, la décontamination est toujours en cours.

Les conséquences des tremblements de terre destructeurs sont humaines, économiques et environnementales. Considérés comme la catastrophe naturelle la plus meurtrière, les séismes détruisent les bâtiments, les habitations et les équipements collectifs entraînant fréquemment de lourdes pertes en vies humaines. Ils détruisent ou paralysent les infrastructures vitales, critiques et sensibles. Dans le cas d'un séisme majeur, l'économie de la région sinistrée ou même le pays tout entier peut souffrir d'une paralysie totale de son économie (Tableau II).



**Tableau II :** Schématisation des effets d'un séisme (Bastet *et al.* 1985).

À l'état actuel de nos connaissances, la prédiction précise d'un séisme est encore impossible. La masse de données que nécessite la prédiction (c'est-à-dire prévoir la date, le lieu et la magnitude) n'est toujours pas disponible. Mais, on peut y remédier en prenant des mesures appropriées pour limiter les pertes en vies humaines et les dégâts matériels que provoquent les tremblements de terre.

La prévention du risque sismique repose principalement sur :

- l'application rigoureuse du règlement de construction parasismique ;
- le renforcement des structures de constructions existantes ;
- l'organisation de campagnes d'information et d'éducation de la population ;
- l'élaboration de plan de secours.



Aussi, le Maroc s'est doté depuis 2002 d'une réglementation qui rend obligatoire l'application du règlement de construction parasismique RPS 2000 pour protéger les nouveaux bâtiments. Il a été révisé une dizaine d'années plus tard (RPS 2000 version 2011) pour, notamment, prendre en compte de nouvelles données de la sismicité (séisme d'Al Hoceima 2004) et proposer un nouveau zonage sismique<sup>14</sup>. Malheureusement, le bâti existant et les bâtiments patrimoniaux ne sont soumis, pour le moment, à aucune réglementation. En effet, il faut reconnaître qu'actuellement, il n'existe pas de législation spécifique ni de mesures spéciales relatives en matière de protection du patrimoine architectural en cas de tremblements de terre.

Dans le domaine de l'information, de la sensibilisation et de l'amélioration des connaissances de la population sur le danger sismique, le Maroc accuse encore un retard important.

## Conclusion

Il convient de préciser que le Maroc par sa position géographique, situé à l'extrémité nord-occidentale de l'Afrique, là où la plaque africaine rentre en contact avec la plaque européenne, connaît une sismicité relativement modérée qui reflète la poursuite de la convergence entre ces deux plaques lithosphériques. Cependant, notre pays a connu par le passé un certain nombre de séismes destructeurs. Des villes comme Rabat-Salé (1755), Marrakech (1719 ?), Fès (1522, 1624, 1755), Meknès (1755), Agadir (1731) etc. ont été partiellement ou entièrement détruites. Depuis 1901, le Maroc a été secoué par une dizaine de séismes violents, dont au moins deux ont été catastrophiques : Agadir (1960) et Al Hoceima (2004). Le moyen le plus efficace pour se prémunir des séismes reste la prévention qui se base particulièrement sur l'application rigoureuse du règlement de construction parasismique, le renforcement des structures de constructions existantes, l'organisation de campagnes d'information et d'éducation de la population, et enfin, l'élaboration de plan de secours.

## Références

Ambraseys NN, Vogt J, Adams RD (1991) : The Algerian earthquake of 24 June 1910: a case history. *Tectonophysics* 193, 205-213.

Ambroggi R. (1960) : Séisme d'Agadir. Rapport géologique, Arch. Centre Et. Hydrogéol., Rabat, 34p., cartes.

Bastet J.C., Doory J.L. & Dvrville J.L. (1985) : Simulation de l'action d'un séisme à l'échelle d'une ville et de la région avoisinante. In «Génie parasismique», Davidovici (dr.), Paris, Presses de l'Ecole des Ponts et Chaussées, 1021-1032.

Ben Sari D. (1978) : Connaissance géophysique du Maroc. Thèse d'Etat; Univ. Grenoble; 262p; plus fig. 1987: 2<sup>ème</sup> édition; C.N.C.P.R.S.T. éd.; 207p.

---

14- Direction technique de l'habitat : La réglementation parasismique au Maroc, RPS 2000 version 2011. Ministère de l'Habitat, de l'urbanisme et de l'aménagement de l'espace. Rabat, 2011, 65p.

- Cherkaoui T.-E. (1988) : Fichier des séismes du Maroc et des régions limitrophes : 1901-1984. Trav. Inst. Scien.; Série géol. géogr. phys.; n°17; Rabat; 158p. plus carte h. t.
- Cherkaoui T.-E. (1991) : Contribution à l'étude de l'aléa sismique au Maroc. Thèse de l'Université Joseph Fourier; Grenoble; 246p.
- Cherkaoui T.-E., Medina F. Hatzfeld D. (1989) : The Agadir, Morocco earthquake February 29, 1960. Examination of some of the parameters. In: Seismicity, seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Maghrebian Region. Monografia n° 8, IGN, Spain, 133-148.
- Cherkaoui T.-E., Herquel G., Asebriy L. & El Alami S.O. (1987) : Projet de barrage sur l'oued Smir (région de Tétouan, Maroc). Etude du risque sismique. In Symposium sur les «tremblements de terre. Evaluation du risque, mesures de prévention et d'aide». Brigue, 7-10 avril 1986 ; 396-414.
- Dadou C., Godefroy P. & Vagneron J.M. (1984) : Evaluation probabiliste de l'aléa sismique régional dans le Sud-Est de la France. Doc. BRGM, n° 59, 246p.
- DeMets C., Gordon R., Argus D. & Stein S. (1990) : Current plate motions. Geophys. J. Int. 101, 425-478.
- Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (2004): Catálogo inventario de sismógrafos antiguos españoles. Taller de Litografía de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 413p.
- Douiri A., Mourabit T., Cheddadi A., Chourak M. & Louhibi S. (2015) : Coïncidences spectrales du bruit de fond entre sol et bâti existant dans la ville d'Imzouren, Maroc. J. Mater. Environ. Sci. 6 (2), 366-376.
- Elmrabet A.T. (1991) : Histoire sismologique du Maroc. Thèse 3ème cycle, Fac. des Lettres, Univ. Mohammed V, Rabat, 375p. (en arabe).
- Fernandez R. (2004) : Present-day kinematics at the Azores Gibraltar plate boundary as derived from GPS observations. Ph.D. thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
- Galbis Rodriguez J. (1932) : Catalogo sismico de la zona comprendida entre los meridianos 5°E y 20°W de Greenwich y los paralelos 45° y 25°N, T. I. Inst. Geogr. y Catastral; 807p.
- Galbis Rodriguez J. (1940) : Catalogo sismico de la zona comprendida entre los meridianos 5°E y 20°W de Greenwich y los paralelos 45° y 25°N, T. II. Inst. Geogr. y Catastral; 207p.
- Giardini D., Jiménez M.-J. & Grünthal G. (2003) : The ESC-SESAME unified seismic hazard model for the European-Mediterranean region. European Seismological Commission/UNESCO-IUGS International Geological Correlation Program. Project n° 382 : SESAME.
- Hee A. (1932) : La séismicité dans l'Afrique du Nord de 1911 à 1931. Matériaux pour l'étude des calamités, 28, Genève, 291 337.

Herquel G., Cherkaoui T.-E. & Asebriy L. (1987) : Evaluation du risque sismique dans la région du détroit de Gibraltar. In Symposium sur les «tremblements de terre. Evaluation du risque, mesures de prévention et d'aide». Brigue, 7-10 avril 1986, 155-181.

Kárník V. (1969) : Seismicity of the European area. Part I. Prague and Dordrecht-Holland, 364p.

Levret A. (1988) : Les effets au Maroc du séisme de «Lisbonne» du 1er novembre 1755. Rapport du Dép. d'analyse de sureté, IPSN, CEA. Communication présentée à «European geophysical society, XIIIe General Assembly, Symposium. Multidisciplinary evaluation of historical seismicity». 21-25 mars 1988, Bologne, Italie, 28p.

Levret A. (1991) : The effects of the November 1, 1755 «Lisbon» earthquake in Morocco. *Tectonophysics*, 193, 83-94.

Levret A. (1995) : Macrosismicité historique et contemporaine du Maroc en vue de l'évaluation de l'aléa sismique sur le site de sidi Boulbra. In «Etude de sites et de faisabilité d'une première centrale électronucléaire au Maroc». Rapport Inédit, Office National de l'Electricité (Maroc.) et Sofratome, 78p.

Martínez Solares J.M. & Mezcua Rodríguez J. (2002) : Catálogo sísmico de la Península Ibérica (880 a. C. – 1900). Monografía núm. 18, Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 253p.

McClusky S., Reilinger R., Mahmoud S, Ben Sari D. & Tealeb A. (2003) : GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophys. J. Int.*, 155, 126-138.

Mezcua J. & Martinez Solares J.M. (1983) : Sismicidad del area Ibero-Mogrebi. *Inst. Geog. Nacional*, 203, 301p.

Munuera J.M. (1963) : Datos básicos para un estudio de sismicidad en el área de la península ibérica (seismic data). *Mem. Inst. Geogr. y Catastral*, XXXII, Madrid, 97p.

Nakamura Y. (1989) : A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Report of RTRI*, 30:1, 25-33.

Perrey A. (1847) : Notes sur les tremblements de terre en Algérie et dans l'Afrique septentrionale et sur les tremblements de terre de la Péninsule Ibérique. *Mémoires de l'Académie des sciences, arts et belles-lettres de Dijon*, années 1845-1846.

Perrey A. (1859) : Note sur les tremblements de terre en 1956, avec suppléments pour les années antérieures. *Mémoires de l'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique*, collection in-8, t. 8, 1-79.

Rothé J. P. (1962) : Le séisme d'Agadir et la sismicité du Maroc. In «Le séisme d'Agadir du 29 Février 1960. Duffaud F., Rothé J.-P., Debrach J., Erimesco P., Choubert G. & Faure Muret A.». Notes et Mém. Serv. géol. Maroc, 154, 7 29.

Roux G. (1934) : Notes sur les tremblements de terre ressentis au Maroc avant 1933. *Mém. Soc. Scien. Nat. Maroc*, XXXIX, 42-71.

Serpelloni, E., Vannucci G., Pondrelli S., Argnani A., Casula G., Anzidei M., Baldi P. & Gasperini P. (2007) : Kinematics of the Western Africa-Eurasia plates boundary from focal mechanisms and GPS data. *Geophys. J. Int.*, 169, 1180-1200.

Singh S.K., Lermo J., Dominguez T., Dominguez M., Ordaz M., Espinoza J.M., Mena E. & Quass R. (1988) : The Mexican earthquake of September 19, 1985, A study of amplification of seismic waves in the valley of Mexico with respect to a hill zone site. *Earthquake Spectra*, 4, 653-673.

Tadili B. (1991) : Etude du risque sismique au Nord du Maroc. Thèse d'Etat, université Mohammed I, 231p.

Vogt J. (1985) : Révision d'anciens séismes ibéro maghrébins. In «Etudes de sites de faisabilité d'une première centrale électronucléaire au Maroc». Rapport inédit; Sofratome et Office National d'Electricité, Maroc, 69p.

Vogt J. (1991) : L'imbroglia des catalogues de sismicité historique. A propos d'une crise sismique ressentie à la fin du XVIIIe siècle dans la plaine rhénane et en Souabe. *Etudes hagenoviennes*, t. 17, 217-220.

Vogt J. (1996) : The weight of pseudo-objectivity. *Annali di Geofisica*, vol. XXXIX, n° 5, 1005-1011.

---

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci M. CHERKAoui pour cet exposé intéressant qui donne une analyse systémique de la sismicité au Maroc.

Nous passons à la présentation de M. Ramon CARBONELL intitulée «De la topographie de surface au manteau supérieur : une longue section sismique de 700 km à travers le Maroc».



# THE CRUST BENEATH MOROCCO: FROM THE SURFACE TOPOGRAPHY TO THE UPPER MANTLE A 700 KM LONG SEISMIC SECTION ACROSS MOROCCO

*Ramon CARBONELL<sup>1</sup>, J. DÍAZ<sup>1</sup>,  
Mimoun HARNAFI<sup>2</sup>, Ahmed EL HASSANI<sup>2</sup>,  
P. AYARZA<sup>3</sup>, A. GIL<sup>1</sup>, Josep GALLART<sup>1</sup>, M. TORNE<sup>1</sup>  
F. MANCILLA<sup>4</sup>, I. PALOMERAS<sup>5</sup>, A. LEVANDER<sup>5</sup>*

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

*(2) Institut Scientifique, Université Mohammed V,  
Rabat, Morocco*

*(3) Univ. of Salamanca, Spain*

*(4) Univ. of Granada, Spain*

*(5) Rice University, Houston, TX, USA*



*Ramon Carbonell*

## 1. Abstract

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

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

## 2. Introduction

The Gibraltar Arc constitutes the western tip of the Mediterranean which marks the vertex of the closure of the Tethys. This feature is part of a broad and diffuse deformation zone caused by the collision between two continental masses Africa and Eurasia (Fig. 1). This area of the western Mediterranean, includes the westernmost range of the Alpine-Himalayan system, the orogens of the Betic and Rif. These are considered to be part of the same orogen curved around the Alboran back-arc extensional basin (Fig. 1). The surface geology has suggested a number of relatively different tectonic models (Platt et al., 2013). Since the Miocene, the broad region extending from the Atlas Mountains in the South, in Morocco, to the Betic Mountains or even perhaps to the Central Iberian system in the North (Iberia Peninsula) has been affected by the oblique collision process resulting from the Africa-Eurasia convergence. For the last decade the area has attracted the attention of the Earth Science community as a relevant effort has been dedicated to the area with the development of a large number of international research projects.

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



the inversion of previous extensional features. The area is a geologic and structurally complex and, intriguingly, furthermore, it is a broadly recognized as a seismogenic zone.

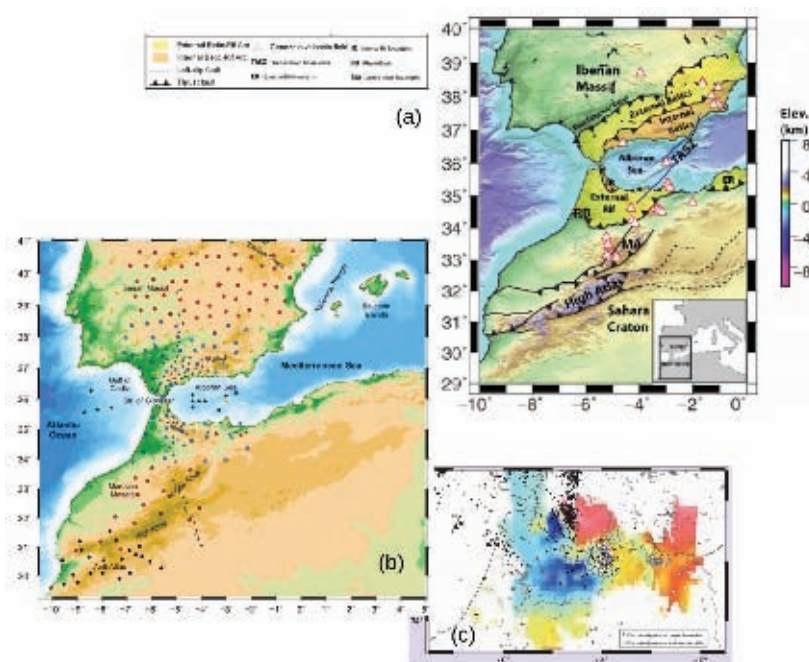
Although the area has been the research topic of a large number of studies resulting in a variety of geodynamic ideas and models [see Plat et al., 2013 for a review] it has not been until recently that a detailed and integrated scientific program has been carried out. The research programme benefited from the very strong collaboration between Moroccan and Spanish research groups as well as research teams from USA, Ireland and Germany. This major effort aimed to acquire a variety of new geophysical data (including natural and control source seismic recording, potential field (Gravity, magnetotellurics, geology, etc) with an unprecedented resolution. The initiative included a series of large scale research projects as Topo-Iberia (Díaz et al., 2009) and PICASSO (Program to Investigate Convective Alboran Sea System Overturn) A key issue was to fill in the missing knowledge specially constrain the seismic crustal structure of Morocco from the South, beneath the Atlas to the North Beneath the Rif (Fig. 1). The crustal thickness and the topography of the crust-mantle boundary were important targets to unravel, as very few data were available so far. These were the main objectives of projects based on control source seismic exploration carried out during the last few years. These are: the SIMA project across the Atlas Mountains (Seismic Imaging of the Moroccan Atlas; Ayarza et al., 2014); the RIFSIS sampling the Rif orogen (Seismic Investigations across the Rif; Gallart et al., 2012), and the GASSIS-WestMed (Gràcia et al., 2012) sampling the Alboran Basin. Note that, an additional coordination effort was carried out between the latter two projects resulting in the acquisition of piggy-back onshore-offshore wide-angle recordings. This contribution aims to summaries the new knowledge and unexpected findings derived from this international collaboration efforts. Special emphasis is devoted to the research that mobilized over a 100 multinational researchers in an unprecedented cooperation effort during the development of the control source seismic projects.

### 3. Tectonic, Geologic & Geophysic Framework

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

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

1998; Frizon de Lamotte et al., 2009; Teixell et al., 2009]. For an intra-continental orogenic belt the relatively small shortening estimates in the High Atlas are inconsistent with the topographic elevation which in this area can reach over 4000m. This is not the case for the eastern Atlas (Sahara and Tunisian Atlas Aureas Mountain where the elevations are more moderate. The available geophysics suggest that crustal thickness of the Moroccan and Eastern Atlas are similar. Therefore, additional factors are needed to account for the high elevations of the Moroccan Atlas [Ayarza et al., 2005]. Furthermore, the Moroccan Atlas are flanked by two young upwarps that locally reach elevations of 2000 m the Anti Atlas and the Moroccan Meseta. These also feature little deformation of Cenozoic age. The Moroccan Meseta, and the Anti-Atlas are located on the northern edge of the West African Craton [Hefferan et al., 2000; Ennih and Liegeois, 2001]. Taking into account that the entire orogen features similar crustal thickness and a unique geologic history [Frizon de Lamotte et al., 2009] this suggests that some other factor, a mantle component, is required to contribute to the buoyancy to maintain this topographic profile [Ayarza et al., 2005; Teixell et al., 2005; Missenard et al., 2006; Frizon de Lamotte et al., 2009].



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

Volcanic activity has been widespread in the Atlas. The oldest extrusives, found in the High Atlas, are basalts associated with Mesozoic rifting. Paleogene to Quaternary alkaline basalts erupted in the Middle Atlas and along the southern border of the Western High Atlas. Middle and Late Miocene, Pliocene, and Quaternary volcanic units are also found in the Alboran basin, Southern Iberia, and North Africa. The composition of these units changes in time and space from calc-alkaline in southern Spain and the Alboran Sea during the Miocene, to alkali basalts in North Africa during the Pliocene and Quaternary [Duggen et al., 2004]. In the Iberian Massif of central Spain, Late Miocene-Quaternary volcanics created the Calatrava Volcanic Province (Ciudad Real), intracontinental volcanism that has been related to extensional tectonics [Lopez-Ruiz et al., 1993].

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

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

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

mountain front, and normal faults within the upper crust of the Internal Zones, resulting in the current topographic relief of Rif.

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

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

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

Constraints on the convergence rate and directions are provided by GPS measurements from permanent and temporary deployments [Fadil et al., 2006; Vernant et al., 2010; Koulali et al., 2011]. Eurasian convergence relative to Africa trended south during the

Late Cretaceous-Paleogene, and has trended southeast oblique to the African margin from the Miocene. The present-day tectonic motions show south to southeast motion at 5 mm/yr of the Rif region relative to stable Nubia.

#### 4. Integrated Seismic Projects: Experiments Setup & Data

The strong Moroccan & Spanish collaboration was established within the framework of the PICASSO research initiative. This represented an effort developed in parallel with the Spanish TOPOIBERIA research project. TOPOIBERIA was a multi-institutional effort a singular project within Earth Sciences in Spain. It involved more than 100 Earth scientists from 10 different research groups within the country, all doing coordinated research aimed to establish an integrated framework to develop multidisciplinary geoscientific studies within the Iberian peninsula. In the project innovative, frontier research on its topography and 4-D geodynamic evolution. The objective of TOPOIBERIA was to understand the interaction between deep, superficial and atmospheric processes, integrating research on geology, geophysics, geodesy and geotechnology. The research team was very aware that the knowledge on the relief changes and its causes is of great social impact concerning the climate change and the evaluation of natural resources and hazards. The seismic part of this mega-initiative involved the deployment of a back-bone of broad-band (BBB) autonomous seismic station distributed within a grid, similarly to what EARTHSCOPE was developing in USA. The Spanish research group got support from the Spanish institutions to extend the BBB over to Moroccan territory. This was possible by the invaluable collaboration of the Moroccan colleagues of the Institut Scientifique of the Université Mohammed V at Rabat. A nearly 60 x 60 km array was installed in Morocco covering the Rif orogen.

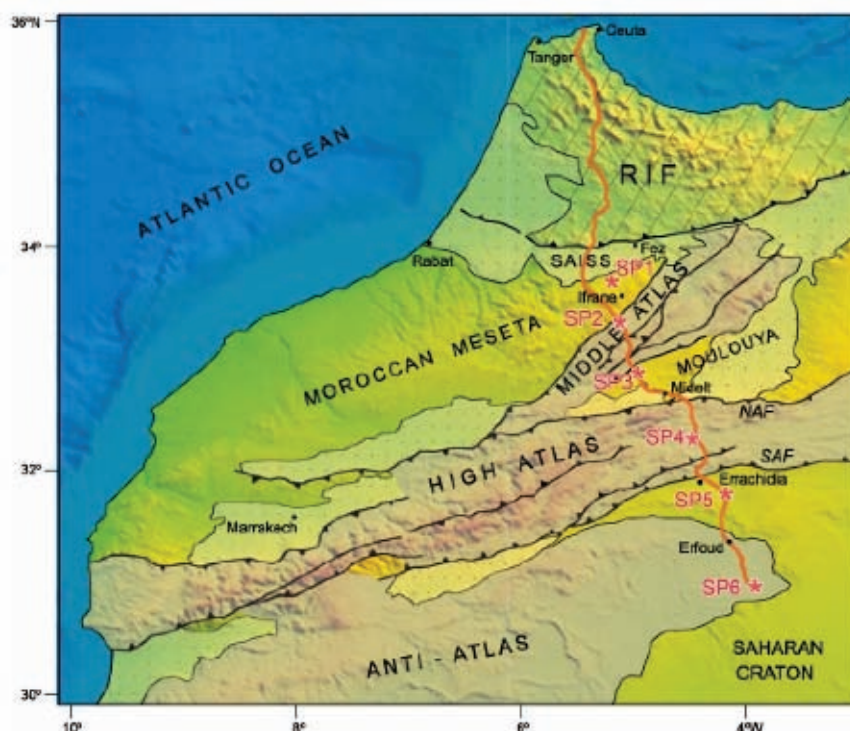
The PICASSO initiative aimed to increase the BBB coverage in the area close to the Gibraltar Arc in Morocco and in Spain to an average spacing of 5x5 km (Fig. 1). Instrumentation from different institutions in USA (including instruments from the IRIS-PASSCAL Instrument center) were deployed to achieve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

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



The RIFSIS experiment consisted in two wide-angle seismic reflection profiles oriented, approximately, EW and NS (330 km-long and 430 km-long, respectively) (Fig. 3). The design follows the overall Rif strike and dip directions and conform to the major and minor axes of the shape of the Bouguer anomaly. The EW transect extends from the Gharb Basin to the Algerian border. The NS line follows the trace of the SIMIA profile, starting at the Middle Atlas, en extends to the north 70 km into Iberia resulting in a unique 700 km-long traverse from the northern Sahara desert into southernmost Iberia. As in the SIMA acquisition the 5 sources consisted of 1Tn of chemical explosives in 2 boreholes.

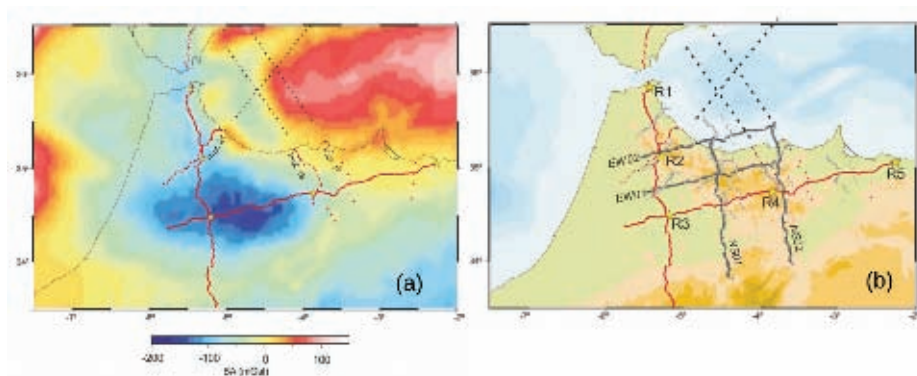
The shots were recorded by the IRIS-PASSCAL Texans (almost 900 instruments). Up to 402 seismographs were deployed along the EW profile and 443 along the NS profile including 35 in Spain. The average receiver spacing was of 750 m. Shots R1 through R3 where located along the NS line, and R3–R5 were along the EW line (Fig. 3).



**Figure 2.** Sketch map of the trace of the SIMA controlled source experiment. This is a 700 km long transect that starts close to Merzouga, north of the Saharan craton and goes across the Atlas mountains following a major communication route (road). The transect crosses the Middle Atlas the Rif and ends at the tip of the Gibraltar arc. This figure also shows the most prominent geodynamic features including the surface trace of the major fault structures and surface morphologies, like the Moroccan Meseta, the Atlas, the Anti-Atlas, Middle Atlas and the Rif.

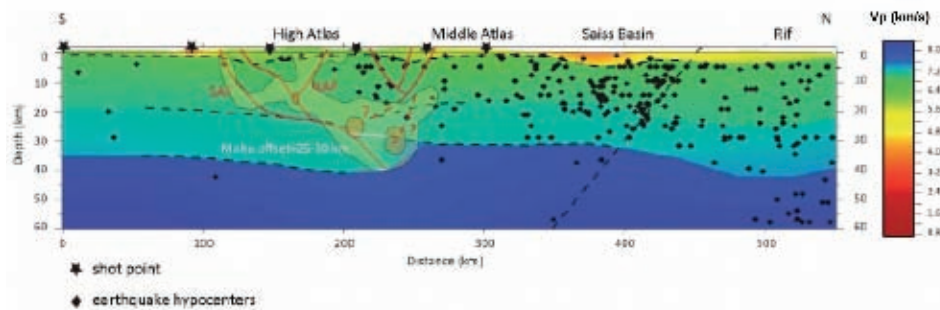
The GASSIS-WestMed targeted the active faults in the Alboran basin as these broad fracture zones are the key structures that accommodate the crustal deformation due to the NW-SE convergence (4.5-5.6 mm/yr) between the African and Eurasian plates. Structures like the TASZ consist on extensional, compressive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

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



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





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

## 5. Seismic Constraints on the Crust & Lithospheric structure

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

### 5.1 Control Source Seismic Reflections Constraints

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

The crustal section across the Atlas is imbricated, develops a root slightly N of the Axis of the High Atlas axis. The maximum depth of the Moho across the Atlas reaches 40–41 km, and its position is displaced to the North of the highest topography of the High Atlas. Ayarza et al. [2005] already suggested this geometric location differences between the deepest Moho and the highest topography from the analysis and modeling of gravity data. The trend of the Bouguer anomaly (NE–SW) is oblique to that of the High Atlas (ENE–WSW) thus the High Atlas root has been modeled to the N of the highest topography, coinciding with the minimum Bouguer anomaly values. The root is most probably the result of a crustal NW-dipping thrust-fault that offsets the Moho and under-thrusts the Sahara lower crust to the N (Fig. 4). This structure would be similar to other inverted continental rifts like the Pyrenees [Beaumont et al., 2000; Choukroune and Team, 1989; Daignieres et al., 1994; Teixell, 1998] or the Donbas fold belt [Maystrenko et al., 2003], which show thrust offsets of the lower crust and Moho. Some characteristics of the Atlas root constrained by the Vp velocity model indicate a positive lateral gradient towards the north with velocities approaching those of the mantle revealing an under-thrust of the lower crustal which can be estimated to be on the order of 30 km in length. This is on the order of the estimated shortening [Teixell et al., 2003, Ayarza et al., 2013]. Perhaps the key structural feature that defines the Atlas root is the still tectonically active South Atlas frontal thrust which overlaps a low resistivity anomaly in the MT models [Schwarz et al., 1992]. Note that this structure has most probably accommodated the Cenozoic shortening [Sebrier et al., 2006] and coincides with the location of the seismicity.

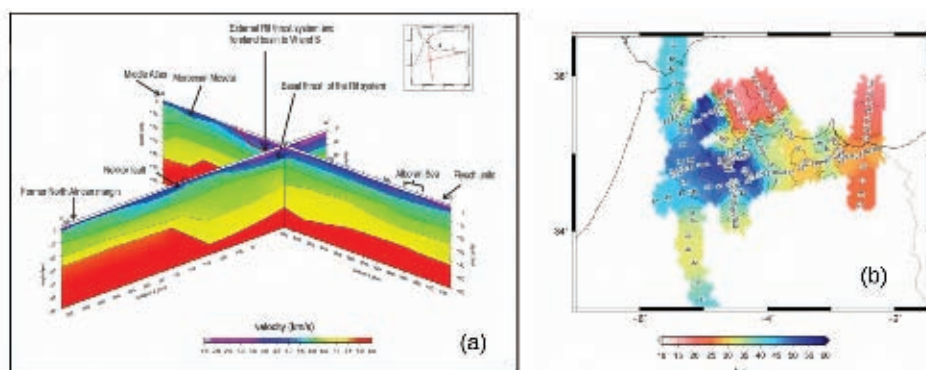
Following the transect to the North just after the root the crust is about 35 km thick across the Middle Atlas and the southern part of the External Rif domain. One of the most spectacular features imaged by the RIFSIS transect across the Rif is the unexpected and approximately 50 km deep crustal root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

Very marked lateral variations of the Structure Beneath the External Rif Domain are imaged by the East-West transect from the Gharb Basin to the Algerian Border (Fig. 5). The bottom of the deep Gharb Basin is identified at 10 km depth by shot R3 recorded along the EW deployment. The basin itself is mapped as a low velocity anomaly in the Vp velocity model. In the EW direction the crustal thickness increases laterally reaching a maximum depth over 50 km located closely beneath shot R4. This shot reveals a travel time difference between the east and western branches of the PmP arrival of almost 5 s. The anomalous increase of crustal thickness is very well constrained as it is sampled in both directions (reverse coverage using shots R3 and R4). Further to the east the crust is only approximately 29–30 km in thickness. The relatively thin crust corresponds to the crust beneath the foreland and Atlasic terranes up to the Algerian border. The change in

thickness is rather sharp and is located beneath the surface expression of the Nekkour fault/TASZ and, it corresponds to the eastern end of the Bouguer gravity anomaly over the Rif. If this two structural features, sharp crustal thinning and the surface outcrop of the Nekkour fault/TASZ are related is unclear and cannot be resolved by the currently available data. Further high resolution studies are required to address this issue.

## 5.2 Analysis of the Natural Source Data (Earthquake).

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

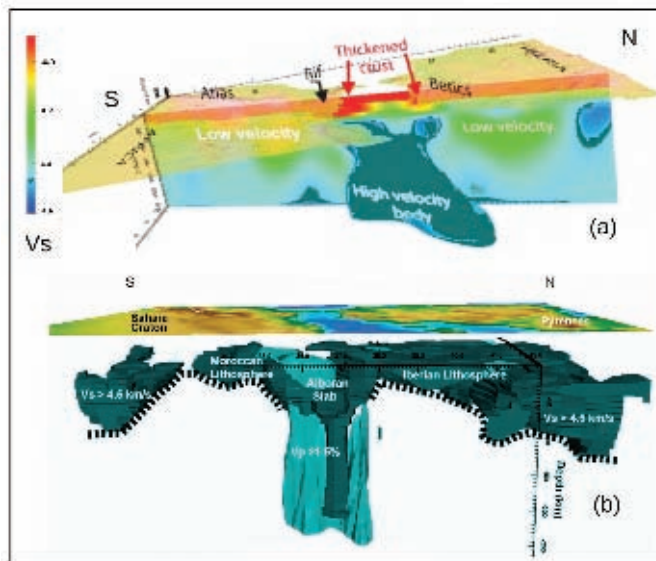


**Figure 5.** Crustal velocity model derived from the wide-angle seismic reflection point acquired by the RIFSIS experiment. (a) Three dimensional perspective of the velocity model across the Rif Mountains with the location of the root zone. Map with the Moho topography estimated from the control source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

The velocity models reveal different shear velocities for the Betics and Rif Mountains [Palomeras et al., 2004] although they are part of the same mountain system, similar lithologies have been identified at surface [Plat et al., 2013]. Lower shear velocities are mapped for the middle and lower crust in the Rif than in the Betics. At roughly the base of the crust velocity changes sharply to 4.2 km/s and it increases gradually down to 80 km depth. Under the Granada Basin and the Sierra Nevada Mountains velocity is systematically lower increasing from 3.9 to 4.0 km/s at 35 km depth then it increases to 4.2 km/s at 55 km and it increases further to 4.6 at, approximately 75 km. Velocity, at 150 km depth, starts decreasing reaching 4.5 km/s at 250 km depth. This behaviour is similar beneath the Rif. There the Shear velocity increases from 3.6 km/s at 25 km depth to 4.1 km/s at 55 km where the crust-mantle boundary or Moho discontinuity has been interpreted from the controlled source data [Gil et al., 2014]. Then the velocity features a smooth increase to 4.6 km/s by

65 km depth. Below 95 km, velocity goes back to 4.3 km/s at 150 km depth. Similar low velocities (3.6 km/s) are mapped in the Strait of Gibraltar, to 60 km depth, increasing to 4.4 km/s down to 75 km depth, where it increases again to 4.6 km/s.

The velocity model is able to differentiate between the High and Middle Atlas, and the western Atlas. Starting at 15 km depth, beneath the High and Middle Atlas where velocity is of 3.4 km/s it increases to 3.7 km/s at 25 km increases, further, to values of 4.4 km/s at 250 km depth. Between the Rharb Basin and the Middle Atlas under the eastern Moroccan Meseta, mantle S velocities are lower than in the overall Moroccan Meseta. Velocity is approximately of 4.1 km/s at 45 km depth increasing to 4.2 km/s at 130 km depth (Fig. 6). The location of this low velocities projects at surface beneath a middle Miocene-late Pliocene basaltic volcanic field. The low upper mantle velocities are interpreted to be the source region for these basalts. Mantle velocity below Moho increases to 4.3 km/s, defining a thin mantle lid at approximately 45 km depth where velocity starts decreasing to 4.1 km/s. Beneath this low-velocity zone, velocity gradually increases with depth being 4.4 km/s at 250 km depth. Lower velocities are observed in the crust of the western Atlas at 15 km depth (3.3 km/s) lower than in the High Atlas (Fig. 6). Then velocity increases at 25 km depth to 4.3 km/s at 35 km increasing to almost 4.5 km/s at 65 km depth. At 140 km depth velocity decreases over a 3%.



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

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

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

### **Discussion: Structural Models & Geodynamic Implications**

As recently mentioned the high velocity anomaly descends near vertically from W to E, beneath the Alboran Basin. The anomaly reaches the mantle transition zone beneath the study area. Beneath west Alboran a relatively low velocity anomaly is imaged between 50-100 km depth. This almost vertical, slightly east dipping high velocity anomaly has been interpreted in several ways by different authors: convective removal of thickened lithosphere [Platt and Vissers, 1989]; lithospheric delamination [Seber et al., 1996a; Calvert et al., 2000] and, east dipping subduction [Lonergan and White, 1997; Gutscher et al., 2002; Spakman and Wortel, 2004]. To differentiate among these different models further observations are required.

The data recorded within the Moroccan-Spanish research initiative reveals dispersion of arrivals coming from the east in the Gibraltar area. Also the SKS splitting studies by Diaz et al., [2010] reveal a rotation of the fast polarization direction along the arc suggest that a fast slab rollback is perhaps the most appropriate model to explain the geodynamics of the Alboran region. Thus, the data acquired within the Moroccan-Spanish collaboration provided geophysical evidence to rule out models featuring a mantle lithosphere instability. Furthermore, at depth between 60 to 160 km, the Alboran slab is surrounded by slow mantle. This low velocities can be indicative of partial melting, below 100 km this involves anomalously hot mantle. The slab rollback could drive the ascent of asthenospheric mantle jointly or coupled with toroidal flow around the slab [Funiciello et al., 2006; and Piromallo et al., 2006 and Alpert et al., 2013]. The up-flowing mantle (to fill in the gap) caused by the roll back of the slab would melt by decompression during ascent.

The crustal thickness observations across the Atlas Mountains obtained from the wide-angle controlled source data constrained a relatively thin crust with a limited root zone. This results, jointly with the limited shorting measured from surface geology (which is

estimated to be smaller than 25 % [Beauchamp et al., 1999; Teixell et al., 2003; Arboleya et al., 2004]) poses difficulties on how to explain the relatively high topographic relief (it can reach 4000 m). Integrated modeling studies using: topography, heat flow, geoid elevation and Bouguer gravity, [Teixell et al., 2005; Zeyen et al., 2005; Missenard et al., 2006; Fullea et al., 2010; Jimenez-Munt et al., 2011] solves this issue by compensating the orogenic belt at deep levels evidencing a thin lithosphere. In this models beneath the High Atlas, the lithosphere is thin <70 km. Thus, the relatively shallow and, hot (buoyant) asthenosphere would then be considered the supporting mechanism [Teixell et al., 2005; Zeyen et al., 2005; Missenard et al., 2006; Fullea et al., 2010; Jimenez-Munt et al., 2011] of the Atlas Mountains.

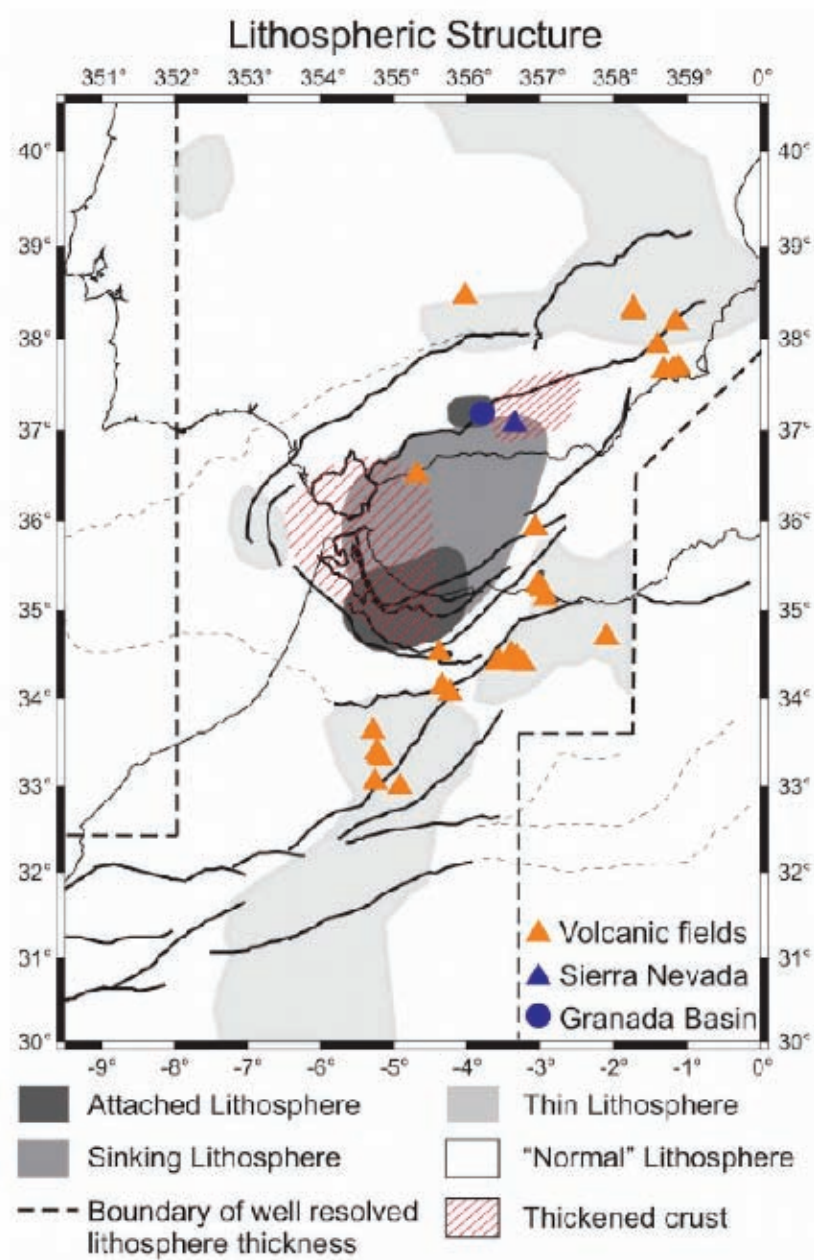
Deep earthquake activity (Fig. 1) identified beneath the Atlas has been reported at depth below 80 km. However, if the 3-D tomographic velocity model is used in the relocation, the focal depths reduce to values below 5 km, indicating that these events are mostly related to intracrustal seismicity. As a result, beneath the Atlas the low velocity anomalies revealed by the models can be interpreted or associated to the asthenosphere. Despite the model resolution, the new images of the anomalies feature well defined, relatively sharp, edges.

Gradational limits of the anomalies would, most probably, result from thermal erosion by conductive heating mechanisms (Fig. 6). On the other hand, well defined, relatively sharp, edges can be taken as an indication that, the lithosphere was lost by advective processes, (e.g. delamination). The large-scale removal process most probably occurred by some form of whole scale delamination or vigorous drip-like convection. The asthenosphere would fill in the gap providing an additional buoyancy that would provide a mechanism to compensate an isostatically uncompensated orogenic belt.

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

The oldest basalts in the high Atlas are associated to rifting (during Mesozoic) these are the oldest volcanics. In the Iberian Massif, in central Spain, the Calatrava intracontinental volcanic Province (Ciudad Real) has been related to extensional tectonics [Lopez-Ruiz et al., 1993].





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



## Conclusions

The international collaboration carried out in the broad zone of deformation driven by the collision between the African continent and Iberian micro plate has resulted in a unique high resolution seismic data set which is an asset to constraint the lithospheric processes, geodynamics that take place in the area and are responsible for the topographic relief and its characteristic earthquake activity. The mountain chain of the Betics in southern Iberia, the Rif and the Atlas in Morocco have been and still are intriguing orogenic belts. These are the response of different geodynamic processes acting at lithospheric scale caused by a complex plate interaction. The zone delineates an arc system, the Gibraltar arc.

A large amount of earthquake activity covering a variety of depths and focal mechanism characterizes the area. The topic has build up strong collaborations between Moroccan and Spanish and, international research teams from Europe and USA. Key multi-seismic projects have been developed aiming to constrain the structure, composition and tectonic scenario from south of the Atlas to the Betics, across the Rif cordillera and the Alboran basin. The multidisciplinary research program included: natural source (earthquakes) recording with temporal deployments of broad band (BB) instrumentation and, controlled source spatially dense seismic acquisition recording of wide-angle reflection data.

The natural source experiments consisted on a transect from Merzouga across the Gibraltar Arc and into the Iberian Peninsula (until south of Toledo) and, a nearly regular grid of BB distributed throughout Morocco. The controlled source wide-angle seismic reflection data constrained the crustal structure and provide seismic P-wave propagation velocity models from the coast across the Rif and to the Atlas. From south to north the crust features a relatively moderate crustal root beneath the Middle Atlas which can reach 40 km clearly differing from the 35 km thickness value observed at both sides of this root. Iterative travel time inversion-modeling positions the crustal root just south of the High Atlas the geometry defines a thrust mantle wedge and, a limited crustal imbrication in the Middle Atlas. An unexpected crustal root, over 50 km, was determined beneath the external Rif and identified by both the wide-angle data and the receiver function studies. To the east of this feature the crust thins rapidly by 20 km across the surface lineament of the Nekor fault. On shore-offshore recording of marine shots reveal further complexities in the transition to the Alboran basin. The low values of the Bouguer gravity anomalies beneath the Rif Cordillera are consistent with the crustal models derived from the new seismic data.

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

## Acknowledgments

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

## References:

- Anahnah, F., et al. (2011), Deep resistivity cross section of the intraplate Atlas Mountains (NW Africa): New evidence of anomalous mantle and related Quaternary volcanism, *Tectonics*, 30, 1–9.
- Arboleya, M. L., A. Teixell, M. Charroud, and M. Julivert (2004), A structural transect through the High and Middle Atlas of Morocco, *J. Afr. Earth Sci.*, 39, 319–336.
- Ayarza, P., F. Alvarez-Lobato, A. Teixell, M. Arboleya, E. Teson, M. Julivert, and M. Charroud (2005), Crustal structure under the central High Atlas Mountains (Morocco) from geological and gravity data, *Tectonophysics*, 400(1–4), 67–84, doi:10.1016/j.tecto.2005.02.009.
- Ayarza, P., et al. (2014) Crustal thickness and velocity structure across the Moroccan Atlas from long offset wide-angle reflection seismic data: The SIMA experiment, *Geochem. Geophys. Geosyst.* Doi: 10.1002/2013GC005164
- Batista, M.A., S. Heitor, J.M. Miranda, P. Miranda and L. Mendes-Victor, 1998a, The 1755 Lisbon tsunami; evaluation of the tsunami parameters, *J. Geodyn.*, 25 (2), 143–157.
- Batista, M.A., P. Miranda, J.M. Miranda and L. Mendes-Victor, 1998b, Constraints on the source of the 1755 Lisbon tsunami inferred from numerical modeling of historical data on the source of the 1755 Lisbon tsunami, *J. Geodyn.* 25(2), 159–174.
- Beaumont, C., J. A. Muñoz, J. Hamilton, and P. Fullsack (2000), Factors controlling the Alpine evolution of the central Pyrenees inferred from a comparison of observations and geodynamical models, *J. Geophys. Res.*, 105, 8125–8145.
- Bezada, M. J., E. D. Humphreys, D. R. Toomey, M. Harnafi, J. M. Davila, and J. Gallart (2013), Evidence for slab rollback in westernmost Mediterranean from improved upper mantle imaging, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 368, 51–60, doi:10.1016/j.epsl.2013.02.024.
- Bezada, M. J., E. D. Humphreys, D. R. Toomey, M. Harnafi, J. D. Davila, and J. Gallart (2013), Evidence for slab rollback in westernmost Mediterranean from improved upper mantle imaging, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 368, 51–60, doi:10.1016/j.epsl.2013.02.024.

- Bezada, M.J., Humphreys, E.D., 2012. Contrasting rupture processes during the April 11, 2010 deep-focus earthquake beneath Granada, Spain. *Earth Planet. Sci. Lett.* 353–354, 38–46.
- Booth-Rea, G., A. Jabaloy-Sanchez, A. Azdimousa, L. Asebriy, M. Vazquez-Vilchez, and M. Martinez Martinez (2012), Upper-crustal extension during oblique collision: The Tamsamani extensional detachment (eastern Rif, Morocco), *Terra Nova*, 24, 505–512, doi:10.1111/j.13653121.2012.01089.x.
- Bufo, E., Udias, A. and Colombas, M.A., 1988b. Seismicity, source mechanisms and seismotectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary. *Tectonophysics*, 152: 89–118
- Calvert, A., E. Sandvol, D. Seber, M. Barazangi, F. Vidal, G. Alguacil, and N. Jabour (2000), Propagation of regional seismic phases (Lg and Sn) and Pn velocity structure along the Africa-Iberia plate boundary zone: Tectonic implications, *Geophys. J. Int.*, 142(2), 384.
- Chalouan, A., A. Michard, Kh. El Kadiri, F. Negro, D. Frizon de Lamotte, J. I. Soto, and O. Saddiqi (2008), The Rif Belt, in *Continental Evolution: The Geology of Morocco*, edited by A. Michard et al., pp. 203–302, Springer, Berlin.
- Chalouan, A., A. Ouazani-Touhami, L. Mouhir, R. Saji, and M. Benmakhlouf (1995), Les failles normales a faible pendage du Rif interne (Maroc) et leur effet sur l'amincissement crustal du domaine D'Alboran, *Geogaceta*, 17, 3.
- Chalouan, A., A. Michard, H. Feinberg, R. Montigny, and O. Saddiqi (2001), The Rif mountain building (Morocco): A new tectonic scenario, *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 172(5), 603–616.
- Choukroune, P., and E. Team (1989), The ECORS Pyrenean deep seismic profile reflection data and the overall structure of an orogenic belt, *Tectonics*, 8, 23–39.
- Daignières, M., M. Seguret, M. Specht, and E. Team (1994), The Arzacq-Western Pyrenees ECORS Deep Seismic Profile, *Eur. Assoc. Petrol. Geol. Spec. Publ.*, 4, 199–208.
- Diaz, J., and J. Gallart (2009), Crustal structure beneath the Iberian Peninsula and surrounding waters: A new compilation of deep seismic sounding results, *Phys. Earth Planet. Int.*, 173, 181–190, doi: 10.1016/j.pepi.2008.11.008.
- Diaz, J., J. Gallart, A. Villaseñor, F. de L. Mancilla, A. Pazos, D. Cordoba, J. A. Pulgar, P. Ibarra, and M. Harnafi (2010), Mantle dynamics beneath the Gibraltar Arc (western Mediterranean) from shear-wave splitting measurements on a dense seismic array, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L18304, doi: 10.1029/2010GL044201.
- Duggen, S., K. Hoernle, F. Hauff, A. Klugel, M. Bouabdellah, and M. Thirlwall (2009), Flow of Canary mantle plume material through a subcontinental lithospheric corridor beneath Africa to the Mediterranean, *Geology*, 37(3), 283, doi:10.1130/G25426A.1.
- Fadil, A., P. Vernant, S. McClusky, R. Reilinger, F. Gomez, D. B. Sari, T. Mourabit, K. L. Feigl, and M. Barazangi (2006), Active tectonics of the western Mediterranean: GPS evidence for roll back of a delaminated sub-continental lithospheric slab beneath the Rif mountains, *Geology*, 34, 529–532, doi:10.1130/G22291.1.

Fernández, M., I. Marzán, and M. Torne (2004), Lithospheric transition from the Variscan Iberian Massif to the Jurassic oceanic crust of the central Atlantic, *Tectonophysics*, 386(1–2), 97–115, doi:10.1016/j.tecto.2004.05.005.

Fernandez, M., X. Berastegui, C. Puig, D. Garcia-Castellanos, M. J. Jurado, M. Torne, and C. Banks (1998), Geophysical and geological constraints on the evolution of the Guadalquivir foreland basin, Spain, in *Cenozoic Foreland Basins of Western Europe*, edited by A. Mascle et al., pp. 29–48, Geol. Soc., London, U. K.

Frizon de Lamotte, D., B. Saint Bezar, R. Brace`ne, and E. Mercier (2000), The two main steps of the Atlas building and geodynamics of the western Mediterranean, *Tectonics*, 19(4), 740–761, doi:10.1029/2000TC900003.

Frizon de Lamotte, D., M. Zizi, Y. Missenard, M. Hafid, M. E. Azzouzi, R. C. Maury, A. Charrie`re, Z. Taki, M. Benammi, and A. Michard (2008), The atlas system, in *Continental Evolution: The Geology of Morocco*, edited by A. Michard et al., pp. 133–202, Springer, Berlin.

Frizon de Lamotte, D., P. Leturmy, Y. Missenard, S. Khomsi, G. Ruiz, O. Saddiqi, F. Guillocheau, and A. Michard (2009), Mesozoic and Cenozoic vertical movements in the Atlas system (Algeria, Morocco, Tunisia): An overview, *Tectonophysics*, 475(1), 9–28, doi:10.1016/j.tecto.2008.10.024.

Fullea, J., M. Fern# andez, J. C. Afonso, J. Verges, and H. Zeyen (2010), The structure and evolution of the lithosphere-asthenosphere boundary beneath the Atlantic-Mediterranean Transition Region, *Lithos*, 120(1-2), 74–95, doi:10.1016/j.lithos.2010.03.003.

Fullea, J., J. Rodriguez-Gonzalez, M. Charco, Z. Martinec, A. Negredo, and A. Villasenor (2014), Perturbing effects of sub-lithospheric mass anomalies in GOCE gravity gradient and other gravity data modelling: Application to the Atlantic-Mediterranean transition zone, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, doi:10.1016/j.jag.2014.02.003.

Funiciello, F., M. Moroni, C. Piromallo, C. Faccenna, A. Cenedese, and H. A. Bui (2006), Mapping mantle flow during retreating subduction: Laboratory models analyzed by feature tracking, *J. Geophys. Res.*, 111, B03402, doi:10.1029/2005JB003792.

Gallart, J., A. Gil, J. Diaz, M. Harnafi, A. Levander, I. Palomeras, and D. Cordoba (2012), Variations of the crustal structure in the Rif Cordillera, N-Morocco, from wide-angle seismic data, Abstract presented at 2012 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif. Abstract T32D-05.

Garcia-Castellanos, D. (2002), Interplay between lithospheric flexure and river transport foralend basins, *Basin Res.*, 14(2), 89–104, doi: 10.1046/j.1365-2117.2002.00174.x.

Gomez, F., R. Allmendinger, M. Barazangi, A. Er-Raji, and M. Dahmani (1998), Crustal shortening and vertical strain partitioning in the Middle Atlas Mountains of Morocco, *Tectonics*, 17(4), 520–533, doi:10.1029/98TC01439.

Gomez, F., W. Beauchamp, and M. Barazangi (2000), Role of Atlas Mountains (northwest Africa) within the African/Eurasian plate boundary zone, *Geology*, 28, 775–778.

- Gil, A., J. Gallart, J. Díaz, R. Carbonell, M. Harnafi, and A. Levander (2013), Crust structure across the Rif Cordillera from 'RIFSIS' seismic refraction and wide-angle reflection experiment, *Geophys. Res. Abstr.*, EGU2013-4887-1, 15.
- Gutscher, M. A., J. Malod, J. P. Rehault, I. Contrucci, F. Klingelhoefer, L. Mendes-Victor, and W. Spakman (2002), Evidence for active subduction beneath Gibraltar, *Geology*, 30, 1071–1074.
- Hafid, M., G. Tari, D. Bouhadioui, I. El Moussaid, H. Echarfaoui, A. Ait Salem, M. Nahim, and M. Dakki (2008), Atlantic Basins, in *Continental Evolution: The Geology of Morocco*, edited by A. Michard et al., pp. 303–330, Springer, Berlin.
- Hatzfeld, D., and D. Bensari (1977), Grands profile sismiques dans la region de l'arc de Gibraltar, *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 7(XIX-4), pp. 749–756.
- Hefferan, K. P., H. Admou, J. A. Karson, and A. Saquaque (2000), Anti-Atlas (Morocco) role in Neoproterozoic Western Gondwana reconstruction, *Precambrian Res.*, 103(1–2), 89–96, doi:10.1016/S0301-9268(00)00078-4.
- Hildenbrand, T. G., R. P. Kucks, M. F. Hamouda, and A. Bellot (1988), Bouguer gravity map and related filtered anomaly maps of Morocco, U.S. Geol. Surv. Open-File Report: 88–517, 15 p
- Jimenez-Munt, I., M. Fernandez, J. Verges, D. Garcia-Castellanos, J. Fulla, M. Pérez-Gussinyne, and J. C. Afonso (2011), Decoupled crust-mantle accommodation of Africa-Eurasia convergence in the NW Moroccan margin, *J. Geophys. Res.*, 116, B08403, doi:10.1029/2010JB008105.
- Koulali, A., D. Ouazar, A. Tahayt, R. W. King, P. Vernant, R. E. Reilinger, S. McClusky, T. Mourabit, J. M. Davila, and N. Amraoui (2011), New GPS constraints on active deformation along the Africa–Iberia plate boundary, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 308(1–2), 211–217, doi:10.1016/j.epsl.2011.05.048.
- Loneragan, L., and N. White (1997), Origin of the Betic-Rif mountain belt, *Tectonics*, 16, 504–522, doi:10.1029/96TC03937.
- Lopez-Ruiz, J., J. M. Cebria, M. Doblas, R. Oyarzun, M. Hoyso, and C. Martin (1993), Cenozoic intra-plate volcanism related to extensional tectonics at Calatrava, central Iberia, *J. Geol. Soc. London*, 150, 915–922.
- Martinez-Diaz, J. J., E. Masana, J. L. Hernandez-Enrile, and P. Santanach (2001), Evidence for coseismic events of recurrent prehistoric deformation along the Alhama de Murcia fault, southern Spain, *Acta Geol. Hispanica*, 36(3–4), 12.
- Morales, J., I. Serrano, A. Jabaloy Sanchez, J. Galindo-Zaldívar, D. Zhao, F. Torcal, F. Vidal, and F. Gonzalez-Lodeiro (1999), Active continental subduction beneath the Betic Cordillera and the Alboran Sea, *Geology*, 27, 735–738, doi:10.1130/0091-7613(1999)027<0735.
- Missenard, Y., H. Zeyen, D. Frizon de Lamotte, P. Leturmy, C. Petit, M. Sebbier, and O. Saddiqi (2006), Crustal versus asthenospheric origin of relief of the Atlas Mountains of Morocco, *J. Geophys. Res.*, 111, B03401, doi:10.1029/2005JB003708.

Missenard, Y., H. Zeyen, D. Frizon de Lamotte, P. Leturmy, C. Petit, M. Sebrier, and O. Saddiqi (2006), Crustal versus asthenospheric origin of relief of the Atlas Mountains of Morocco, *J. Geophys. Res.*, 111, B03401, doi:10.1029/2005JB003708.

Maystrenko, Y., et al. (2003), Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas fold belt, Ukraine, *Geology*, 31, 733–736.

Palomeras, I., S. Thurner, A. Levander, K. Liu, A. Villasenor, R. Carbonell, and M. Harnafi (2014), Finite-frequency Rayleigh wave tomography of the western Mediterranean: Mapping its lithospheric structure, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 15, 140–160, doi:10.1002/2013GC004861.

Perouse, E., P. Vernant, J. Chery, R. Rellinger, S. McClusky, 2010, Active surface deformation and sub-lithospheric processes in the western Mediterranean constrained by numerical models, *Geology*, 28, 823–826, doi: 10.1130/G30963.1

Piomallo, C., and A. Morelli (2003), P wave tomography of the mantle under the Alpine-Mediterranean area, *J. Geophys. Res.*, 108(B2), 2065, doi:10.1029/2002JB001757.

Platt, J. P., and R. L. M. Vissers (1989), Geology Extensional collapse of thickened continental lithosphere: A working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar arc, *Geology*, 17, 540–543, doi:10.1130/0091-7613(1989)017<0540.

Platt, J.P., Behr, W.M., Johanesen, K., Williams, J.R., 2013. The Betic–Rif arc and its orogenic hinterland: a review. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 41, 1, doi: 10.1146/annurev-earth-050212-123951.

Rosenbaum, G., Lister, G.S., Duboz, C., 2002a. Relative motions of Africa, Iberia and Europe during Alpine orogeny. *Tectonophysics* 359, 117–129.

Rosenbaum, G., Lister, G.S., Duboz, C., 2002b. Reconstruction of the tectonic evolution of the western Mediterranean since the Oligocene. *J. Virtual Explorer* 8, 6, doi: 10.3809/jvirtex.2002.00053.

Rosenbaum, G., Lister, G.S., 2004. Neogene and Quaternary rollback evolution of the Tyrrhenian Sea, the Apennines, and the Sicilian Maghrebides. *Tectonics* 23, TC1013.

Schwarz, G., H. G. Mehi, H.G. Ramdani, and V. Rath (1992), Electrical resistivity structure of the eastern Moroccan Atlas System and its tectonics implications, *Geol. Rundsch.*, 81, 221–235.

Seber, D., M. Barazangi, B. Tadili, M. Ramdani, A. Ibenbrahim, and D. Ben Sari (1996), Three dimensional upper mantle structure beneath the intraplate Atlas and interplate Rif mountains of Morocco, *J. Geophys. Res.*, 101, 325–338.

Sebrier, M., L. Siame, E. M. Zouine, T. Winter, Y. Missenard, and P. Leturmy (2006), Active tectonics in the Moroccan High Atlas, *Comp. Rend. Geosci.*, 338, 65–79.

Simoes, J.Z., Afihado, A., and L. Mendes-Victor, 1992, Assessing the tsunami risk using instrumental and historical records, *Sci, Tsunami Hazards*, 10(1), 3–8.

Spakman, W., and M. J. R. Wortel (2004), A tomographic view on western Mediterranean geodynamics, in *The TRANSMED Atlas—The Mediterranean Region from Crust to Mantle*, edited by P. Ziegler, pp. 31–52, Springer, Berlin.

- Teixell, A., G. Bertotti, D. F. de Lamotte, and M. Charroud (2009), The geology of vertical movements of the lithosphere: An overview, *Tectonophysics*, 475(1), 1–8, doi:10.1016/j.tecto.2009.08.018.
- Turner, S., I. Palomeras, A. Levander, R. Carbonell and C. T. Lee (2014), Ongoing Lithospheric removal in the Western Mediterranean: Evidence from Ps receiver functions and thermobarometry of Neogene basalts (PICASSO Project), *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 15, 1113–1127, doi:10.002/2013GC005124.
- Torne, M., M. Fernandez, M. C. Comas, and J. I. Soto (2000), Lithospheric structure beneath the Alboran Basin: Results from 3D gravity modeling and tectonic relevance, *J. Geophys. Res.*, 105, 3209–3228, doi:10.1029/1999JB900281.
- Udias, A., and E. Bufo (1992), Sismicidad y sismotectónica de las Béticas, *Física de la Tierra*, 4, 109–123.
- Udias, A., López Arroyo, A. and Mézcua, J., 1976. Seismotectonics of the Azores-Alboran region. *Tectonophysics*, 31: 259–289.
- Wigger, P., G. Asch, P. Giese, W. D. Heinsohn, S. O. E. Alami, and F. Ramdani (1992), Crustal structure along a traverse across the Middle and High Atlas mountains derived from seismic refraction studies, *Geol. Rundsch.*, 81(1), 237–248, doi:10.1007/BF01764552.
- Verges, J., and M. Fernandez (2012), Tethys-Atlantic interaction along the Iberia-Africa plate boundary: The Betic-Rif orogenic system, *Tectonophysics*, 579, 144–172, doi:10.1016/j.tecto.2012.08.032.
- Vernant, P., A. Fadil, T. Mourabit, D. Ouazar, A. Koulali, J. M. Davila, J. Garate, S. McClusky, and R. Reilinger (2010), Geodetic constraints on active tectonics of the Western Mediterranean: Implications for the kinematics and dynamics of the Nubia-Eurasia plate boundary zone, *J. Geodyn.*, 49, 123–129, doi:10.1016/j.jog.2009.10.007.
- Zeyen, H., P. Ayarza, M. Fernandez, and A. Rimi (2005), Lithospheric structure under the western African-European plate boundary: A transect across the Atlas Mountains and the Gulf of Cadiz, *Tectonics*, 24, 1–16.
- Zelt, C., and R. Smith (1992), Seismic traveltime inversion for 2-D crustal velocity structure, *Geophys. J. Int.*, 108, 16–34.

---

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup M. CARBONELL pour cet exposé qui présente des travaux de groupes de coopération entre le Maroc et l'Espagne, notamment avec l'Université Mohammed V - Rabat et l'Institut Scientifique sur l'analyse tectonique des deux plaques du Rif et de l'Atlas.

Je passe la parole maintenant à M. Fida MEDINA pour nous parler des «Tsunamis: état des connaissances et risques pour le Maroc».





## LES TSUNAMIS : ÉTAT DES CONNAISSANCES ET RISQUES POUR LE MAROC

*Fida MEDINA<sup>1</sup>, Rachid OMIRA<sup>2</sup>  
& Nadia MHAMMDI<sup>3</sup>*

*1. Association Marocaine des Géosciences,  
rue Oued Dra, n°28, Apt. 1, Rabat, Maroc*

*2. Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA),  
Lisbonne, Portugal*

*3. Université Mohammed V, Institut Scientifique,  
Laboratoire de Physique du Globe, Avenue Ibn Batouta,  
B.P. 703, Agdal, Rabat*



### Résumé :

Le tsunami du 26 décembre 2004 et le nombre considérable des victimes qu'il a causé a été à l'origine d'une prise en conscience générale des scientifiques et des politiciens sur ce type de risques en raison de la forte concentration de la population mondiale et des infrastructures le long des côtes. Le Maroc a été déjà dévasté par des tsunamis dont celui qui a suivi le tremblement de terre dit de Lisbonne ( $M = 9$ ) survenu le 1er novembre 1755, dont les vagues ont envahi l'ensemble des villes situées le long de la côte atlantique. Les effets de ce cataclysme, comme l'ont décrit plusieurs historiens et navigateurs, et de ceux qui ont eu lieu auparavant, sont toujours visibles dans le paysage sous la forme de blocs épars, et dans les sédiments estuariens sous la forme de minces lits marins incrustés dans les sédiments vaseux. Bien que le risque de tsunami par décollement d'un panneau du volcan de La Palma aux Canaries reste réel, le Maroc est surtout exposé aux tsunamis liés aux séismes atlantiques, qui ont lieu régulièrement le long de la Zone de Failles Azores-Gibraltar. Concernant la région atlantique, les études océanographiques de détail menées récemment ont permis de déterminer quatre failles pouvant engendrer des tsunamis : les failles bordant le Banc de Gorringe et la plaine du Fer à Cheval, la faille du Banc de Guadalquivir et la faille de Marquês de Pombal. Différents scénarios ont récemment été envisagés par plusieurs équipes scientifiques du Portugal, d'Espagne et du Maroc pour simuler les conséquences possibles provoquées par un tsunami lié au jeu de ces failles, et pour proposer un système d'alerte régional similaire à ceux mis en place ailleurs. En parallèle, de nombreuses études récentes se sont penchées sur les effets potentiels de l'inondation de plusieurs villes au Maroc telles que Casablanca, Rabat-Salé et El Jadida, en prenant comme référence le tsunami de 1755. Les principaux résultats concernent la distribution géographique des quartiers à risque et la vulnérabilité des bâtiments. Comme

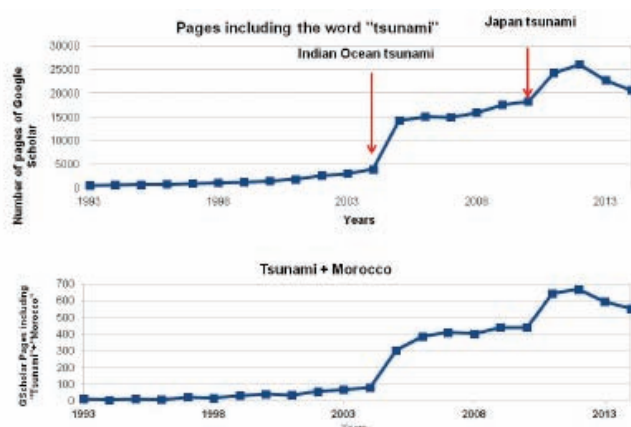
la plupart de ces études se fait dans un cadre académique dispersé et que les gestionnaires des villes ont rarement accès à ces informations, il serait judicieux de créer un organe inter ministériel permanent des risques regroupant tous les acteurs et pouvant agir efficacement en cas de menace.

**Mots clés :** tsunami, Atlantique oriental, risque naturel, séisme, volcanisme, glissements sous-marins, Golfe de Cadix, Méditerranée.

## 1. Introduction

Les tsunamis ont été reconnus depuis longtemps comme une source de destruction massive au même titre que les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, les inondations fluviales, les cyclones et les tempêtes (par ex. Levin & Nosov, 2009). Cependant, les effets du tsunami du 26 décembre 2004 ont été tellement dévastateurs (~275.950 morts selon l'USGS<sup>1</sup>; dégâts matériels incalculables) que les organisations internationales et tous les gouvernements des pays côtiers se sont penchés sur le risque des tsunamis et les moyens de minimiser les pertes en vies humaines et les dégâts matériels. Le tsunami du Japon du 11 mars 2011 (15.844 morts et 3.394 disparus selon Mori et al., 2012) n'a fait qu'augmenter l'inquiétude des gouvernants et des scientifiques, surtout que cette fois, des installations nucléaires furent endommagées avec pollution radioactive grave.

Parmi les pays qui se sont sérieusement penchés sur le risque des tsunamis, se trouvent le Portugal, l'Espagne et le Maroc, situés sur le pourtour du Golfe de Cadix, qui est considéré comme une zone sismogène et tsunamigène, surtout suite au grand séisme du 1er novembre 1755, connu sous le nom de Séisme de Lisbonne. Cet intérêt récent s'est reflété par l'augmentation notable des publications et des études sur le risque de tsunami depuis 2004, en parallèle à l'augmentation de l'intérêt au niveau mondial (**Fig. 1**). Dans le présent article nous exposons brièvement des généralités sur les tsunamis et l'état des recherches sur le risque de tsunami au Maroc.



**Figure 1.** Nombre de pages Google Scholar obtenues sous requête «tsunami» (haut) et «tsunami + Morocco» (bas) de 1993 à 2014.

1- <http://www.usgs.gov/newsroom/article.asp?ID=672#.VVI2qPC9FXt>

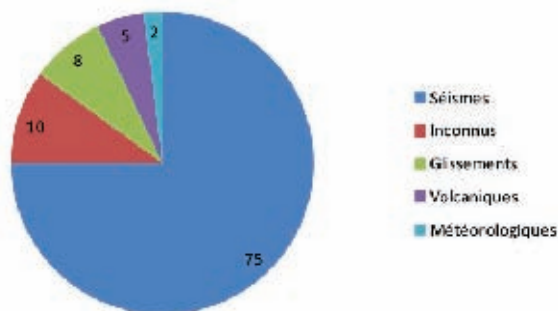
## 2. Généralités sur les tsunamis

### 2.1. Terminologie et causes

Le terme japonais *Tsunami* signifie «vague de port» et désignerait à l'origine une seiche, vague de résonance assez violente pour faire chavirer les embarcations dans les ports. Les textes français anciens utilisent le terme impropre de «raz-de-marée» abandonné depuis, mais qui est parfois repris dans certains manuels.

Le tsunami peut être défini comme un phénomène hydrodynamique transitoire s'exprimant par une propagation de vagues qui peuvent provoquer des inondations considérables dans les zones littorales. Comparativement à la houle et aux vagues générées par le vent, les vagues du tsunami ont des caractéristiques différentes : une grande énergie qui est transférée entièrement à la colonne d'eau ; une grande vitesse puisque les vitesses orbitales ne diminuent pas de manière significative avec la profondeur et toute la colonne d'eau, du fond à la surface, se déplace relativement à la même vitesse; parcours de grandes distances avec peu de perte d'énergie. En comparaison, les vagues sont créées par perturbation de la surface de l'océan; leur énergie est concentrée près de la surface et le mouvement orbital des particules de la vague diminue avec la profondeur. Au large (océan profond) les hauteurs des vagues de tsunami sont insignifiantes (~1 m), les longueurs d'onde très grandes (~150 km) et les vitesses de propagation très importantes (~700 km), mais près du littoral se produit une augmentation considérable des hauteurs des vagues accompagnée d'une diminution des vitesses de propagation.

Selon les estimations de Geoscience Australia<sup>2</sup>, 75% environ des tsunamis inventoriés ont une origine tectonique et sont par conséquent liés aux mouvements le long des failles actives (**Fig. 2**), en particulier celles délimitant les plaques; 8% sont générés par les glissements sous-marins ou sur des flancs de montagnes (Storegga en Mer de Barents, Norvège, 6.000-8.000 BP, Smith et al., 2004; Bondevik et al., 2005; Lituya en Alaska en 1958 ; Fritz et al., 2009); 5% sont liés au volcanisme; les tsunamis météorologiques, y compris ceux causés par les chutes de météorites, ne forment que 2% du total, bien que leur effet puisse être destructeur comme à la limite Crétacé-Tertiaire. Enfin, 10% des tsunamis inventoriés n'ont pas de cause reconnue.



**Figure 2.** Causes des tsunamis dans le monde selon les estimations de Geoscience Australia (<http://www.ga.gov.au/hazards/tsunami/tsunami-basics/causes.html>).

2- <http://www.ga.gov.au/hazards/tsunami/tsunami-basics/causes.html>

## 2.2. Echelle des tsunamis

La première échelle d'intensité établie pour les tsunamis est celle de Sieberg (1927) modifiée par Ambraseys (1962). Basée sur les effets macroscopiques des inondations, elle comporte 6 niveaux (**Tableau Annexe A1**). L'échelle plus récente de Papadopoulos-Imamura (2001) comporte 12 degrés (**Tableau Annexe A2**) tenant compte de l'influence sur la population, son impact sur les objets naturels et artificiels et les dommages subis par les bâtiments. Comme pour les échelles d'intensité des séismes (Mercalli, MSK), ces deux échelles ne tiennent pas compte des paramètres physiques des vagues (Levin & Nosov, 2009); en revanche, l'échelle d'Imamura-Iida (par ex. Iida et al., 1970; **Tableau Annexe A3**) en tient compte, puisqu'elle permet d'estimer la magnitude des tsunamis à partir de la hauteur maximale des vagues  $H_{max}$  à travers l'équation :

$$m = \log_2 H_{max} \quad (1)$$

où  $H_{max}$  est la hauteur maximale des vagues.

<b>I</b>	<b>Très faible.</b> Vagues décelés uniquement par les appareils de mesures (marégraphes)
<b>II</b>	<b>Faible.</b> Vagues s'observant seulement sur les plages
<b>III</b>	<b>Plutôt fort.</b> Vagues généralement remarquées. Occasionne des dégâts légers parmi les petites embarcations dans les ports de plaisance et de pêche artisanale. Inversion des courants le long des rivières sur quelque distance
<b>IV</b>	<b>Fort.</b> Destruction de petites embarcations, mais aussi d'installations légères riveraines et d'infrastructures de plage, de la végétation et des jardins. Le rivage est inondé, des débris flottent partout.
<b>V</b>	<b>Très fort.</b> Déferlement de vagues puissantes et hautes de plusieurs mètres provoquant inondation, destruction de bâtiments et pertes de vies humaines. A l'exception des grands vaisseaux, les autres sont transportés à l'intérieur des terres.
<b>VI</b>	<b>Catastrophique.</b> Vagues géantes, se déplaçant à grande vitesse et déferlant avec violence sur des kilomètres de rivages, pertes de vie par centaines voire milliers si la population n'est pas avertie. Sur une côte basse, destruction des infrastructures, dommages aux grands navires, paysage cataclysmique.

**Tableau A1 :** Echelle d'intensité des tsunamis de Sieberg - Ambraseys.

Degré		Effets		
		a (influence sur la population)	b (impact sur les objets)	c (effets sur les bâtiments)
<b>I</b>	Imperceptible			
<b>II</b>	Peu perceptible	Perçu par quelques individus à bord de petites embarcations. Non observé sur la côte	Pas d'effets	Pas de dégâts
<b>III</b>	Faible	Perçu par la plupart des individus à bord de petites embarcations. Observé par quelques individus sur la côte	Pas d'effets	Pas de dégâts
<b>IV</b>	Observé par beaucoup	Perçu par tous les individus à bord de petites embarcations et par quelques-uns à bord de gros bateaux. Observé par la plupart des individus sur la côte	Quelques petits bateaux se déplacent légèrement sur le rivage	Pas de dégâts
<b>V</b>	Fort (vague d'une hauteur de 1 m)	Perçu par tous les individus à bord de gros bateaux et observé par tous sur la côte. Quelques personnes sont effrayées et courent se réfugier en des points plus élevés.	De nombreuses petites embarcations sont fortement déplacées sur le rivage; quelques unes s'entrechoquent ou se retournent. Traces de dépôt de sable sur le sol, le cas échéant. Inondation limitée des terres cultivées.	Inondation limitée des parties à ciel ouvert (tels que jardins) des constructions proches du rivage.
<b>VI</b>	Dégâts légers (2 m)	De nombreuses personnes sont effrayées et courent se réfugier en des points plus élevés	La plupart des petites embarcations sont fortement déplacées sur le rivage, s'entrechoquent ou se retournent	Quelques constructions en bois sont endommagées et inondées. La plupart des bâtiments en maçonnerie résistent
<b>VII</b>	Dégâts (4 m)	De nombreuses personnes sont effrayées et tentent de courir se réfugier en des points plus élevés	De nombreuses petites embarcations sont endommagées. Quelques gros bateaux oscillent violemment. Des objets de taille et de stabilité variables se retournent et partent à la dérive. L'eau laisse des dépôts de sable et des amas de galets. Quelques pontons utilisés pour l'aquaculture sont emportés	De nombreuses constructions en bois sont endommagées; quelques-unes sont détruites ou emportées par l'eau. Dégâts de niveau 1 et inondation dans quelques bâtiments en maçonnerie
<b>VIII</b>	Lourds dégâts (4 m)	Tout le monde s'enfuit vers les hauteurs, quelques personnes sont emportées	La plupart des petites embarcations sont endommagées, et beaucoup sont emportées. Quelques gros bateaux sont déplacés sur le rivage ou entrent en collision. De gros objets sont emportés. Érosion et dépôt de détritus sur la plage. Les forêts de protection contre les tsunamis et les dispositifs anti-dérive subissent de légers dégâts. De nombreux pontons utilisés pour l'aquaculture sont emportés, et quelques-uns sont partiellement endommagés	La plupart des constructions en bois sont emportées ou détruites. Quelques bâtiments en maçonnerie subissent des dégâts de niveau 2. La plupart des bâtiments en béton armé sont endommagés; quelques-uns subissent des dégâts de niveau 1 et on observe des inondations
<b>IX</b>	Destructions (8 m)	De nombreuses personnes sont emportées par les eaux	La plupart des petites embarcations sont détruites ou emportées. Beaucoup de gros bateaux sont violemment déplacés sur le rivage et quelques-uns sont détruits. Forte érosion et importants dépôts de détritus sur la plage. Effondrements de terrain par endroits. Destructions partielles des forêts de protection contre les tsunamis et des dispositifs anti-dérive. La plupart des pontons d'aquaculture sont emportés, et beaucoup sont partiellement endommagés	Dégâts de niveau 3 pour de nombreux bâtiments en maçonnerie et de niveau 2 pour quelques bâtiments en béton armé
<b>X</b>	Grosses destructions (8 m)	Panique générale. La plupart des gens sont emportés	La plupart des gros bateaux sont violemment échoués, et beaucoup sont détruits ou viennent heurter des bâtiments. De petits rochers provenant du fond de la mer sont rejetés à terre. Les voitures sont renversées et partent à la dérive. Fuites d'hydrocarbure, débuts d'incendies. Nombreux effondrements de terrain	Dégâts de niveau 4 pour de nombreux bâtiments en maçonnerie, et de niveau 3 pour quelques bâtiments en béton armé. Digues et levées s'écroulent, les brise-lames dans les ports sont endommagés
<b>XI</b>	Devastation (16 m)		Voies de communication vitales coupées. Nombreux incendies. En se retirant, les eaux emportent les voitures et d'autres objets. De gros rochers provenant du fond de la mer sont rejetés à terre	Bon nombre de bâtiments en maçonnerie subissent des dégâts de niveau 5. Quelques bâtiments en béton armé subissent des dégâts de niveau 4, et beaucoup subissent des dégâts de niveau 3
<b>XII</b>	Devastation totale (32 m)			Presque tous les bâtiments en maçonnerie sont détruits. La plupart des bâtiments en béton armé subissent des dégâts au moins de niveau 3

Tableau A2 : Echelle Papadopoulos - Imamura.

$m$	Effets
-1	Tsunami mineur
0	La vague la plus haute atteint 1 m ; pas de grands préjudices en théorie
1	La vague la plus haute atteint 2 m ; dégâts aux maisons et aux navires
2	La vague la plus haute atteint 4 à 6 m ; destruction de navires, pertes humaines
3	Les vagues les plus hautes atteignent de 10 à 20 m ; destruction des côtes sur une largeur de 200 m
4	Les vagues les plus hautes atteignent plus de 30 m ; destruction des côtes sur une largeur de plus de 500 m

1030

Y. OKADA

TABLE 6

INTERNAL DISPLACEMENT FIELD DUE TO A FINITE RECTANGULAR SOURCE IN A HALF-SPACE.

SEE TEXT AS TO THE MEANING OF THE TOP, MIDDLE, AND BOTTOM EQUATIONS

IN EACH COMPARTMENT.




Displacement due to a Finite Fault at $(0,0,-a; \delta, L, W, U)$			
$\begin{cases} u_x(x,y,z) = U/2\pi [u_1^d - \bar{u}_1^d + u_2^d + z u_3^d] \\ u_y(x,y,z) = U/2\pi [(u_1^d - \bar{u}_1^d + u_2^d + z u_3^d) \cos \delta - (u_1^d - \bar{u}_1^d + u_2^d + z u_3^d) \sin \delta] \\ u_z(x,y,z) = U/2\pi [(u_1^d - \bar{u}_1^d + u_2^d + z u_3^d) \sin \delta + (u_1^d - \bar{u}_1^d + u_2^d + z u_3^d) \cos \delta] \end{cases}$		$\begin{aligned} d &= a - z & R^2 &= \xi^2 + \eta^2 + d^2 \\ p &= y \cos \delta + d \sin \delta & \bar{y} &= \eta \cos \delta + d \sin \delta \\ q &= y \sin \delta - d \cos \delta & \bar{d} &= \eta \sin \delta - d \cos \delta \\ \alpha &= (\lambda + \mu)/(\lambda + 2\mu) & \bar{z} &= \bar{d} + z \end{aligned}$	
$u_1^d = f^A(\xi, \eta, z) \Big _{\xi=\alpha}^{\xi=\alpha-\bar{z}} \Big _{\eta=\eta}^{\eta=\eta-\bar{z}} \quad u_2^d = f^B(\xi, \eta, -z) \Big  \quad u_3^d = f^D(\xi, \eta, z) \Big  \quad u_4^d = f^C(\xi, \eta, z) \Big $			
Type	$f^A$	$f^B$	$f^C$
Strike	$\frac{\Theta}{2} + \frac{\alpha}{2} \xi \eta Y_{11}$	$-\xi \eta Y_{11} - \Theta$	$(1-\alpha) \xi Y_{11} \cos \delta - \alpha \xi \eta Y_{22}$
	$\frac{1-\alpha}{2} \ln(R+d) - \frac{\alpha}{2} \eta^2 Y_{11}$	$-\frac{\eta}{R} + \frac{1-\alpha}{\alpha} \frac{\bar{y}}{R+d} \sin \delta$	$(1-\alpha) \left[ \frac{\cos \delta}{R} + 2\eta Y_{11} \sin \delta \right] - \alpha \frac{\bar{y}}{R^2}$
Diap	$\frac{\alpha}{2} \frac{\eta}{R}$	$-\frac{\eta}{R}$	$(1-\alpha) \frac{\cos \delta}{R} - \eta Y_{11} \sin \delta - \alpha \frac{\bar{y}}{R^2}$
	$\frac{\Theta}{2} + \frac{\alpha}{2} \eta \bar{y} X_{11}$	$-\eta \bar{y} X_{11} - \Theta$	$(1-\alpha) \bar{y} X_{11} - \alpha \bar{z} \eta \bar{y} X_{22}$
	$\frac{1-\alpha}{2} \ln(R+\bar{\xi}) - \frac{\alpha}{2} \eta^2 X_{11}$	$+\frac{1-\alpha}{\alpha} \frac{\bar{\xi}}{R+d} \sin \delta \cos \delta$	$-\bar{z} X_{11} - \xi Y_{11} \sin \delta - \alpha \bar{z} [X_{11} - \eta^2 X_{22}]$
Tensile	$-\frac{1-\alpha}{2} \ln(R+\eta) - \frac{\alpha}{2} \eta^2 Y_{11}$	$\eta^2 Y_{11}$	$-(1-\alpha) \left[ \frac{\sin \delta}{R} + \eta Y_{11} \cos \delta \right] - \alpha [\bar{z} Y_{11} - \eta^2 X_{22}]$
	$-\frac{1-\alpha}{2} \ln(R+\bar{\xi}) - \frac{\alpha}{2} \eta^2 X_{11}$	$+\frac{1-\alpha}{\alpha} \frac{\bar{\xi}}{R+d} \sin^2 \delta$	$(1-\alpha) [\bar{y} X_{11} + \xi Y_{11} \cos \delta] - \alpha \bar{z} [\bar{y} X_{11} + \xi X_{22}]$
	$\frac{\Theta}{2} - \frac{\alpha}{2} \eta (\bar{y} X_{11} + \xi Y_{11})$	$\eta (\bar{y} X_{11} + \xi Y_{11}) - \Theta$	$(1-\alpha) [\bar{y} X_{11} + \xi Y_{11} \cos \delta] + \alpha \eta [\bar{y} X_{11} + \xi X_{22}]$
$\Theta = \tan^{-1} \frac{\xi \eta}{\eta R}$			
$X^2 = \xi^2 + \eta^2$			
$\begin{aligned} I_1 &= -\frac{\xi}{R+d} \cos \delta - I_4 \sin \delta & I_2 &= \ln(R+\bar{d}) + I_3 \sin \delta \\ I_3 &= \frac{1}{\cos \delta} \frac{\bar{y}}{R+d} - \frac{1}{\cos \delta} \left[ \ln(R+\eta) - \sin \delta \ln(R+\bar{d}) \right] & (I_3 &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\eta}{R+d} + \frac{\bar{y}}{(R+\bar{d})^2} \ln(R+\eta) \right] \text{ if } \cos \delta = 0) \\ I_4 &= \frac{\sin \delta}{\cos \delta} \frac{\xi}{R+d} + \frac{2}{\cos \delta} \tan^{-1} \frac{\eta(X+\eta \cos \delta) + X(R+X) \sin \delta}{\xi(R+X) \cos \delta} & (I_4 &= \frac{1}{2} \frac{\xi \bar{y}}{(R+\bar{d})^2} \text{ if } \cos \delta = 0) \end{aligned}$			

Tableau A3 : Echelle Imamura – Iida. La magnitude  $m$  du tsunami est donnée par  $Hm=2\exp(m)$ , avec  $Hm$  la hauteur maximale du tsunami à la côte.



L'échelle des intensités de Soloviev-Imamura (Soloviev, 1972) a été établie sur la base de la hauteur moyenne des vagues  $H$  à l'aide de l'équation :

$$I = \frac{1}{2} + \log_2 H \quad (2)$$

D'autres propositions mettent en jeu soit la distance à la source, comme pour les séismes (Abe, 1979; Hatori, 1986), soit l'énergie du tsunami (Murty et Loomis, 1980). Dans ce cas la Magnitude s'écrit :

$$ML = 2(\log E - 19) \quad (3)$$

Où  $E$  est l'énergie potentielle du tsunami en ergs.

### 2.3. Disciplines impliquées

Bien que l'océanographie physique soit la principale discipline impliquée, la compréhension du phénomène dans son intégralité doit faire appel à plusieurs autres disciplines :

- les recherches historiques des textes anciens mentionnant les récits sur les grandes inondations passées;
- la sédimentologie, qui permet d'étudier les effets des tsunamis récents et passés sur les côtes;
- l'océanographie géologique pour la cartographie des structures actives et de la topographie des fonds marins;
- la tectonique et la cinématique des plaques, pour étudier les mouvements des plaques et estimer leurs vitesses relatives;
- la sismologie, pour estimer le risque de séisme tsunamigène;
- le génie côtier et la gestion du territoire pour délimiter les zones à risques d'inondation.

## 3. Physique des tsunamis

En raison du fait que 75% des tsunamis soient liés aux séismes, il sera question ici surtout de cette catégorie ; ceux engendrés par les glissements sur les flancs des îles volcaniques comme les Canaries, Madère ou les Açores seront également traités mais plus brièvement.

### 3.1. Paramètres à la source sismique

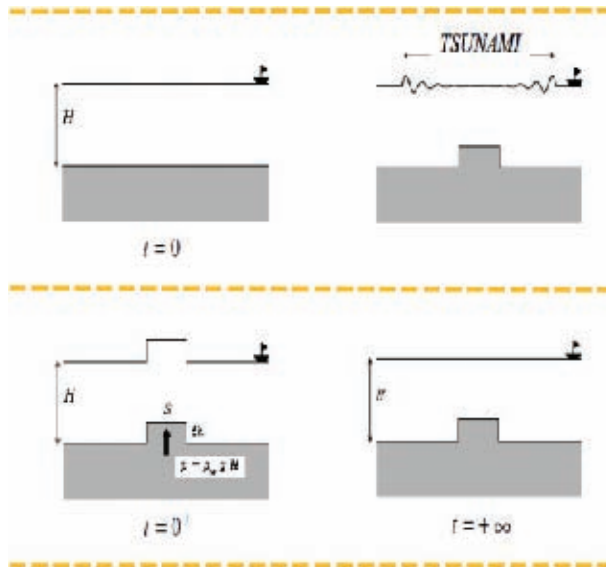
Les paramètres à la source sismique qui influent sur le déclenchement des vagues de tsunami sont l'orientation, la superficie et la valeur du déplacement de la faille, qui déterminent l'énergie du séisme. Celle-ci peut être exprimée par le moment sismique :

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot \Delta u \quad (4)$$

Où  $A$  est l'aire de la rupture le long de la faille,  $\Delta u$ , la valeur de déplacement le long de la faille et  $\mu$  la rigidité du milieu.

### 3.2. Excitation des vagues

Le déclenchement des vagues de tsunami se produit suite aux déplacements de la masse d'eau situé à la verticale de la région déformée par le jeu de la faille ou waterberg (**Fig. 3**). En réalité, le mouvement plutôt vertical des vagues initiales peut être très violent comme décrit par les marins, au point que certains auteurs utilisent le terme «tremblement de mer» (Sequake).



**Figure 3.** Schéma simple d'initiation d'un train de vagues d'un tsunami.

$H$  = profondeur,  $S$  = superficie de la zone déplacée,  $\delta h$  = hauteur de déplacement du soubassement,  $\rho_w$  = masse volumique de l'eau,  $p$  = pression,  $g$  = accélération de la pesanteur.

L'énergie cinétique de la masse d'eau mise en mouvement ( $E_k$ ) peut s'exprimer par :

$$E_k = \frac{\rho L \lambda d h^2}{2 \tau^2} \quad (5)$$

Où  $\rho$  est la masse volumique,  $L \times \lambda$  est la surface affectée,  $d$  est la hauteur de la colonne d'eau ( $L \times \lambda^{1/2} \gg d$ ),  $h$  est la quantité de déplacement à vitesse constante et  $\tau$  est l'intervalle de temps durant lequel la masse est mise en déplacement.

Le mouvement de la masse d'eau provoque une perturbation avec une énergie potentielle  $E_p$  qui s'exprime par :

$$E_p = \frac{\rho \lambda L g h^2}{2} \quad (6)$$

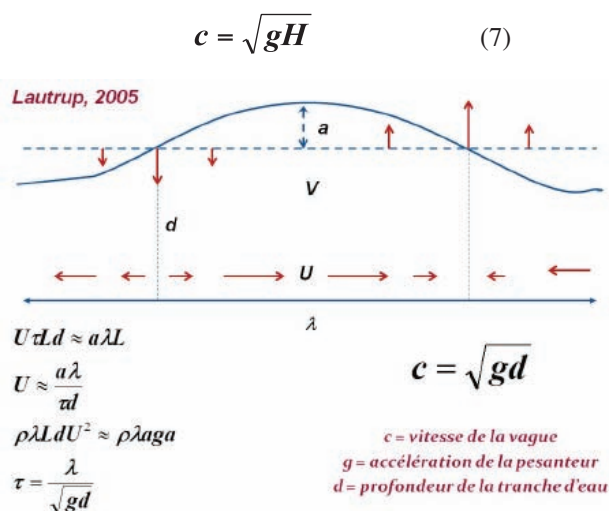
La relation entre les deux mouvements, faille et vagues générées, a été étudiée et souvent modélisée en assumant que la déformation de la surface libre de la mer est égale à la

déformation sismique du fond marin. Cette hypothèse est basée sur le fait de considérer que la colonne d'eau est un fluide incompressible et que la rupture sismique est instantanée. Les perturbations initiales de la surface de la mer induites par celles du fond obéissent à des équations complexes mettant en jeu de nombreux paramètres qu'il n'est pas possible de développer ici. Pour les détails, le lecteur peut consulter Levin et Nosov (2009, Chapitre 2). Les modélisateurs de tsunami utilisent la théorie de la dislocation du demi-espace homogène et élastique (Okada, 1985) qui établit la relation entre les paramètres de la faille sismique et la déformation du fond de la mer. Ainsi, la déformation du fond marin est modélisée utilisant les équations d'Okada (1985), elle est par la suite transférée à la surface de la mer induisant la génération du tsunami.

### 3.3. Propagation des ondes dans l'océan profond

Après qu'un tsunami ait été généré, sa propagation commence lorsque la masse d'eau perturbée, qui agit sous l'influence du champ gravitationnel, retrouve son équilibre. Les vagues générées par le tsunami sont caractérisées par une très longue longueur d'onde qui peut atteindre des centaines de kilomètres et par un comportement différent dans l'océan profond et dans l'eau peu profonde. Dans l'océan profond, les vagues du tsunami se propagent avec des vitesses rapides et des amplitudes relativement faibles (des dizaines de centimètres à quelques mètres), qui les rendent difficiles à distinguer.

En admettant la condition que l'amplitude de la vague de tsunami ( $A$ ) est très inférieure à la profondeur de la tranche d'eau ( $H$ ), et que la profondeur est très inférieure à la longueur d'onde de la vague ( $A \ll H \ll \lambda$ ), il est possible de considérer les vagues de tsunami comme des vagues longues (non affectées par la dispersion) et linéaires. Dans ce cas la vitesse de propagation des vagues sur un fond parfaitement lisse peut s'écrire (Fig. 4) :



**Figure 4.** Schéma et équations simples de propagation des vagues de tsunami en eau profonde (d'après Lautrup, 2005).  $d$  = profondeur,  $\lambda$  = longueur d'onde de la vague,  $a$  = amplitude de la vague ;  $\rho$  = masse volumique de l'eau,  $g$  = accélération de la pesanteur,  $\tau$  = période de la vague,  $L$  = longueur de la vague (perpendiculairement au plan de la figure),  $U$  et  $V$  = vitesse horizontale et verticale de la masse d'eau respectivement,  $c$  = vitesse de la vague de tsunami.

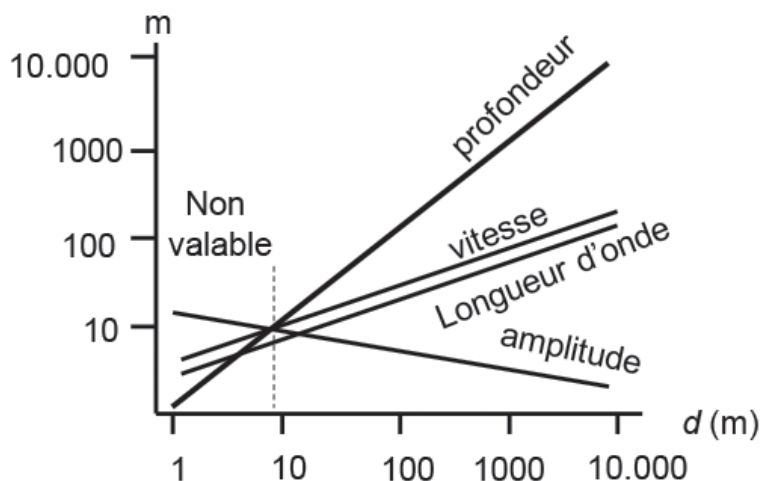
Où  $g$  est l'accélération de la gravité. Dans le cas d'aspérités du fond (monts et volcans sous-marins par exemple), la relation devient plus complexe. L'amplitude des vagues peut diminuer par dissipation dans le cas de longues distances. L'énergie contenue dans une vague harmonique simple s'écrit comme dans le cas de l'équation (5).

Pendant les dernières décades, l'amélioration des logiciels a permis de développer des programmes pour la modélisation de la propagation des vagues de tsunami. Parmi ces programmes, on peut citer TUNAMI-N2 (Goto et al., 1997), COMCOT (Liu et al., 1998), MOST (Titov et al., 2003) et Kowalik Z. (Kowalik et al., 2005). COMCOT est le code souvent utilisé pour la simulation de l'inondation au tsunami dans certaines villes au Maroc (Omira et al., 2010 ; Omira et al., 2013).

### 3.4. Caractéristiques des vagues à leur arrivée à la région côtière

Près de la côte, la conservation de l'énergie fait que l'amplitude des vagues augmente considérablement et leur vitesse ainsi que leur longueur d'onde diminue (Fig. 5). En simplifiant, l'augmentation de l'amplitude obéit à la loi de Green et peut s'écrire (Lautrup, 2005) :

$$a \approx \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \approx d^{-1/4} \quad (8)$$



**Figure 5.** Variation des paramètres des vagues de tsunami en fonction de la diminution de la profondeur (d'après Lautrup, 2005).

En fait, la hauteur et la distance d'inondation (*run-up* et *run-in* respectivement) dépendent aussi de la morphologie de la côte notamment de la pente, des obstacles, de réfraction sur les falaises etc. (Synolakis, 1991; Van Groesen et al., 2008).

# 4. Preuves des tsunamis anciens au Maroc

## 4.1. Données historiques

L'analyse des récits historiques rapportés par de nombreux témoignages d'historiens, navigateurs, commerçants et missionnaires ont permis de dresser des catalogues de tsunamis historiques pour le Maroc et les régions voisines. En particulier, le tsunami de 1775 a fait l'objet de plusieurs recherches historiques par Elmrabet (2005), Kaabouben et al. (2009) et Blanc (2009, 2011). Les catalogues les plus récents incluant les côtes marocaines sont ceux de Campos (1991), Elmrabet (2005), Kaabouben et al. (2009), Baptista & Miranda. (2009) et Maramai et al. (2014). Les événements répertoriés, y compris ceux ayant eu lieu aux Açores à cause de la possibilité d'atteindre les côtes marocaines, sont indiqués dans le **Tableau 1**.

Date	Heure	Qualité	Type de source	Région	Localisation		Intensité Sieberg-Ambraseys	K Imamura-Papadopoulos	Run-up (m)	Réf
					Lat (°)	Long (°)				
218 BC		M-2	E	SWIT			2			M
60 BC	N	B-3	E	SWIT	36,00	-10,70	4	VII	-	B, M
382	N	B-3 K-2	E	SWIT	36,00	-9,50	4	VI		B, K
22 mai 881	N	K-4		WM						K
10 jun 881		M-3		SWIT			2			M
22 sept 1522	10:00:00	K-4	E (M=6,5)	WM	36,97	-2,66				K
	08:00:00	M-3	E	WM			3			M
26 jan 1531	04:30:00	B-4	E	TE	38,90	-9,00	4	VII		B, M
24 mai 1614		M-3	EL	AZ			3			M
21 déc 1641	12:00:00	M-3	E	AZ			5			M
1676		M-1	?	AZ			3			M
9 oct 1680	07:00:00	K-4	E (M=6,8)	WM	36,80	-4,60	3 (M)		25 Malaga	K, M
5 mai 1706		M-3	VO	AT (CAN)			4			M
27 déc 1722	17:30:00	B-4	E	SWIT	37,02	-7,48	3	VI		B, M
4 jun 1725	18:00:00	M-2	?	WM			3			M
1733				WM						K
26 dec 1746	-	B-0	?	?						B
28 avr 1752	-	B-0		?						B
1 nov 1755	09:40:00	B-4	E (M=8,7)	SWIT	36,70	-9,80	6	XI	>10	B, K, M
2 nov 1755		B-0		?						B
16 nov 1755	15:30:00	B-2	E	SWIT	43,40	-11,00	2	III		B, M
21 déc 1755		B-0		?						B
31 jan 1756		B-0		?						B
29 mars 1756	-	B-2	E	TE	38,70	-9,20	2	III		B, M
9 jul 1757		M-3	E	AZ			3			M
31 mars 1761	12:01:00	B-4	E (M=8,5)	GFD	34,50	-13,00	3	VI	2,4	B, K, M
6 mai 1773	10:00:00	M-3	E	WM			3			M
9 oct 1790	01:15:00	K-1, M-3	E (M=6,7)	WM	35,70	-00,60	3			M
2 jun 1800	20:17:00	M-2	E	AZ			3			M
13 jan 1804	17:45:00	M-4	E	WM			2			M
4 juil 1809		B-0		?						B
21 août 1856	21:30:00	K-0, M-4	E	WM	36,83	+5,72	3 (M)			K, M
22 août 1856	11:40:00	M-4	E	WM			3			M
29 jan 1885	07:30:00	M-1	E	WM			2			M
15 jan 1891	04:00:00	M-4	E	WM			4			M
3 fev 1899		M-0		AZ			4			M

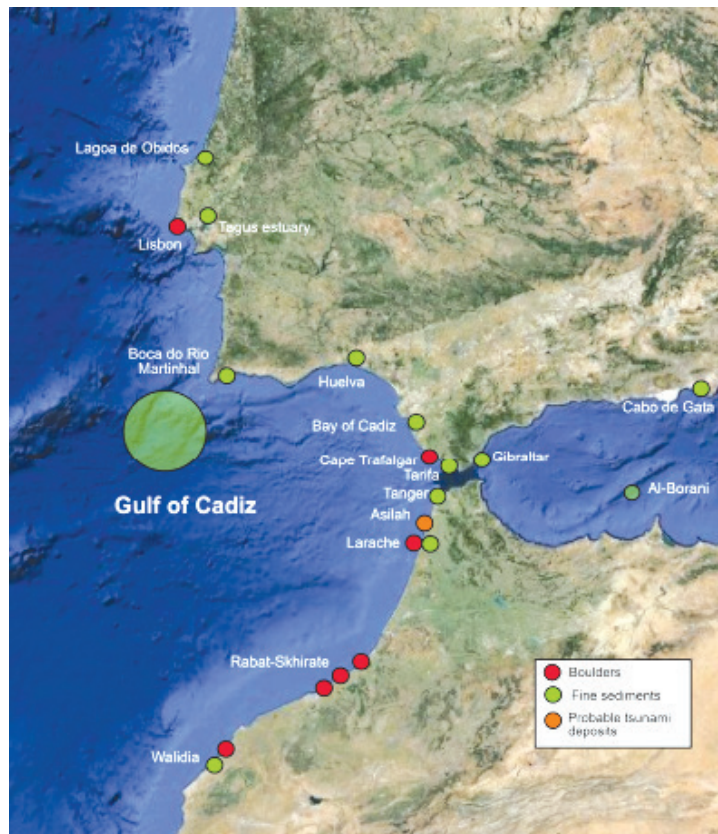
Date	Heure	Qualité	Type de source	Région	Localisation			Intensité Sieberg-Ambraseys	K Imamura-Papadopoulos	Run-up (m)	Amplitude Max (m)	Réf
					Lat	Long	H					
18 déc 1926	14:45:00	B-4	ES	TE	38,70	-9,20	-	2	III	-		B
18 nov 1929	20:32:00	B-4	ES	GB	44,50	-56,30		1	II		0,9 Leixoes	B, M
4 mar 1930	18:03:00	B-4	GL	MAD	32,65	-16,97		4	VIII	>5		B, M
8 mai 1939	01:46:00	M-4	E	AZ				1				M
25 nov 1941	18:04:00	B-4	E (M=8,2)	GFD	37,42	-19,01	25	1	II	-	0,10 Lagos	B, M
9 sep 1954	01:04:00	M-4	ES	WM				1				M
28 fév 1969	02:40:32	B-4	E (M=7,9)	SWIT	36,01	-10,57	22	2	III		0,30	B, M
17 jul 1969	05:00:00	B-4						1	II		0,13 Lagos	B, M
26 mai 1975	09:11:51	B-4	E (M=7,9)	GFD	35,90	-17,50	15	1	II		0,30 Lagos	B, M
14 août 1978	14:17:00	M-4	E	SWIT				1				M
1 jan 1980	16:42:00	M-4	E	AZ				1				M
10 oct 1980	12:00:00	K-0, M-4	E (M=5,8)	WM	36,28	+1,68		1				K
21 mai 2003	18:44:00	K-0	E (M=7)	WM	36,80	+03,08		3				K

**Tableau 1.** Liste des tsunamis ayant affecté le Maroc ou supposés avoir atteint les côtes marocaines (Références : B = Baptista & Miranda, 2009; K = Kaabouben et al., 2009;

M = Maramai et al., 2014, ). Causes : ER = séisme sous-marin, EA = séisme à terre, EL = séisme accompagné d'un glissement de terrain, ES = séisme accompagné d'un glissement sous-marin, VO = éruption volcanique sous-marine, VA = éruption proche de la côte, VL = glissement sur les flancs du volcan, VS = glissement sous-marin sur les flancs du volcan, GL = glissement gravitaire, GS = glissement gravitaire sous-marin, GA = avalanche de neige), UN = cause inconnue.

## 4.2. Observations géologiques et géomorphologiques

Les observations géologiques et géomorphologiques menées depuis la moitié des années 1990 autour du Golfe de Cadix montrent des sédiments particuliers (**Fig. 6**), comme des méga-blocs (boulders) déplacés le long de plateformes rocheuses (Scheffers & Kelletat, 2005; Whelan & Kelletat, 2005; Mhammdi et al., 2008; Medina et al., 2011), des niveaux minces de sables marins souvent coquilliers incrustés dans des sédiments de marais (Dawson et al. 1995, Luque et al. 2001; Scheffers and Kelletat 2005; Kortekaas and Dawson 2007; Morales et al. 2008, 2011; Font et al. 2010, 2013; Rodriguez-Vidal et al. 2011; Costa et al. 2012; Cuven et al. 2013) et des dépôts turbiditiques dans les parties profondes du Golfe (Gràcia et al., 2010). Ces sédiments ont été interprétés comme liés à des tsunamis, bien qu'une origine liée aux tempêtes ne soit pas exclue du moins en partie. Dans les sections suivantes, nous décrivons deux exemples de dépôts de méga-blocs et de sables observés dans les régions de Rabat et de Larache respectivement.



**Figure 6.** Sédiments liés aux tsunamis autour du Golfe de Cadix (références dans le texte).

#### **4.2.1. Exemples de blocs déplacés : région de Rabat**

Dans la région côtière de Rabat, Gigout (1957) avait déjà observé des blocs isolés et a interprété leur déplacement et leur renversement comme dus aux tempêtes. En 2006 et 2007, suite au grand tsunami du 26 décembre 2004 et au séisme du 12 février 2007, des observations renouvelées de ces blocs et la comparaison avec les données publiées sur l'Ibérie, ont permis d'attribuer leur mise en place au tsunami de 1755 (Mhammdi et al., 2008 ; Medina et al., 2011).

Plusieurs types d'arrangement de ces blocs ont été observés (**Fig. 7**) :

- en blocs solitaires parfois fracturés, souvent retournés;
- en trains de blocs imbriqués indiquant la direction de propagation de la vague du tsunami;
- en amas chaotiques témoignant d'une forte énergie couplée à des conditions locales (présence de matériel sédimentaire, absence de barrière qui casse la vague...);
- sous forme de ride de blocs alignés.





**Figure 7.** Exemples de déplacements de blocs le long de la côte de Rabat.

A, Bloc isolé de quelques 35 t déplacé de 300 m; B, Exemple de mégaclaste fracturé sur place lors du dépôt; C, Mégaclastes en amas chaotique témoignant d'une forte énergie couplée à des conditions locales; D, Un train de mégaclastes montrant l'imbrication de 7 blocs qui indique la direction de la vague de Tsunami; E, Blocs agencés en ride (boulder ridge); F, Bloc transporté et renversé (noter les lapiez retournés vers le bas et la surface lisse).

Les paramètres morphométriques des blocs (axes a, b, c) permettent d'estimer la hauteur de vagues nécessaire pour les déplacer à l'aide des équations de Nott (2003) corrigées (par ex. Nandasena et al., 2011).

$$H_s \geq 2 \frac{(\rho_s - \rho_w) / \rho_w}{Cl} c (\cos \theta + \mu \sin \theta)$$

$$H_T \geq 0.5 \frac{(\rho_s - \rho_w) / \rho_w}{Cl} c (\cos \theta + \mu \sin \theta)$$

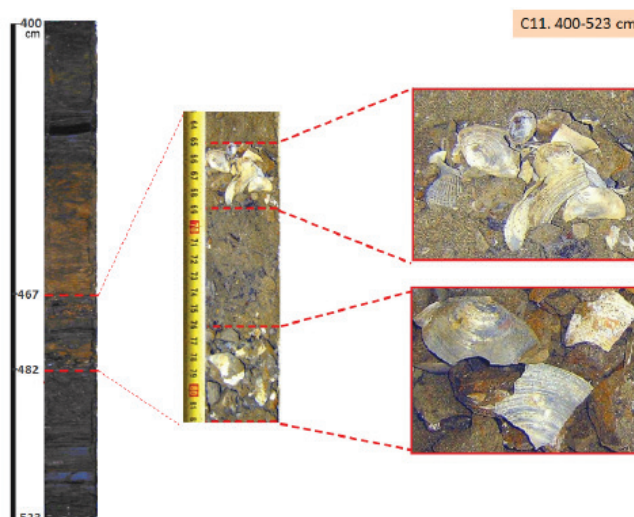
En prenant les axes c les plus longs par site et en supposant une surface plane, la hauteur des vagues de tsunami sont de 7 m au Val d'Or (Rabat), ~6 m à Harhoura (Rabat), 11 m à Yacoub El Mansour (Rabat) et 4,5 m à Larache (Medina et al., 2011).

#### 4.2.2. Exemples de sédiments fins : région de Larache

Les dépôts de tsunami observés sur le forage Carla-11 (**Fig. 8**) situé à 6 km de l'embouchure sur carte (14 km en amont), se caractérisent par un dépôt sableux marin fin (15 cm) avec des coquilles, intercalé dans des sédiments fins de marécage ou de plaine alluviale; ce niveau, formé de 3 sous-unités, montre les caractéristiques suivantes :

- une variation brutale de faciès signalant une rupture dans les modes de sédimentation; on passe de la décantation de particules fines à un dépôt en vrac de sédiments grossiers;
- l'importance des débris coquilliers et la juxtaposition de faunes issues de biotopes très différents; un mélange de faunes autochtones et allochtones, provenant des étages circalittoral et infralittoral et marin, traduit une perturbation profonde de l'écosystème littoral;
- l'inaccessibilité chronologique : les dépôts de tsunami sont très difficiles à dater directement au radiocarbone car ils se composent de stocks coquilliers fossiles remobilisés;
- l'étude par exoscopie des quartzs montre que les quartzs présentent des traces fraîches de chocs de très haute énergie comme des macrocupules et des figures d'écrasement;
- une proportion non négligeable des grains (30%) présente en outre des fissures ou des cassures fraîches; celles-ci, acquises récemment, sont dues à la collision des grains dans un écoulement turbulent durant leur transport;
- les foraminifères présentent des traces de fractures traduisant la violence de la vague.

L'âge de ces dépôts est indirectement estimé entre 5000 et 3000 ans selon les datations effectuées par Carmona & Ruiz (2009) à proximité.



**Figure 8.** Sédiments liés aux tsunamis dans la carotte Carla-11 à 6 km de l'embouchure de l'Oued Loukkos. Niveau de 15 cm montrant des sables et coquilles plus ou moins bien conservées intercalées dans des sédiments de vase de marécages (d'après Mhammdi et al., 2015).

### 4.3. Enregistrements par les marégraphes

L'installation de marégraphes dans certains ports marocains au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle a permis d'enregistrer des tsunamis d'amplitude modeste liés aux plus grands séismes ayant eu lieu dans le Golfe de Cadix et plus à l'ouest. Parmi ces enregistrements, on peut citer celui du tsunami lié au séisme du 25 novembre 1941 (magnitude  $M=8$ ), dont l'amplitude a atteint 45 cm à Casablanca (Debrach, 1946). La **figure 9** montre cet enregistrement.

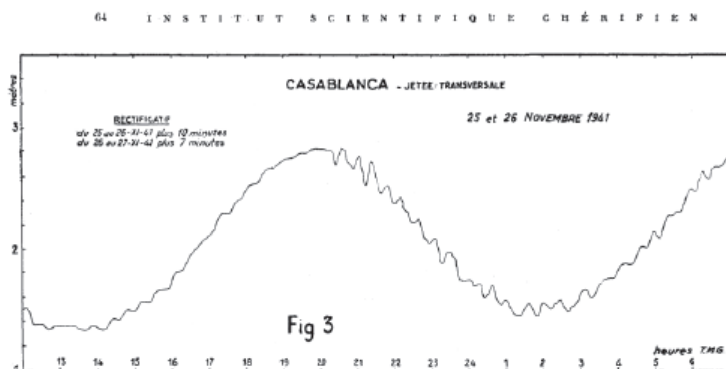


Fig. 3. — Raz de marée du 25 novembre 1941. Casablanca, jettée transversale

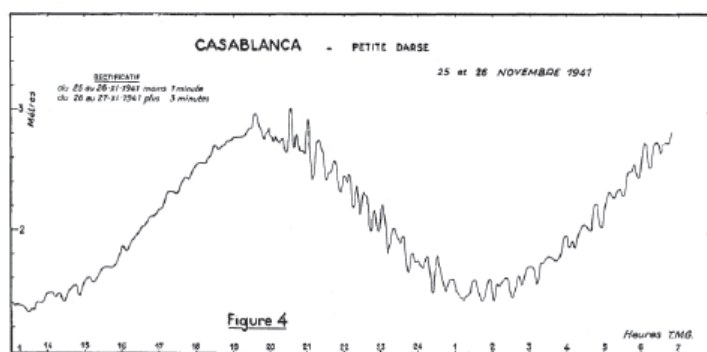


Fig. 4. — Raz de marée du 25 novembre 1941. Casablanca, petite darse

**Figure 9.** Enregistrement du tsunami de faible ampleur lié au séisme du 25 novembre 1941 par le marégraphe de Casablanca (Debrach, 1946).

## 5. Risque

### 5.1. Premières études du risque de tsunami au Maroc

La première étude sur le risque de tsunami au Maroc, publiée par El Alami & Tinti (1991), est basée sur la probabilité de récurrence des plus grands séismes susceptibles de provoquer des tsunamis en Alboran et en Atlantique. Leurs résultats indiquent qu'en Alboran la période de retour serait de 71 années pour les séismes de magnitude  $M \geq 6$  à 269 années pour ceux de magnitude  $M \geq 6,6$ . En Atlantique, elle serait de 9,5 années à 25 années.

La première modélisation de l'évolution d'un tsunami atlantique est due à Heinrich et al. (1994), qui ont pris comme séisme-type celui du 28 février 1969 et pour sources : faille au sud de Gorringe Bank; N55°; 52°NW, avec  $L=80$  km;  $W=50$  km;  $u=4$  m. Leur modélisation est basée sur les formules d'Okada (1985), le modèle de propagation adaptant SWAN (Mader, 1988) et le modèle Nasa-Vof3 (Torrey et al., 1987) adapté.

La première modélisation à haute résolution de l'impact et de la vulnérabilité aux tsunamis pour les côtes marocaines a été réalisée par Omira et al. (2010). Dans cette étude, les auteurs ont estimé l'inondation à Casablanca et calculé la vulnérabilité des structures côtières face à un tsunami similaire à celui de Lisbonne de 1755.

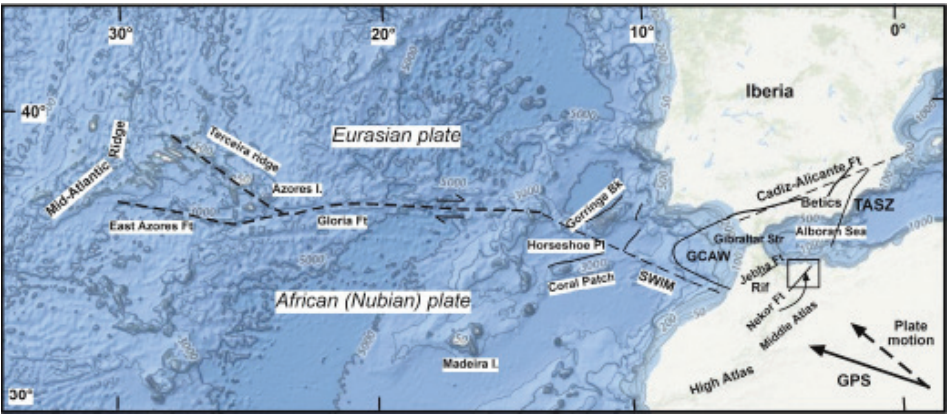
## 5.2. Détermination des sources potentielles des tsunamis pour le Maroc

Les sources potentielles pour la génération de tsunamis au Maroc peuvent être d'origine volcanique (et volcano-gravitaire) ou tectonique (ou tectono-gravitaire).

Concernant les tsunamis d'origine volcanique ou volcano-gravitaire, le **Tableau 1** retrace les événements historiques et plus récents qui ont eu lieu dans l'Atlantique. L'événement le plus remarquable est un tsunami d'intensité 4 sur l'échelle Sieberg-Ambraseys et VIII sur celle d'Imamura-Papadopoulos enregistré à l'île de Madère le 4 mars 1930 (Baptista et Miranda, 2009; Maramai et al., 2014). Cependant, le risque le plus important -et le plus médiatisé- reste celui de l'effondrement de la caldera de la Cumbre Vieja située dans l'île de La Palma aux Canaries (Ward & Day, 2001; Carracedo et al. 2001). Le détachement d'un panneau du flanc de ce volcan (3456 km<sup>2</sup>; 500 km<sup>3</sup>) provoquerait un méga-tsunami avec des vagues de 50-100 m qui inonderaient la côte atlantique marocaine située face aux Canaries. Une autre source possible serait due à l'activité volcanique récente de l'île de Hierro qui après une crise sismique déclenchée en juillet 2011 s'est terminée par une éruption sous-marine le 10 octobre de la même année (Carracedo et al., 2012).

Les glissements de terrain sont également source potentielle de tsunamis comme récemment montré par Gràcia et al. (2010) dans le Golfe de Cadix et par Macias et al. (2015) en Méditerranée.

Les tsunamis d'origine tectonique, beaucoup plus fréquents, sont liés aux failles qui jalonnent la limite des plaques Nubie-Eurasie le long de la Zone de Failles Azores-Gibraltar (par ex. Serpelloni et al. 2007; Bufo et Udias, 2010; **Fig. 10**). Le rapprochement entre ces plaques s'effectue dans le Golfe de Cadix selon une direction WNW-ESE avec une vitesse de 5 mm.an<sup>-1</sup>. La partie orientale de la ZFAG comporte plusieurs failles recoupant la surface dont le jeu peut générer des tsunamis. En particulier ce sont les failles qui délimitent le Gorringe Bank, la Plaine du Fer à Cheval (Horseshoe plain), le Banc de Guadalquivir et le GCTW (Zitellini et al. 2004; Omira et al., 2009). Les paramètres de ces failles sont indiqués dans le **Tableau 2**. En Méditerranée, les tsunamis inventoriés sont plutôt liés aux failles bordant au Sud le bassin algéro-provençal, mais certaines structures sont potentiellement tsunamigéniques comme les failles bordant la ride d'Alboran ou la zone de failles Yusuf-Habibas (Ammar et al., 2007). D'ailleurs, une étude récente vient de mettre en évidence des dépôts attribués à des tsunamis provoqués par des glissements sur la bordure sud de la ride d'Alboran (Macias et al., 2015).



**Figure 10.** Cadre tectonique actuel du Maroc et principales failles actives.  
TASZ = Zone de décrochement Trans-Alboran, GCAW = prisme d'accrétion du Golfe de Cadix,  
SWIM = Zone de failles de la marge sud-ouest de l'Ibérie.

Faïlle	L (km)	W (km)	Coord (Lat N ; Long)	Z (km)	Slip (m)	Strike, dip, rake	m (Pa)	Mw
Goringe Bank	127	60	36,665 ; -11.332 ;	5	8,3	233 ; 35 ; 90	3×10 <sup>10</sup>	8.1
Horseshoe	165	70	35,796 ; -9,913	4	10,7	42 ; 35 ; 90		8,3
Marqués de Pombal	129	70	36,574 ; -9.890	4	8	20 ; 35 ; 90		8,1
Portimao Bank	105	55	36,314 ; -8,585	2,5	7,2	266 ; 24 ; 90		8
GCW	168	200	35,407 ; -8,059	5	10	349 ; 05 ; 90		8,6

**Tableau 2.** Paramètres des failles pouvant être source de tsunamis au Maroc.  
L = longueur; W = largeur;  $\mu$ , coefficient de rigidité.

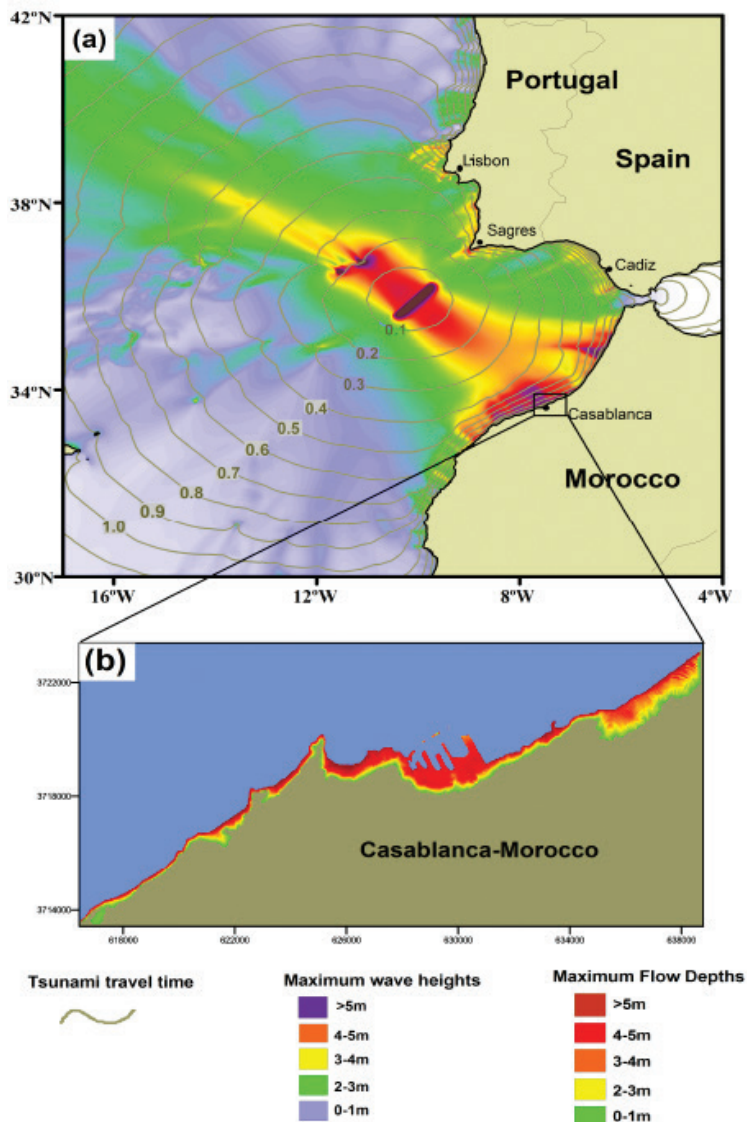
5.3. Exemples de simulation d'inondation

De nombreuses études récentes se sont penchées sur les risques d'inondation de quelques villes telles que Casablanca (Omira, 2010), Rabat-Salé (Atillah et al. 2011), El Jadida (Omira et al., 2013) et même de l'ensemble de la côte atlantique marocaine (Mellas et al., 2012; Mellas, 2012). Nous exposons ci-après les exemples des villes côtières de Casablanca et El-Jadida. La ville de Casablanca est la ville côtière du Maroc la plus peuplée et qui regroupe la plupart des unités industrielles.

Afin d'estimer les dégâts pouvant être occasionnés par un éventuel tsunami, la topographie côtière a été établie à partir des cartes et des MNT et les constructions ont été regroupées en plusieurs classes en fonction de la qualité de leur construction.

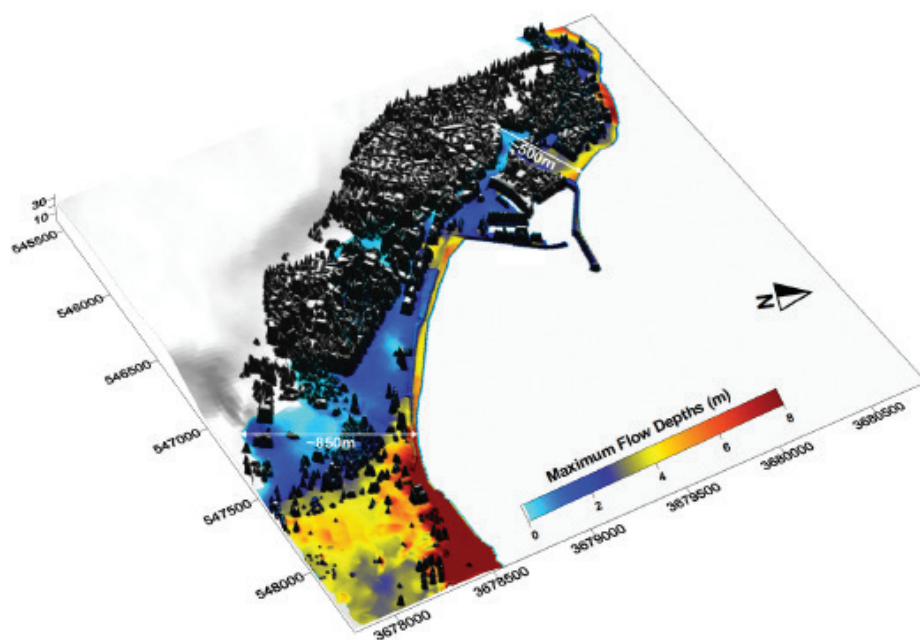
Ensuite, la hauteur des vagues a été estimée en fonction de la source choisie. Les vagues les plus hautes ont été obtenues pour le modèle de propagation à partir de la faille «Horseshoe» pour les deux villes du Maroc : Casablanca et El-Jadida.

Les figures 11 et 12 montrent, respectivement pour Casablanca et El Jadida, les inondations qu'un tsunami similaire à celui de 1755 peut provoquer. La carte (Fig. 13) montre les résultats de vulnérabilité des structures côtières à Casablanca avec les différentes réponses des constructions affectées par les vagues.

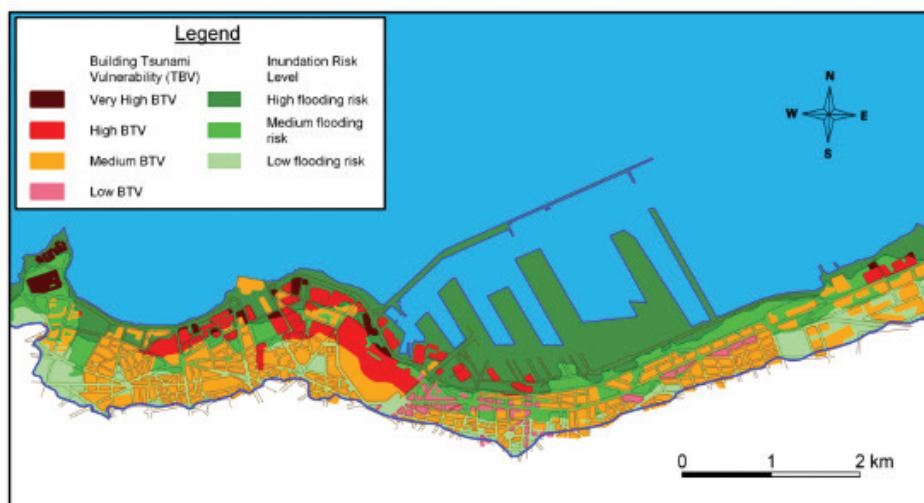


**Figure 11.** a, Hauteur maximum des vagues et temps de déplacement du tsunami pour le scénario de la faille Horseshoe; b, Carte d'inondation pour Casablanca dans le scénario Horseshoe.  
D'après Omira et al. (2010)





**Figure 12.** Simulation d'inondation pour la ville d'El Jadida dans le cas du scénario de la faille Horseshoe (Omira et al., 2013).



**Figure 13.** Carte de vulnérabilité aux tsunamis (scénario Horseshoe Fault) pour Casablanca d'après Omira et al. (2010).



## 6. Systèmes d'alerte régionaux

Parmi les mesures qui ont fait suite au tsunami de 2004, l'une des plus importantes a été la création par la Commission Océanographique Internationale (IOC/UNESCO) d'une structure régionale de suivi et de veille dénommée *North Atlantic and Mediterranean Tsunami Information Centre* (NEAMTIC).

L'Assemblée de l'IOC au cours de sa 23<sup>ème</sup> session (21-30 juin 2005), a formellement établi le ICG/NEAMTWS à travers la résolution IOC-XXIII-14 (IOC, 2006). Les directives pour les activités du NEAMTWS sont compilées dans le plan d'implémentation du NEAMTWS.

Au niveau de chaque pays, les centres nationaux d'alerte aux tsunamis *National Tsunami Warning Centres* (NTWC) sont responsables d'émettre des alertes aux autorités compétentes de l'Etat membre. *Les Tsunami Watch Providers* (TWP) sont les NTWC voulant et pouvant fournir des informations d'alerte en dehors de leur Etat membre à des Points de Prévision (*Forecast Points*).

Le *Tsunami Warning Focal Point* (TWFP) est une personne ou un point de contact officiel ou une adresse désignée par un gouvernement qui peut être contactée en permanence, et disponible au niveau national pour recevoir et émettre des informations sur les événements de tsunami (comme les alertes). Les Watch Recipients sont les TWFP qui ont choisi de recevoir de telles informations.

Sur le plan scientifique, des équipes de recherche internationales ont étudié les sites les plus adaptés à l'installation de capteurs de pression reliés à des bouées équipées d'antennes (système DART) permettant la liaison avec des satellites GOES qui transmettent les informations aux centres (NOAA par exemple). Pour le Golfe de Cadix, l'emplacement idéal a été déterminé en fonction des paramètres suivants : (1) la maximisation de l'avance du temps d'alerte; (2) la couverture optimale de la zone potentielle de génération du tsunami; (3) les conditions les plus favorables d'installation (Omira et al., 2009).

## 7. Conclusions et mesures proposées

La revue des données historiques, instrumentales et géologiques disponibles sur le risque de tsunami au Maroc permettent de conclure que, comme pour les pays voisins, ce risque est réel et que par conséquent des mesures de prévention et de protection des côtes sont nécessaires d'autant plus que les sources les plus dangereuses se trouvent à proximité ce qui ne permet pas un temps de réaction supérieur à une heure. Ceci implique :

- la connaissance du risque qu'encourt une région donnée en fonction de l'aléa et de la vulnérabilité, y compris la délimitation des zones potentiellement exposées au risque et également des endroits les plus vulnérables; pour ce faire, l'étude doit intégrer dans un système SIG de multiples facteurs relatifs à la structure de l'habitat et de l'environnement physique ainsi que des données socio-économiques;

- éviter de nouvelles constructions dans les zones identifiées comme exposées au déferlement des tsunamis pour minimiser les pertes lors de futurs tsunamis; ici, le rôle de l'aménagement du territoire et de son application stricte est de première importance;
- appliquer des normes de construction aux nouveaux bâtiments (résistance au déferlement des vagues, fondations consolidées, etc.) pour minimiser les dommages dus aux tsunamis;
- protéger des tsunamis les constructions et infrastructures existantes dans les zones exposées via des digues ou des murs anti-tsunamis qui, certes, sont des ouvrages très coûteux et peu esthétiques mais qui ont prouvé leur efficacité;
- prendre des précautions spécifiques pour l'installation d'infrastructures nécessaires durant les crises (hôpitaux, pompiers, protection civile, etc.).

Si la désignation des institutions et des personnes chargées de l'alerte est pratiquement achevée, reste le problème de la gestion de l'alerte au niveau des populations et de la transmission rapide de l'information. Ici, deux solutions existent : d'une part, l'évacuation horizontale qui consiste à se retirer à l'intérieur des terres sur un point haut et, d'autre part, l'évacuation verticale qui réside dans le fait de se réfugier aux étages supérieurs des bâtiments. Cette dernière solution est préconisée lorsque le temps d'évacuation horizontale est très court, lorsque la densité de population est élevée et les moyens d'évacuation horizontale (routes, ponts, etc.).

Au niveau de la formation, il est évident qu'il faudrait qu'une place prééminente soit accordée à l'océanographie et au génie côtier par l'instauration de cycles d'ingénieur et de masters spécialisés au sein des écoles d'ingénieurs et des facultés. De même, une formation spécialisée devrait être dispensée aux agents de l'autorité et aux cadres de l'Aménagement du Territoire pour améliorer leurs compétences dans la matière et leur permettre de gérer les risques.

Au niveau recherche, outre le financement de projets sur le sujet, et à l'instar des pays voisins, il serait nécessaire de créer un établissement spécifique de recherches océanographiques (hydrologie, sédiments, géophysique) doté d'un navire et de laboratoires de niveau international avec personnel technique compétent.

## REFERENCES

- Abe, K. (1979). Quantification of tsunamigenic earthquakes by the Mt scale. *Tectonophysics*, 166(1), 27-34.
- Ambraseys, N.N. (1962). Data for the investigation of the seismic sea-waves in the Eastern Mediterranean. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 52(4), 895-913.
- Ammar, A., Mauffret, A., Gorini, C. & Jabour, H. (2007). The tectonic structure of the Alboran margin of Morocco. *Revista de la Sociedad Geologica de España*, 20, 247-271.
- Atillah, A., El Hadani, D., Moudni, H., Lesne, O., Renou, C., Mangin, A. & Rouffi, F. (2011). Tsunami vulnerability and damage assessment in the coastal area of Rabat and Salé, Morocco. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 3397-3414.
- Baptista, M.A. & Miranda, J.M. (2009). Revision of the Portuguese catalog of tsunamis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 25-42.
- Blanc, P.-L. (2009). Earthquakes and tsunami in November 1755 in Morocco: a different reading of contemporaneous documentary sources. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 725-738.
- Blanc, P. L. (2011). The Atlantic tsunami on November 1st, 1755: world range and amplitude according to primary documentary sources. In: Mörner, N.A. (Ed.): *The tsunami threat - Research and technology*, InTech Open Access Publisher, pp. 423-446.
- Bondevik, S., Løvholt, F., Harbitz, C., Mangerud, J., Dawson, A., & Svendsen, J. I. (2005). The Storegga Slide tsunami – comparing field observations with numerical simulations. *Marine and Petroleum Geology*, 22(1), 195-208.
- Bufo, E. & Udias, A. (2010). Azores–Tunisia, a tectonically complex plate boundary. *Advances in Geophysics*, 52, 139-182.
- Campos M.L. (1991). Tsunami hazard on the Spanish coasts of the Iberian Peninsula. *Science of Tsunami Hazards*, 9(1), 83-90.
- Carmona, P. & Ruiz, J.M. (2009). Geomorphological evolution of the river Loukkos estuary around the Phoenician city of Lixus on the Atlantic littoral of Morocco. *Geoarcheology*, 24(6), 821 –845.
- Carracedo, J.C., Rodríguez-Badiola, E., Guillou, H., Nuez, J.D.L., & Pérez Torrado, F.J. (2001). Geology and volcanology of La Palma and El Hierro, Western Canaries. *Estudios Geológicos*, 57, 175-273.
- Carracedo, J.C., Pérez Torrado, F., Rodríguez Gonzalez, A., Soler, V., Fernandez Turiel, J.L., Troll, V.R. & Wiesmaier, S. (2012). The 2011 submarine volcanic eruption in El Hierro (Canary Islands). *Geology Today*, 28(2), 53-58.
- Costa, P.J.M., Leroy, S.A.G., Dinis, J.L., Dawson, A.G. & Kortekaas, S. (2012). Recent high-energy marine events in the sediments of Lagoa de Obidos and Martinhal (Portugal): recognition, age and likely causes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 1367–1380.

Cuven, S., Paris, R., Falvard, S., Miot-Noirault, E., Benbakkar, M., Schneider, J.-L. & Billy, I. (2013). High-resolution analysis of a tsunami deposit: case study from the 1755 Lisbon tsunami in southwestern Spain. *Marine Geology*, 337, 98–111.

Dawson, A.G., Hindson, R., Andrade, C., Freitas, C., Parish, R. & Bateman, M. (1995). Tsunami sedimentation associated with the Lisbon earthquake of 1 November AD 1755: Boca do Rio, Algarve, Portugal. *The Holocene*, 5(2), 209-215.

Debrach, J. (1946). Raz de marée d'origine séismique enregistré sur le littoral atlantique du Maroc. *Annales SPGM*, année 1946, pp. 59-71.

El Alami, S.O. & Tinti, S. (1991). A preliminary evaluation of the tsunami hazards in the Moroccan coasts. *Science of Tsunami Hazards*, 9(1), 31-38.

Elmrabet, T. (2005) The great earthquakes in the Maghreb region and their consequences on man and environment. Imprimerie Beni Snassene, Rabat (en Arabe).

Font, E., Nascimento, C., Omira, R., Baptista, M.A. & Silva, P.F. (2010). Identification of tsunami-induced deposits using numerical modeling and rock magnetism techniques: a study case of the 1755 Lisbon tsunami in Algarve, Portugal. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 182, 187–198.

Font, E., Veiga-Pires, C., Pozo, M., Nave, S., Costas, S., Ruiz Muñoz, F., Abad, M., Simoes, N., Duarte, S. & Rodriguez-Vidal, J. (2013). Benchmarks and sediment source(s) of the 1755 Lisbon tsunami deposit at Boca do Rio Estuary. *Marine Geology*, 343, 1–14.

Fritz, H.M., Mohammed, F., & Yoo, J. (2009). Lituya Bay landslide impact generated mega-tsunami 50th anniversary. *Pure and Applied Geophysics*, 166(1-2), 153-175.

Goto, C., Ogawa, Y., Shuto, N., & Imamura, N. (1997). Numerical method of tsunami simulation with the leap-frog scheme (IUGG/IOC Time Project), IOC Manual, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.

Gràcia, E., Vizcaino, A., Escutia, C., Asoli, A., Rodés, A., Pallàs, A., Garcia-Orellana, J., Lebreiro, S. & Goldfinger, C. (2010). Holocene earthquake record offshore Portugal (SW Iberia): testing turbidite paleoseismology in a slow-convergence margin. *Quaternary Science Reviews*, 29, 1156-1172.

Groesen, E. van, Adytia, D. & Andonowati, X. (2008). Near-coast tsunami waveguiding: phenomenon and simulations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 175-185.

Hatori, T. (1986). Classification of tsunami magnitude scale. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 61, 503-515.

Heinrich, Ph., Baptista, M.A. & Miranda, P. (1994). Numerical simulation of the 1969 tsunami along the Portuguese coast. Preliminary results. *Science of Tsunami Hazards*, 12, 3-23.

Iida, K. (1970). The generation of tsunamis and the focal mechanism of earthquakes. *Tsunamis in the Pacific Ocean*, 3-18.

I.O.C. (International Oceanographic Commission / UNESCO), 2006. Intergovernmental Coordination Group for the Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North Eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas (ICG/NEAMTWS) First Session, Rome, 21-22 November 2005. IOC Reports of Governing and Major Subsidiary Bodies, 2006,

- Kaabouben, F., Baptista, M.F., Iben Brahim, A., El Mouraouah, A. & Toto, A. (2009). On the Moroccan tsunami catalogue. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1227-1236.
- Kortekaas, S. & Dawson, A.G. (2007). Distinguishing tsunami and storm deposits: an example from Martinhal, SW Portugal. *Sedimentary Geology*, 200(3-4), 208–221.
- Kowalik, Z., Knight, W., Logan, T., & Whitmore, P. (2005). Numerical modeling of the global tsunami: Indonesian tsunami of 26 December 2004. *Science of Tsunami Hazards*, 23(1), 40-56.
- Lautrup, B. (2005). *Tsunami Physics*. The Nils Bohr Institute, Copenhagen. <http://www.nbi.dk/~lautrup/continuousmatter1/tidbits/tsunami.english.pdf> (accessed 10 Jun 2015)
- Levin, B. & Nosov, M. (2009). *Physics of tsunamis*. Springer, 327 p.
- Liu, P.L-F., Woo, S.-B., Cho, Y-S (1998) Computer programs for tsunami propagation and inundation. Cornell University, New York.
- Luque, L., Lario, J., Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J. & Silva, P.G. (2001). Tsunami deposits as paleoseismic indicators: examples of the Spanish coast. *Acta Geologica Hispanica*, 3(3-4), 197–211.
- Macías, J., Vázquez, J.T., Fernández-Salas, L.M., González-Vida, J.M., Bárcenas, P., Castro, M.J. & Alonso, B. (2015). The Al-Borani submarine landslide and associated tsunami. A modelling approach. *Marine Geology*, 361, 79-95.
- Mader, C.L. (1988). *Numerical modeling of water waves*. University of California Press, Berkeley, California.
- Maramai, A., Brizuela, B. & Graziani, L. (2014). The Euro-Mediterranean tsunami catalogue. *Annals of Geophysics*, 57(4), 1-26.
- Medina, F., Mhammdi, N., Chiguer, A., Akil, M. & Jaaidi, E.B. (2011). The Rabat and Larache boulder fields; new examples of high-energy deposits related to extreme waves in north-western Morocco. *Natural Hazards*, 59, 725-747.
- Mellas, S. (2012). *Évaluation du risque tsunamique sur le littoral atlantique marocain*. Thèse de Doctorat, Université Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences d'El Jadida.
- Mellas, S., Leone, F., Omira, R., Gherardi, M., Baptista, M.A., Zourarah, B., Péroche, M. & Lagahé, E. (2012). Le risque tsunamique au Maroc : modélisation et évaluation au moyen d'un premier jeu d'indicateurs d'exposition du littoral atlantique. *Physio-Géo*, 6, 119-139.
- Mhammdi, N., Medina, F., Kelletat, D., Ahmamou, M. & Aloussi, L. (2008). Large boulders along the Rabat coast (Morocco); possible emplacement by the November, 1st, 1755 a.d. tsunami. *Science of Tsunami Hazards*, 27(1), 17-30.
- Mhammdi, N., Medina, F., Trentesaux, A., Font, E., Belkhat, Z., & Geawhari, M. A. (2015). Sedimentary evidence of palaeo-tsunami deposits along the Loukkos estuary (Moroccan Atlantic coast). *Science of Tsunami Hazards*, 34(2), 83-100.
- Morales, J.A., Borrego, J., San Miguel, E.G., Lopez-Gonzalez, N. & Carro, B. (2008). Sedimentary record of recent tsunamis in the Huelva Estuary (southwestern Spain). *Quaternary Science Reviews*, 27, 734-746.

Morales, J.A., Gutiérrez Mas, J.M., Borrego, J. & Rodriguez-Ramirez, A. (2011). Sedimentary characteristics of the Holocene tsunamigenic deposits in the coastal systems of the Cadiz Gulf (Spain). In: Möner, N-A. (Ed.) The tsunami threat – Research and technology, Intech, pp. 237-258.

Mori, N., Takahashi, T., & The 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Joint Survey Group. (2012). Nationwide post event survey and analysis of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami. Coastal Engineering Journal, 54(01).

Murty, T.S. & Loomis, H.G. (1980). A new objective tsunami magnitude scale. Marine Geodesy, 4(3), 267-282.

Nandasena, N.A.K., Paris, R. & Tanaka, N. (2011). Reassessment of hydrodynamic equations: minimum flow velocity to initiate boulder transport by high energy events (storms, tsunamis). Marine Geology, 281(1), 70-84.

Okada, Y. (1985). Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bulletin of the Seismological Society of America, 75(4), 1135-1154.

Omira, R., Baptista, M.A., Matias, L., Miranda, J.M., Catita, C., Carrilho, F. & Toto, E. (2009). Design of a sea-level tsunami detection network for the Gulf of Cadiz. Natural Hazards and Earth System Sciences, 9(4), 1327-1338.

Omira, R., Baptista, M.A., Miranda, J.M., Toto, E., Catita, C. & Catalao, J. (2010). Tsunami vulnerability assessment of Casablanca-Morocco using numerical modelling and GIS tools. Natural Hazards, 54(1), 75-95.

Omira, R., Baptista, M.A., Leone, F., Matias, L., Mellas, S., Zourarah, B., Miranda, J.M., Carrilho, F. & Cherel, J.P. (2013). Performance of coastal sea-defense infrastructure at El Jadida (Morocco) against tsunami threat: lessons learned from the Japanese 11 March 2011 tsunami. Natural Hazards and Earth System Sciences, 13, 1779-1794.

Papadopoulos, G.A. & Imamura, F. (2001). A proposal for a new tsunami intensity scale. In: ITS 2001 Proceedings, 5-1, 569-577.

Rodriguez-Vidal, J., Cáceres, L.M., Abad, M., Ruiz, F., González-Regalado, M.L., Finlayson, C., Finlayson, G., Fa, D., Rodriguez-Llanes, J.M. & Bailey, G. (2011). The recorded evidence of AD 1755 Atlantic tsunami on the Gibraltar coast. Journal of Iberian Geology, 37(2), 177-193.

Scheffers, A. & Kelletat, D. (2005). Tsunami relics on the coastal landscape west of Lisbon, Portugal. Science of Tsunami Hazards, 23(1), 3-15.

Serpelloni, E., Vannucci, G., Pondrelli, S., Argnani, A., Casula, G., Anzidei, M., Baldi, P. & Gasperini, P. (2007) Kinematics of the Western Africa-Eurasia plate boundary from focal mechanisms and GPS data. Geophysical Journal International, 169, 1180-1200.

Sieberg, A. (1927). Geologische, physikalische und angewandte Erdbeben Kunde. Verlag von Gustav Fischer, Jena, 527 pp. (in German).

Smith, D.E., Shi, S., Cullingford, R.A., Dawson, A.G., Dawson, S., Firth, C.R. & Long, D. (2004). The Holocene storegga slide tsunami in the United Kingdom. Quaternary Science Reviews, 23, 2291-2321.

Soloviev, S.L. (1972). Recurrence of earthquakes and tsunamis in the Pacific ocean. In: Volny Tsunami, Trudy Sakhni, 29, pp. 7-47 (in Russian).

Synolakis, C.E. (1991). Tsunami runup on steep slopes : how good linear theory really is. Natural Hazards, 4, 221-234.

Titov, V.V., González, F.I., Mofjeld, H.O. & Venturato, A.J. (2003). NOAA time seattle tsunami mapping project: procedures, data sources, and products. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Oceanic and Atmospheric Research Laboratories, Pacific Marine Environmental Laboratory. [http://docs.lib.noaa.gov/noaa\\_documents/OAR/PMEL/TM\\_OAR\\_PMEL/TM\\_OAR\\_PMEL\\_124.pdf](http://docs.lib.noaa.gov/noaa_documents/OAR/PMEL/TM_OAR_PMEL/TM_OAR_PMEL_124.pdf) (accédé le 10 juin 2015)

Torrey, M.D. et al. (1987). 1 three-dimensional computer program for incompressible flows with free surfaces. Los Alamos National Laboratory Report LA-11009-MS.

Ward, S.N. & Day, S. (2001). Cumbre Vieja volcano-potential collapse and tsunami at La Palma, Canary Islands. Geophysical Research Letters, 28(17), 3397-3400.

Whelan, F. & Kelletat, D. (2005). Boulder deposits on the southern Spanish Atlantic coast: possible evidence for the 1755 AD Lisbon tsunami. Science of Tsunami Hazards, 23(3), 25-38.

Zitellini, N., Rovere, M., Terrinha, P., Chierici, F., Matias, L. & Team, B. (2004). Neogene through Quaternary tectonic reactivation of SW Iberian passive margin. Pure and Applied Geophysics, 161(3), 565-587.

---

- **Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci M. MEDINA pour cette présentation sur les tsunamis.

On passe maintenant à la discussion des trois présentations.



## DISCUSSION

### - Pr. Juan Carlos CASTILLA (CSTETM)

Efectivamente, la velocidad del tsunami in Chili esta 70km/h. Entonces, la posibilidad de alerta en la costa es función de la distancia desde la falla. En el caso del 27 de febrero, la falla ocurre muy cerca de la costa, a próximamente 30 km. La posibilidad de alerta es nula prácticamente porque es problema de minutos. Sin embargo nosotros tenemos una isla que está a 77 km de distancia donde ocurrió la falla, muerto 56 personas. El impacto del tsunami en la costa es función de la distancia y la posibilidad de aviso a la gente. Sabíamos muy poco del modelo japonés de tsunamis porque dependo del ancho de la plataforma continental. Esa es muy ancha al sur de Chili.

### - Pr. Ali BOUKHARI (CITIT)

Merci Monsieur le président de séance. Tout d'abord, je remercie les orateurs pour ces exposés sur une problématique importante : séismes et ondes de tempête. Personnellement, j'ai appris beaucoup de choses et j'ai beaucoup apprécié la manière avec laquelle ils ont fait ces exposés. Alors, y aura-t-il des tsunamis au Maroc? Merci.

### - Pr. Malik GHALLAB (CSMI)

Oui, je comprends de la présentation de M. MEDINA que les modèles ont été appliqués principalement à partir de risques liés à la fosse océanique. Aucune étude n'a été citée en relation avec la faille des Canaries qui a été mentionnée. Est-ce à dire qu'on apprécie ces risques comme étant faibles puisqu'on n'a pas modélisé leurs impacts ou bien c'est des travaux qui restent à faire. Qu'en est-il de cette faille des Canaries, qui existe, sur laquelle il y a eu des discussions, mais qui peut être associée à un risque? Merci.

### - M. Driss SBAI (Institut Scientifique, Rabat)

J'ai trois questions : deux pour M. CARBONELL et une pour M. MEDINA.

Thank you for your talk Ramon. I have two questions for you.

- You have mentioned in your presentation that there is no straight boundary between Europe and Africa. What do you contribute the batiks between Europe and Africa including Rif and how did they contribute separate macroplate?
- You have also mentioned subducting slab. Is this a subduction slab or a delamination slab? If it's a subducting slab, how do you link between the alkali volcanism that you have shown in the Middle Atlas and the High Atlas?

Ma question à M. MEDINA : les tsunamis ont généralement une étroite relation avec les grands séismes de magnitude 7 et plus. Est-ce qu'il y a une relation physique entre l'amplitude des tsunamis et la magnitude des séismes? Merci.

**- Mr. Mohamed KABBAJ (CESDE)**

Mon attention a été attirée dans l'exposé de M. CHERKAOUI sur paradoxe de Ghmara où les gens parlaient d'un tremblement de terre qu'ils essayaient de décrire mais ils ne trouvent pas trace. Je vais apporter un témoignage, j'ai vécu un phénomène un peu du même genre dans le Rif où les montagnes subissent beaucoup de glissements de terrains importants. Une fois le glissement était concomitant avec un blocage de l'écoulement de la rivière et apparemment l'eau qui n'arrivait pas à passer produisait un bruit qui se propageait sur une longue distance.

**- Pr. Abdallah AMAR (Faculté des Sciences de Rabat)**

J'essaierais d'apporter un peu quelques précisions sur la région Nord parce que c'est la région que je connais le plus, et en particulier la région d'Al Hoceima. Je pense que, vu les connaissances dont nous disposons sur cette partie du Maroc, il y a un danger réel dû aux tremblements de terre relativement fréquents et aux glissements de terrains.

Dans l'état actuel des choses, je crois qu'il n'est pas exclu qu'il y ait d'autres glissements à ce niveau là. Merci.

**- Pr. Tajeddine CHERKAOUI (ancien professeur de Université Mohammed V - Rabat)**

La prévision des tsunamis est liée à la prévision des séismes. En ce qui concerne le golf de Cadix, on ne connaît même la faille qui a provoqué le séisme. C'est un domaine qui reste sujet aux probabilités.

M. KABBAJ, vous avez tout-à-fait raison, 'écoulement de l'eau peut très bien responsable de la propagation de bruits simulant un séisme.

**- M. Ramon CARBONELL (Institut des Sciences de la Terre – Almeria en Espagne)**

As far as I know, in the literature, there's evidence that the Rif and the batiks correspond to the same mountain range and that the actual arch just got bent. The data set that we have right now and the calculations we have made so far are in favor of this hypothesis.

**- Pr. Fida MEDINA (ancien professeur de Université Mohammed V – Rabat; Président de l'Association Marocaine des Géosciences).**

La vitesse est effectivement variable, elle dépend de la topographie et donc des obstacles. Elle dépend de l'arrivée sur le continent et varie donc d'une région à l'autre en fonction de la morphologie des côtes.

Pour la question des Canaries, la faille part d'Agadir et passe par Tarfaya jusqu'aux canaries. Les travaux modernes l'ont minimisée. C'est une zone un petit peu complexe et on perd l'accident sud-atlasique comme il était. La faille de la Kasbah d'Agadir, qui a donné le séisme de 1992, pourrait être active. Les Canaries c'est surtout un magma qui monte et qui va horizontalement. La chambre magmatique craque, c'est elle qui donne les séismes jusqu'à magnitude 4. Les Canaries c'est surtout les glissements et pour ces derniers il y a une solution qui consiste à placer des GPS et de les suivre.

A la question de savoir s'il y aurait un tsunami au Maroc, je dis toujours que les tsunamis c'est comme l'inspecteur des impôts, s'il frappe à votre porte une fois, certainement il reviendra; mais quand, on ne sait pas. Le tsunami dépend des forces mises en jeu.

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci M. MEDINA et à tous les conférenciers de cette journée. Je vous donne rendez-vous demain à 8h45.

**SÉANCE V :**  
**STRATÉGIES D'ADAPTATION**

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Bonjour, nous entamons les travaux de cette matinée, par la séance qui porte sur les Stratégies d'adaptation. Nous allons commencer par la présentation de M. Kenzo HIROKI, Conseiller auprès du Premier Ministre du Japon pour les questions des Sciences et des Technologies, Directeur de la planification en eau au Ministère des Territoires, infrastructures et Transports au Japon.

A vous la parole M. HIROKI.

## STRATÉGIE DE RÉDUCTION DES RISQUES DES CATASTROPHES ET LE RÔLE DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE

***Kenzo HIROKI***

*Councilor, Cabinet Secretariat of Japan  
(Water Cycle Headquarters)  
Director, Water Resources Planning Division,  
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan*



### **Abstract:**

Strategic disaster risk reduction is a must for national leaders as disasters cripple years of national economic and social development efforts in a matter of few days or even hours. Even regional and global strategy for Disaster Risk Reduction (DRR) is needed as mega-disasters may not only deprive a nation of substantial percentage of GDP but affect regional/global economy and politics through multiple value chains,

The Strategy should be tailored to national and local conditions, and resilient to natural, social and climatic change of the nation/area. Good governance, hierarchical but coordinated information flow, and flexible long-term planning should be key ingredients of DRR Strategy. Keeping in mind that every disaster will be unique and may surpass one's expectation or even imagination, the strategy should not be static but dynamic, incorporating disaster experiences and lessons which are available nationally and globally. The leaders can start from mainstreaming DRR among competing agenda of the country.

DRR Strategy does not work without scientific and technological knowledge and support to it because the subject is unusual natural phenomena and its interaction with human society that behave differently from our normal (or conventional) assumption. In fact, national DRR strategies have developed hand in hand with progress of science and technology on disasters and DRR. It is high time today to step up a nation's DRR strategy as exponential progress in IT and space science and technology is happening.

Strategic investment in R & D on disaster risk reduction pays off. Seismic Early Warning System in Japan, for example, has enabled super express trains (running every 10 minutes) to come to complete halt by detecting minor precursor a few seconds before severe tremor arrives when a large earthquake happens. The system helped super express trains run 2 billion kilometers carrying 5,500 million passengers without a single fatal accident for the past 50 years. The SEWS has expanded the application to industrial plants and even national broadcasting system to warn the public of 120 million to help protecting themselves a few-10 seconds before severe earthquake happen.

Science and Technology also helps quick catch-up in the areas where DRR system has not been developed. Integrated Flood Analysis System (IFAS), for example, makes flood warning possible even in the areas where ground-based rainfall observation network has not been developed. The system synthesizes precipitation monitoring data from constellation of satellites by NASA, ESA and JAXA to produce a basin-wide rainfall map on semi-real time basis and turn it to flood run-off and warning. The system has been introduced in Indonesia, Pakistan, Philippines and other countries.

Strategic disaster risk reduction is not an easy, simple process. However, it is doable if a nation is determined to make progress by learning from the past as well as global experiences.

---

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci M. HIROKI pour cette conférence très intéressante qui a décrit le système de gestion des catastrophes au Japon.

Je passe la parole maintenant à M. Hervé LE TREUT, Directeur de l'Institut SIMON-LAPLACE, membre de l'Académie des Sciences de France pour présenter sa conférence sur : «le changement climatique, quelles stratégies pour passer de l'échelle globale à celle du territoire?».

A vous la parole M. LE TREUT.



## CHANGEMENT CLIMATIQUE ET GAZ À EFFET DE SERRE : À LA CROISÉE DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIO-ÉCONOMIQUES

*Hervé LE TREUT*

*LMD-IPSL*

*Université Pierre et Marie-Curie, Paris, France*



### Résumé :

Le changement climatique constitue un problème rapidement évolutif, dont les implications et les enjeux sont en renouvellement complet. Si le diagnostic scientifique a montré une très grande stabilité dans l'évaluation des dangers qui pourraient être associés à une augmentation des gaz à effet de serre, l'accélération des émissions des gaz à effet de serre change fortement les conséquences de ce diagnostic. Nous nous avançons vers des changements climatiques importants avec une vitesse beaucoup plus rapide, qui laisse un temps très limité à la recherche de solutions. Face à cela le concept d'adaptation au changement climatique a pris une importance grandissante, en particulier dans les régions qui sont plus vulnérables à ces changements. L'adaptation est aussi un outil qui peut faciliter la prise de conscience autour des enjeux climatiques, et permettre d'y impliquer une part grandissante des décideurs politiques comme de la société civile, entreprises et citoyens.

### Abstract

The problem of climate change is evolving very quickly, and this evolution is defining new concerns and new challenges. If the scientific evaluation of climate changes associated with a given atmospheric increase of greenhouse gases has been extremely stable throughout time, the ever increasing emissions of these gases is changing very strongly the nature of the associated risks. We are heading toward large climatic changes with a much increased velocity, which leaves a very limited time for the search of solutions. In this context, designing adaptation strategies to the unavoidable component

of climate changes is becoming a necessity, especially in the most vulnerable countries. Adaption may also constitute an important opportunity to increase the implication of all components of the society: policy-makers, companies, citizens and to reach a shared perspective on what climate change may mean for the future.

## **1. Introduction : le changement climatique, une histoire rapidement évolutive**

Il y a 10 000 ans, aux débuts de la période chaude et relativement stable de l'histoire du climat de notre planète, que l'on appelle l'Holocène et pendant laquelle se sont développées nos civilisations, nous n'étions probablement que quelques millions d'humains à peupler la planète, tous des «Hommes modernes», puisque notre cousin Neandertal avait déjà disparu depuis plusieurs dizaines de milliers d'années. Ce chiffre a d'abord augmenté très lentement : la population mondiale n'était sans doute encore que de 200 à 400 millions de personnes en l'an 1000, pour atteindre le milliard en fin de 19<sup>ème</sup> siècle, avant que ne se produise un emballement très rapide : 3 milliards dans les années 60, plus de 7 milliards aujourd'hui, et même s'il y a consensus pour prédire un accroissement démographique désormais moins rapide, la plupart des études estiment que nous pourrions franchir le cap des 9 milliards d'humains sur Terre dans les prochaines décennies.

L'activité de ces humains a augmenté plus vite encore que leur nombre, et elle ne donne pas de signe de ralentissement. Un chiffre très révélateur est celui des émissions de CO<sub>2</sub> résultant de l'usage des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel). C'est un marqueur important à la fois de l'usage de l'énergie et de l'effet de serre. Tout au long des 20<sup>ème</sup> et 21<sup>ème</sup> siècles il augmente de manière plus rapide encore que la démographie. Partant de valeurs presque nulles au début du 19<sup>ème</sup> siècle, un niveau annuel d'émissions d'un milliard de tonnes de carbone a été atteint au milieu du vingtième siècle, s'élevant à 3 ou 4 milliards dans les années 70, à près de 7 milliards en fin de 20<sup>ème</sup> siècle, à 10 milliards aujourd'hui. Ce CO<sub>2</sub> se stocke dans l'atmosphère pendant des durées de plusieurs décennies, et même, pour une part des émissions, de plusieurs siècles, et l'effet de croissance rapide que l'on constate au niveau des émissions, est accentué lorsque l'on considère plutôt le niveau de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>.

Ces chiffres montrent aussi que l'augmentation de l'usage des combustibles fossiles est surtout une affaire des 60 ou 70 dernières années, où il a été multiplié par presque 10. Durant les «30 glorieuses», l'usage des combustibles fossiles a augmenté beaucoup plus vite que la démographie de la planète et n'a véritablement concerné que 10 à 20% de la population mondiale. Le fait que les émissions de gaz à effet de serre continuent d'augmenter peut s'interpréter comme un effet décalé de la croissance démographique, dans la mesure où ce sont des pays émergents soucieux de rattraper leur retard de développement par rapport à l'Occident qui en sont désormais les principaux moteurs.

Contrairement à une idée répandue, le problème du changement climatique lié aux gaz à effet de serre est venu récemment sur l'agenda politique. Il était encore tout à fait confidentiel en 1972, l'année de la première Conférence des Nations Unies sur l'Environnement, réunie à Stockholm. Au cours des années 70 et 80, le développement

rapide du diagnostic scientifique a permis la création du GIEC (en 1988), le premier rapport du GIEC (en 1990), qui ont joué un rôle majeur dans la prise de conscience dans ces problèmes, et précédé de très peu le sommet de la Terre de Rio en 1992. Cette époque marque une étape très importante, articulée autour d'un constat scientifique très clairement exprimé: les gaz à effet de serre risquent de modifier le climat de notre planète à un rythme qu'aucune société humaine n'a connu depuis la dernière déglaciation, il y a plus de 10 000 ans, et ce constat a été presque immédiatement pris en compte par le monde politique.

Mais l'histoire ne s'est pas arrêtée en 1992. Nous sommes entrés depuis 15 ou 20 ans dans une phase nouvelle du diagnostic scientifique, qui coïncide avec une difficulté croissante à passer de l'alerte sur le changement climatique à une action politique coordonnée. Les rapports successifs du GIEC de 1995, 2001, 2007 et 2014, ont choisi des qualificatifs toujours plus forts pour mettre en avant un élément nouveau dont la portée est considérable : désormais les premiers symptômes d'un changement climatique réel, et non plus seulement prévu par les modèles, sont là. Ce qui était présenté comme un faisceau convergent d'indications en 1995, est devenu un phénomène sans équivoque en 2007. Cette réalité, décelable par l'observation scientifique, d'un phénomène qui avait été anticipé grâce à des équations mathématiques et physiques, a changé de manière complète la vision des risques climatiques. Nous vivons dans un monde déjà impacté, en évolution rapide, traversés de risques difficiles à prévoir. Cette situation a amené une reconnaissance beaucoup plus large du problème climatique, désormais au centre d'une très grande gamme de projets politiques, économiques. La Convention Cadre des Nations-Unies sur les Changement Climatique, issue du Congrès de Rio, entrée en vigueur en 1994, a permis d'organiser des «Conferences of Parties» ou COP annuelles, réunissant tous les États signataires soit 190 pays environ. Certaines de ces COP ont eu une importance particulière. Celle de Kyoto (COP3, en 1997) a donné lieu au Protocole de Kyoto, première action permettant la mise en place d'une politique commune de réduction des émissions de gaz à effet de serre, en développant la notion de marché carbone, ou de «mécanismes de développement propre» liant pays industrialisés et pays en développement.

## **2. De l'alerte à la gestion des problèmes : une étape nouvelle et complexe**

Dès les années 90, toutefois, les premières difficultés sont apparues, contredisant la volonté proclamée des États de réduire les émissions de gaz à effet de serre, et montrant la difficulté à passer de l'alerte scientifique à un agenda d'action. Il a fallu attendre 2005 pour que le protocole de Kyoto – censé réguler les émissions jusqu'en 2012 – entre en vigueur : ce traité n'a jamais été ratifié par les États-Unis, il n'a jamais réclamé d'effort des pays émergents, ni de facto de la Russie, et au fil du temps d'autres pays ont pris leur distance. C'est pourtant ce protocole très insuffisant, engageant essentiellement l'Europe, qui a été prolongé jusqu'en 2020, après l'échec à lui trouver une suite lors de la COP15 de 2009, à Copenhague – même si c'est à cette conférence qu'a été exprimé pour la première fois dans le contexte des COP l'objectif d'une stabilisation du réchauffement de la planète à un niveau maximal de 2°C, en prenant les températures préindustrielles pour référence.

La COP21 de Paris constitue l'opportunité de rechercher à nouveau un accord impliquant tous les pays, qui s'appliqueraient à partir de 2020. Mais si l'on en revient au diagnostic scientifique, limiter le réchauffement à 2°C devient un objectif de plus en plus difficile à atteindre. Les modèles, dont le dernier rapport du GIEC rapporte les résultats, montrent qu'il faudrait dans un premier temps conduire des diminutions d'émissions drastiques, de 40 à 70% d'ici 2015, puis parvenir avant la fin du siècle à une «neutralité carbone» : reprendre entièrement à l'atmosphère les gaz à effet de serre que nous y émettons. Cette ambition correspond à un bouleversement très profond de nos économies et va bien au-delà des compétences des seuls climatologues. Elle réclame des technologies nouvelles, et elle implique le travail d'une multiplicité d'acteurs : chercheurs en sciences humaines et sociales, en écologie, en hydrologie, en agronomie, en économie, mais aussi politiques, associations, entrepreneurs, citoyens de toute origine...

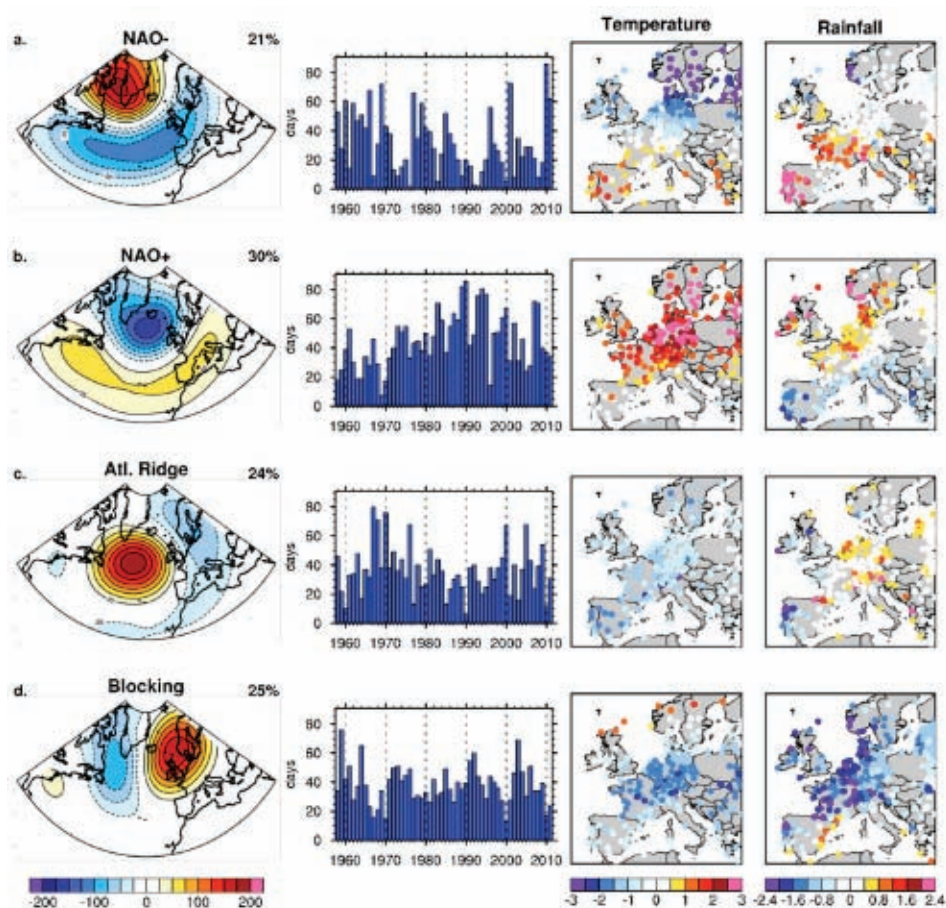
### 3. Un nouvel enjeu : l'adaptation

Selon tous les calculs et estimations de la communauté scientifique, une part importante des changements climatiques à venir est désormais clairement inévitable, et cette part peut prendre désormais des proportions importantes, allant jusqu'à des réchauffements de 4 ou 5 degrés en moyenne globale d'ici la fin du siècle, en cas d'échec prolongé d'une action efficace de diminution des émissions. Quel que soit le résultat des négociations en cours il se pose désormais un problème d'adaptation aux changements climatiques, que beaucoup de pays vulnérables ont déjà exprimé avec force.

En termes scientifiques définir une politique d'adaptation constitue un enjeu très difficile : conduire des projections régionales des changements climatiques à venir s'accompagne toujours d'une incertitude plus importante que celle qui affecte les résultats globaux, utilisés dans la phase d'alerte sur ces problèmes climatiques. Cette incertitude ne concerne pas tant le réchauffement, qui sera le lot commun de tous les territoires, mais plutôt la circulation atmosphérique et ses conséquences en termes d'hydrologie. Une part de ces incertitudes résulte de défauts résiduels dans la construction des modèles : résolution insuffisante, paramétrisation des processus physiques ou biogéochimiques encore améliorables, difficulté à bien comprendre les téléconnexions entre différentes régions du monde. Mais une autre part a une origine plus fondamentale : les fluctuations interannuelles du climat ont un caractère partiellement chaotique. En fait ce ne sont pas tant les petites échelles de la circulation atmosphérique qui causent les incertitudes majeurs, mais les structures d'échelle continentale : anticyclones, dépression, moussons,... dont la dynamique largement non-linéaire est affectée de manière partiellement imprévisible par le réchauffement.

La Figure 1 montre à titre d'exemple les régimes climatiques favorisés en hiver sur la zone atlantico-méditerranéenne : les deux phases de l'Oscillation Nord-Atlantique, la situation de blocage (anticyclone des Açores s'étendant sur les continents), où la situation de dorsale Atlantique où l'anticyclone est au contraire très fort sur les océans. Ces situations se retrouvent en été, et elles sont dans le climat actuel très grossièrement équiprobables. Que peut changer le réchauffement de la planète? D'abord probablement la fréquence de certaines situations : la plupart des modèles montrent des situations anticycloniques plus fréquentes sur le pourtour méditerranéen, des changements malgré difficiles à prévoir

de manière précise car ils peuvent être modulés par des changements concernant des régions voisines, telles que l'Est de la Méditerranée, où la zone de mousson Ouest-Africaine. La nature des conditions météorologiques attachées à chacun de ces régimes climatiques peut aussi changer : des canicules et des sécheresses plus intenses dans les conditions anticycloniques, des pluies au contraire plus intenses dans les conditions cycloniques. Les modifications que peut subir un territoire donné peuvent donc être complexes, avec par exemple des alternances de sécheresses pluriannuelles et d'inondations plus ponctuelles.



**Figure 1 :** Les 4 principaux régimes de temps de la région atlantico-méditerranéenne (hiver) (Christophe Cassou, CNRS/CERFACS, 2013) : phases positives et négatives de l'oscillation Nord-Atlantique, dorsale Atlantique, blocage, avec leur pourcentage d'occurrence.

De gauche à droite : anomalies du géopotentiel à 500mb, historique, anomalies de température et de pression associées.

Ces modifications inévitables mais imprévisibles dans le détail doivent être appréhendées comme des risques et elles incitent à mettre en avant le concept de «vulnérabilité» : en quoi un territoire donné, avec l'ensemble des systèmes écologiques, ou socio-économiques qu'il abrite, est-il «climato-dépendant»?

Cette approche pose immédiatement un problème de hiérarchie entre différents risques (climatiques, certes, mais aussi écologique, sociaux,...). Un travail collectif sur la région Aquitaine, au Sud-Ouest de la France, effectué en 2011, publié en 2013, a permis d'illustrer l'apport de ces approches régionales. Il est cité ici à titre d'exemple méthodologique. Ce travail a permis d'agréger les connaissances d'un grand nombre de disciplines telles que : physique et chimie de l'atmosphère, des océans, des eaux continentales, des systèmes littoraux et estuariens, écologie des écosystèmes naturels comme des systèmes agricoles, sans oublier l'apport capital des sciences humaines. Au total il a rassemblé l'expertise de plus d'une centaine de chercheurs publics de la région Aquitaine. Cette approche scientifique à caractère régional a plusieurs forces. D'abord mobiliser de manière organisée le savoir de la communauté scientifique, qui est souvent sous-utilisé au niveau des décisions politiques. Il rend aussi possible de manière très concrète, au niveau d'un territoire, une confrontation entre les risques climatiques et les autres risques majeurs qui conditionnent notre futur : maintien de la biodiversité, facteurs sociaux et économiques par exemple. Cette mise à plat est également un moyen de diminuer la dimension passionnelle inévitable qui accompagne toujours les débats relatifs aux problèmes environnementaux.

#### **4. Un problème à l'échelle de toute la société**

L'ampleur des changements qui sont devant nous les rend impossibles à résoudre sans l'implication de la société civile toute entière : entreprises et acteurs économiques, citoyens, etc... La prise de conscience grandissante se heurte toutefois à une difficulté constante à appréhender des objectifs d'action à l'échelle locale, alors que les décisions se prennent dans des grandes conférences onusiennes.

Les problématiques d'adaptation peuvent contribuer à résoudre ces problèmes et il y a là une opportunité à saisir. Comme les gaz à effet de serre restent très longtemps dans l'atmosphère (il faut un siècle pour que la moitié d'un surplus de CO<sub>2</sub> émis dans l'atmosphère en disparaisse), il n'y a pas de marche arrière possible, et réduire les émissions de gaz à effet de serre constitue une urgence absolue qui concerne avant tout un nombre limité d'acteurs politiques. Mais comme l'effet climatique de ces gaz est différé dans le temps de quelques décennies, à cause de l'inertie thermique de l'océan en particulier, nous disposons dans chaque région de la planète d'un temps limité mais utile pour débattre d'enjeux de développement tels que l'aménagement des zones littorales ou montagnardes, le partage de l'eau, les filières agricoles, la préservation de la biodiversité naturelle ou le futur des zones urbaines. Les politiques d'adaptation peuvent ainsi contribuer à remettre le diagnostic scientifique au centre des débats, en mettant en avant en avant une large interdisciplinarité, et en permettant une vision partagée beaucoup plus explicite de ce que peuvent être dans le futur les risques climatiques. Cette approche scientifique locale soigneuse sera inévitablement nécessaire dans la mise en place des Fonds Verts.



## Références :

Changements Climatiques en Aquitaine (direction H. Le Treut), 2013, Presses Universitaires de Bordeaux, 330 pages. (disponible à : <http://www.aquitaine.fr/actions/territoire-durable-et-solidaire/climat-energies/changement-climatique#.VXhUu0bLKcY>)

Burkett, V.R., A.G. Suarez, M. Bindi, C. Conde, R. Mukerji, M.J. Prather, A.L. St. Clair, and G.W. Yohe, 2014: Point of departure. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 169-194.

---

- **Pr. Tijani BOUNAHMIDI** (Directeur des Séances)

Merci M. LE TREUT pour cette conférence très intéressante qui a concerné le changement climatique, sa modélisation dans les différents laboratoires au niveau international pour la vérification de ces modèles et leur utilisation pour la prédiction des catastrophes qui sont inévitables en l'absence de la réduction des gaz à effet de serre. Merci beaucoup.

On passe maintenant à la séance de discussion des deux conférences de ce matin. Donc la parole est à l'assistance.





***Panel :***

***Propositions d'actions pour le Maroc :  
recherche, prédictions et préventions***

**Modérateur : Albert Sasson**

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



**Intervenants :**

Abdelouahed FIKRAT  
Directeur Aménagement du Territoire  
fikrat@gmx.fr



Brahim EL MESSAOUDI  
Direction de la Météorologie Nationale  
b.elmessaoudi@gmail.com



Abdelhamid BEN ABDELFADEL  
Agence du bassin hydraulique du Loukkos  
benabdefadel.abdelhamid@gmail.com



Mohamed BADRAOUI  
Institut National de la recherche Agronomique  
mohamedbadraoui@gmail.com



Juan Carlos CASTILLA  
Membre Associé à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
jcastilla@bio.puc.cl



## **Propositions d'action pour le Maroc : recherche, prédictions et préventions**

Face aux risques naturels que sont les séismes et les ondes de tempête, voire les tsunamis, le Maroc reste un pays vulnérable, comme le montrent, non seulement des événements récents (séisme d'Al Hoceima du 24 février 2004, ou les ondes de tempête sur le littoral atlantique du 7 janvier 2014) mais encore les études sur les impacts des séismes et tsunamis anciens (comme le tremblement de terre de Lisbonne de 1755). De surcroît, le Maroc affronte depuis une quarantaine d'années des phénomènes climatiques extrêmes, en particulier des sécheresses récurrentes. Avec le changement climatique global, on enregistre la perte de 40% des ressources en eau. Cela pénalise lourdement l'approvisionnement en eau potable, mais aussi l'agriculture, où il faut produire plus et mieux, où les efforts de la recherche agronomique tendent à améliorer et accroître la productivité des cultures par unité de volume d'eau utilisée, et pas seulement par hectare et par an. Enfin, en fin d'année 2014, des inondations d'une rare violence ont provoqué des dégâts importants dans le sud du pays. Cela aussi semble devenir un phénomène récurrent.

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

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

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

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

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

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

La recherche agronomique du Maroc s'efforce aussi de répondre à la variabilité croissante des précipitations annuelles ainsi qu'à l'accélération de l'aridification du climat sur l'ensemble du territoire et particulièrement dans les zones humides et subhumides. La sélection des variétés végétales et des races animales mieux adaptées donne de bons résultats : plus de 250 variétés de céréales et autres cultures, création d'une banque de gènes depuis 20 ans avec 50.000 accessions ou entrées (qui comprennent des espèces sauvages ainsi que des variétés de nos terroirs). Le Plan Maroc Vert est le cadre national de ces travaux de recherche, qu'il s'agisse de son approche régionale et territoriale, ou de son approche filière. Des cartes de vocation des sols sont disponibles pour une superficie de 6,5 millions d'hectares. L'irrigation au goutte à goutte s'étend pour remplacer l'irrigation gravitaire qui souvent gaspille les ressources en eau. Ces technologies de collecte et d'économie de l'eau bénéficient du soutien de l'Etat, par exemple dans les oasis, les palmeraies et l'arganeraie. Le Maroc dispose de la plus grande collection de variétés de palmier dattier (400) et en particulier de celles qui sont résistantes à la redoutable maladie du bayoud, causée par un champignon vivant dans le sol. Le remplacement progressif des palmiers dattiers décimés par cette maladie fongique se fait par des plants résistants produits invitro (500.000 par an).

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

Toutes ces recherches sur les risques naturels, tous les efforts en cours et à venir, doivent s'inscrire dans l'aménagement du territoire du Maroc. Cela est particulièrement vrai lorsqu'on constate que les dégâts causés par ces risques auraient pu être considérablement réduits si on avait respecté les règles d'aménagement territorial (par exemple, la non construction de logements dans des zones inondables ou littorales vulnérables). Le socle du schéma de l'aménagement du territoire est la Charte nationale de l'aménagement du territoire et du développement durable. L'objectif principal en est de doter chacune des

12 régions du Royaume d'un schéma d'aménagement du territoire et qu'un tel schéma intègre tous les risques. Il s'agit aussi d'envisager tous les étages de l'aménagement territorial autres que la région: les provinces et les communes; de bien repérer les espaces sensibles (montagnes, littoral, oasis). L'arsenal juridique évolue et de nouvelles lois sur les régions et la régionalisation avancée ainsi que sur le littoral devraient permettre une meilleure gestion des risques naturels. On a souvent signalé le non respect de la loi ou la multiplication des dérogations concernant l'application de celle-ci. Pragmatisme et fermeté sont sans doute requis.

Gestion intégrée des risques naturels, gouvernance nouvelle face au changement climatique, résilience nationale vis-à-vis de ce changement, se fondent sur les résultats des recherches et leur intégration dans l'aménagement du territoire. Mais cela nécessite la participation active des populations concernées. La science seule ne suffit pas, il faut s'adresser à la société et créer l'interface entre les deux grâce à l'éducation formelle et informelle, et à la communication. Cet effort indispensable qui s'adresse aux populations locales (jusque dans les communes et les villages), permet de créer une culture du risque; car la population doit savoir pour s'adapter à ce risque et à son impact, jusqu'à modifier ses comportements de consommation des ressources. C'est là un vrai défi que d'unir la bonne gouvernance, les moyens financiers et l'éducation des gens.

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

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

## Note de synthèse et Conclusions de la Session Solennelle Plénière

### 1. Introduction

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

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

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

La position géographique du Maroc en fait l'un des pays les plus exposés à ce type de phénomènes. C'est pourquoi l'**Académie Hassan II des sciences et techniques** a débattu, en session plénière, de cette thématique, en réunissant des experts nationaux et internationaux. C'était l'occasion de renforcer les capacités endogènes et la coopération à différents niveaux. La session a aussi permis de proposer des stratégies de recherche, de parade ou d'atténuation de l'impact de ces risques.

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

- faire un état des connaissances sur les phénomènes qui peuvent être dangereux, sur la capacité de les prévoir, sur leurs impacts, ainsi que sur les outils de coordination, de gestion, d'actions concertées, la planification, les réseaux de surveillance et d'alerte (télédétection par satellite et par d'autres moyens, comme les drones, la robotique);



- proposer des méthodes pour le renforcement de la résilience des Etats et des collectivités face aux catastrophes;
- débattre des prévisions, de l'incertitude et de la vulnérabilité, ainsi que les mesures de mitigation du risque (que pourrait faire la science pour réduire le risque au maximum?).

## 2. Résumé des travaux

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

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

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

## 2. 1. Phénomènes climatiques extrêmes

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

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

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

En ce qui concerne les situations météorologiques de forte houle, les côtes atlantiques marocaines sont souvent frappées par celles-ci, à la suite à de tempêtes qui prennent naissance dans l'océan Atlantique. Ces vagues peuvent atteindre des hauteurs importantes et avoir des effets destructeurs pour les infrastructures côtières. Elles sont dues à des dépressions bien creuses qui se déplacent au nord du 50<sup>ème</sup> parallèle, auxquelles sont généralement associés de forts vents de nord-ouest orientés vers les côtes atlantiques marocaines. Quant aux vagues dangereuses, elles sont engendrées par des dépressions moins creuses qui évoluent sur le 40<sup>ème</sup> nord, de façon zonale, pour balayer le proche Atlantique marocain.

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

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

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

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

Les sécheresses récurrentes frappent un nombre croissant de pays, dont le Maroc. Une approche réactive de gestion de la sécheresse traite les symptômes (impacts) de celle-ci, plutôt que les causes sous-jacentes. Grâce à l'adoption de politiques nationales axées vers la réduction des risques et complétées par des plans d'atténuation de la sécheresse ou de préparation à divers niveaux de gouvernance, la capacité d'adaptation peut être améliorée. Les composantes d'une politique nationale de lutte contre la sécheresse sont la surveillance, la prévision, l'alerte précoce et la diffusion de l'information; la vulnérabilité et l'évaluation d'impact; l'atténuation et la réponse.

## **2.2. Les séismes**

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

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

Le Maroc se trouve sur la bordure nord-ouest de la plaque africaine, qui est en mouvement continu de rapprochement et de collision avec la plaque eurasiennne. Ce mouvement est responsable d'une grande partie de l'activité sismique enregistrée dans le pays et pouvant donner lieu à des tremblements de terre atteignant une magnitude proche de 6,5 (Al Hoceima, 2004), qui sont destructeurs compte tenu de la faible profondeur de leurs épicentres.

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

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

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

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

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

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

Bien que le risque de tsunami par décollement d'un panneau du volcan de La Palma aux Canaries reste réel, le Maroc est surtout exposé aux tsunamis liés aux séismes atlantiques, qui ont lieu régulièrement le long de la Zone de Failles Azores-Gibraltar. Cette dernière souligne la limite entre les plaques Eurasie et Afrique avec un jeu dextre qui, au niveau du Maroc, devient complexe en raison de l'existence de blocs à mouvement variable. Les études récentes au moyen du GPS indiquent que le mouvement de la plaque africaine par rapport à l'Eurasie fixe atteint 5 mm/an au niveau du Maroc, le Rif et les Atlas accommodant en majorité cette déformation.

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

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

### 2.3. Stratégies d'adaptation

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

Au cours des dernières décennies, une part importante des recherches sur le climat a été consacrée à établir le niveau de danger global associé à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre. Mais l'adaptation au changement climatique doit aussi prendre en compte la conservation de la biodiversité, les situations de pauvreté ou d'inégalité, souvent à une échelle locale. L'anticipation des conséquences locales ou régionales de ce changement au cours des prochaines décennies, constitue une exigence nouvelle pour la

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

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

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

### **3. Conclusions**

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

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

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

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

*Ahmed EL HASSANI & Albert SASSON*





**RAPPORT D'ACTIVITÉ**  
**2014 - 2015**



## RAPPORT D'ACTIVITÉS 2014-2015

*Pr. Omar FASSI-FEHRI*

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



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



**Session plénière solennelle 2015**  
**Rapport d'activité 2014-2015**

## Servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale

**Les actions phares réalisées durant l'année écoulée concernent les missions qui lui sont dévolues par la Loi l'instituant:**

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activité

2

### Mission I- Promotion de la recherche scientifique et technologique et financement des programmes de recherche

#### Activité I.1 : Réunions des organes directeurs

Organe directeur		Nombre de réunions
Conseil d' Académie		10
Commission des travaux		11
Réunion commune Directeurs de collège, Commission des travaux, Conseil d' Académie		1
Collèges Scientifiques	CITIT	7
	CSPC	3
	CSTV	8
	CSTETM	5
	CESDE	0
	CSMI	0

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activité

13

### Activités I.2 : Organisation des sessions ordinaires thématiques

Thèmes traités	Date
Mécanismes de soutien à la recherche-développement et à l'innovation.	28 mars 2014
Interactions interdisciplinaires des mathématiques appliquées au Maroc.	09 avril 2014
Changements climatiques au Maroc à la lumière du rapport du GIEC (session anniversaire)	17 mai 2014
Evaluation de l'action de soutien financier des projets de recherche par l'Académie.	29 septembre 2014
Accident vasculaire cérébral « AVC » : facteurs de risque et impacts.	28 octobre 2014
Analyse, probabilités et interactions.	28 novembre 2014
Génomique et cancers.	28 novembre 2014
La politique industrielle et stratégie de développement économique.	12 décembre 2014

4

### Activité I.3 : Préparation de la session plénière solennelle 2015 (pilotée par le Collège SETM)

- Thème général de la session plénière 2015 : « **Risques naturels : séismes, ondes de tempêtes, phénomènes climatiques extrêmes....** »



Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activité

5

### Activité I.4 : Montants prévus pour les projets de recherche soutenus dans le cadre de l'appel d'offres 2010-2011

Projet	Institution responsable	2011	2012	2013	2014
1- Systèmes solaires passifs de rafraîchissement des bâtiments	U. Cadi Ayad	800 000,00	1040000,00	820000,00	340000,00
2- Contribution au développement et à la réalisation cellules photovoltaïques organiques	Univ. Ibn Tofail	782 000,00	822000,00	702000,00	482000,00
3- Combustion des schistes bitumineux en lit fluidisé	U. Cadi Ayad	680 700,00	654500,00	222500,00	51000,00
4- Extraction par solvant de la matière organique des schistes bitumineux – Etude et valorisation des huiles produites	U. Hassan II – Mohammadia	800 000,00	799000,00	800000,00	600000,00
5- Impact des Changements globaux sur les vertébrés semi-aquatiques le long d'un gradient méditerranéen – pré-saharien	U. Cadi Ayad	800 000,00	527650,00	569650,00	395900,00
6- Recherche pluridisciplinaire sur les géomatériaux et les géosites volcaniques du Maroc	U. Moham. V - Agdal	890 000,00	800000,00	500000,00	400000,00
7- Le patrimoine géologique des provinces sahariennes et régions limitrophes (Bas Dra, Ifni)	U. Hassan II – Casablanca	668 700,00	625 000,00	285900,00	119800,00
8- Méthodes mathématiques et modélisation et simulation pour cancer	U. Cadi Ayad	525 500,00	577500	396500,00	00
9- Étude épidémiologique et génétique des leucémies myéloïdes aiguës	U. Hassan II – Casablanca	734 500,00	263500,00	60000,00	00
10- Valorisation et gestion intégrée de l'eau d'irrigation	IAV	800 000,00	791 800,00	812600,00	595400,00
11- Approximation et sous espaces invariants	U. Moham. V - Agdal	59 000,00	402000,00	424000,00	448000,00
12- Made in Morocco : Industrialisation et Développement	U. Moham. V - Agdal	448 500,00	427000,00	377000,00	334500,00
<b>Totaux</b>		<b>8 188 618,00</b>	<b>8460219,00</b>	<b>6930159,00</b>	<b>4246543,00</b>
<b>Total général sur 4 ans</b>		<b>27 825 500,00 DH</b>			

6

### Livrables à ce jour des projets de recherche soutenus dans le cadre de l'appel d'offres 2010-2011

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations			
Chercheurs / Médecins	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés/ sous presse	Conférences et communication s orales	Brevets			
175	02	Doctorat	78	07	03	34	Directement associés aux projets	41	64 Internationales	0	46 Manifestations scientifiques organisées	
		Elève ingénieur	06									
		Master	38						Associés aux thèmes des projets	12	33 Nationales	10 Collaborations internationales
		Licence	05						Total	53	97	
		Total	127									

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activités



### **Activité 1.5 : Projets de recherche soutenus dans le cadre de la collaboration internationale**

Projet	Coordonnateur du projet & son institution	Institution partenaire	Montant total accordé (DH)	Montant versé (DH)
1- Nanocomposites écologiques à partir de ressources naturelles espagnoles et marocaines	Mohammed LAHCINI U. Cadi Ayad		1 151 750 (100 000 Euros)	1 151 750
2- Sélection et utilisation de microorganismes rhizosphériques pour l'optimisation de la mycorhization de l'olivier au Maroc	Abdelkarim FILALI-MALTOUF U. Mohammed V		1 113 050 (100 000 Euros)	1 113 050
3- Mise au point et production de biofertilisants bactériens pour l'inoculation et l'amélioration de la productivité des légumineuses alimentaires au Maroc	Jamal AURAG U. Mohammed V		3 841 600 DH	2 580 800
<b>Totaux</b>			<b>6 106 400</b>	<b>4 845 600</b>

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activités

### **Livrables à ce jour des projets de recherche soutenus dans le cadre de la coopération internationale**

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique				Autres réalisations	
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés/ sous presse		Conférences et communications orales	Brevets	
36	01	Doctorat	19	04	01	09	Directement associés aux projets	11	07 Internationales	0	01 Manifestation scientifique organisée
		Master	10				Associés aux thèmes des projets	0	02 Nationales		
		Licence	02				Total	11	09		
		Total	31								

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activités

**Retombées à ce jour de l'ensemble des projets de recherche soutenus  
par l'Académie**

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs / Médecins	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés/sous presse	Conférences et communications orales	Brevets	156 Manifestations scientifiques organisées
597	13	Doctorants	275	96	167	Directement associés aux projets	246	334 Internationales	08 Distinction/ Prix
		Élèves ingénieurs	37			Associés aux thèmes des projets	269	99 Nationales	38 Collaborations nationales & internationales
		Master	178						11 Partenariats avec le secteur public/privé
		Licence	59						05 Financements de nouveaux projets
		Total	549			Total	515	433	Emergence et développement de secteurs méconnus à l'échelle nationale

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activités

**Activité 1.6 : Evaluation du programme d'appui de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques à la recherche scientifique et technique**

- Evaluation conduite dans le cadre d'une démarche d'évaluation et d'amélioration continue de la qualité des programmes initiés par l'Académie.
- Evaluation réalisée de manière volontaire (décision prise par les organes de l'Académie) pour :
  - apprécier l'efficacité et l'efficacé du programme d'appui à la recherche scientifique et technique;
  - élaborer un plan d'amélioration continue du mode d'appels à projets actuel et du processus d'examen des demandes de financement et d'évaluation et de suivi des projets de recherche soutenus.

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activités

***Edition d'un Rapport sur*****L'expérience de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
en matière d'appui à la recherche scientifique et technique:  
Examen et propositions pour une amélioration continue  
des modalités de soutien aux projets de recherche**Membres du comité:

Mostapha BOUSMINA, Président

Mohamed AIT KADI

Ali BOUKHARI

Taieb CHKILI

Noureddine EL AOUI

Driss OUAZAR

Abdelkader YACHOU, Administration de l'Académie

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activités

***Faits saillants du rapport***

- Evaluation de l'expérience de l'Académie en matière d'appui à la recherche S&T:
  - Analyse des retombées scientifiques et socioéconomiques des projets soutenus;
  - Rencontre avec les chefs de projets sur leurs sites: perceptions des chercheurs, difficultés rencontrées, pistes de solutions et propositions d'amélioration;
  - Visite de laboratoires: infrastructure, personnel, etc.
- Positionnement stratégique de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.
  - Etablissement d'un Benchmark international.
- Formulation de propositions de recommandations destinées à améliorer ce programme:
  - Architecture et caractéristiques de l'appel d'offres: type de projets à financer, durée et montant à allouer;
  - Modalités et processus de soumission et d'examen des demandes de financement, de sélection des projets à financer et de leur suivi.

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activités

**Activités I.7 : Soutien aux manifestations scientifiques en 2014-2015**

<i>Nombre de demandes reçues</i>	<i>Nombre de manifestations soutenues</i>	<i>Nombre de doctorants soutenus</i>	<i>Contribution financière</i>	<i>Budget alloué</i>
52	33	184	10	309 868,22 DH

14

**Activités I.6 : Soutien aux manifestations scientifiques (1/3)**

<i>Thème de la manifestation</i>	<i>Date et lieu</i>	<i>Nombre de doctorants soutenus</i>
Journées Méditerranéennes des Systèmes d' Information de l' Eau	20-21 mars 2014, Marrakech	Contribution financière
VII <sup>èmes</sup> Journées Internationales « Oiseaux d' Eau et Zones Humides »	20-22 mars 2014, Marrakech	3
9 <sup>ème</sup> édition du projet de culture scientifique « Festival du Film Scientifique »	25-29 mars 2014, Marrakech	Contribution financière
3 <sup>ème</sup> Colloque International sur la Céramique	03-04 avril 2014, Safi	5
4 <sup>ème</sup> Conférence Euro-Africaine en Finance et Economie 2014	24-26 avril 2014, Agadir	4
4 <sup>ème</sup> Rencontre des Mathématiques dédiée à la mémoire du Pr. Artibano Micali	2 mai 2014, Meknès	6
7 <sup>ème</sup> édition de la Conférence Internationale sur l' Ingénierie Thermique	6-8 mai 2014, Marrakech	3
The 2 <sup>nd</sup> International Conference on Structural Nonlinear Dynamics and Diagnosis	19-21 mai 2014, Agadir	10
Ecole Africaine de Neurosciences	18-24 juin 2014, Dakhla	Contribution financière
Colloque International sur la Cybercriminalité	26-27 juin 2014	5

15

**Activités I.7 : Soutien aux manifestations scientifiques (2/3)**

<i>Thème de la manifestation</i>	<i>Date et lieu</i>	<i>Nombre de doctorants soutenus</i>
2 <sup>ème</sup> édition du Congrès International sur la Paléontologie des Vertébrés du Nord de l' Afrique	1-8 septembre 2014, Ouarzazate	10
77 <sup>th</sup> the Annual Meeting of the Meteoritical Society	8-13 septembre 2014, Casablanca	2
Ecole CIMPA sur le thème « Operator Theory and The Principles of Quantum Mechanics »	08-17 septembre 2014, Meknès	Contribution financière
41 <sup>ème</sup> Congrès International de l' Association Internationale de l' Hydrologie	15-19 septembre 2014, Marrakech	2
Ecole et Conférence sur « Les Avancées en Information Quantique : Théories et Applications »	15-26 septembre 2014, Rabat	Contribution financière
Congrès international sur les Mycorhizes	15-17 octobre 2014, Marrakech	3
Colloque SIEST Méditerranée 2014 « Enseignement des sciences et technologies et éducation »	24-26 octobre 2014, Rabat	Contribution financière
Gestion intégrée de la fertilisation des sols en Afrique pour un développement durable	02-06 novembre, Rabat	40
African Laser Center (ALC) Annual Workshop & 3 <sup>rd</sup> Moroccan Days Nanoscience and Nanotechnology « Photonics & Nanotechnology for Africa »	03-05 novembre 2014, Rabat	Contribution financière
3 <sup>ème</sup> édition des journées jeunes chercheurs 2014	20-22 novembre 2014, Rabat	Contribution financière

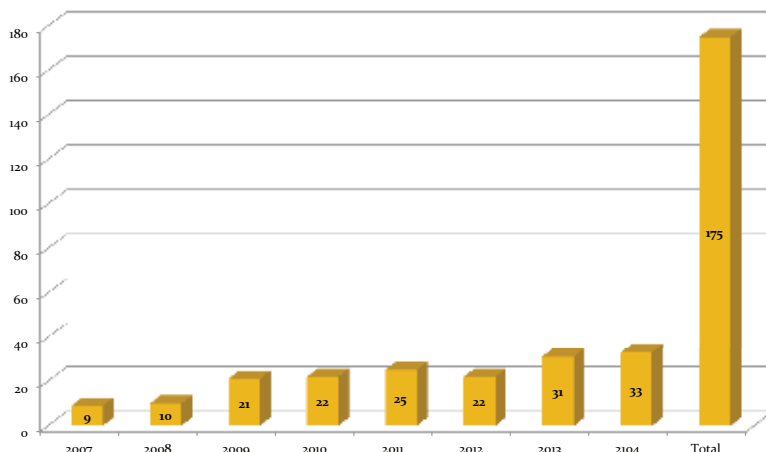
16

**Activités I.7: Soutien aux manifestations scientifiques (3/3)**

<i>Thème de la manifestation</i>	<i>Date et lieu</i>	<i>Nombre de doctorants soutenus</i>
3 <sup>ème</sup> Congrès maghrébin d' immunologie	25-28 novembre 2014, Marrakech	10
Colloque sur le Système National d' Information d' Eau	2-4 décembre 2014, Rabat	10
Premières journées « Jeunes Chercheurs en Géosciences »	20-21 mars 2015, Casablanca	10
Réunion annuelle Maroc-Hispano-Portugaise de la Commission Pétrologie – Géochimie – Géochronologie des Roches Ignées et Métamorphiques	23-27 mars 2015, Ouarzazate	2
International Conference on Electrical and Information Technologies	25-27 mars 2015, Marrakech	Contribution financière
8 <sup>ème</sup> édition des rencontres nationales d' électrochimie	26-27 mars 2015, Rabat	30
Conférence International ICFPM 2015 (International Conference on The Frontiers of Polymers and Advanced Materials)	30 mars-02 avril, Marrakech	3
Mediterranean Conference on Information and Communication Technology 2015	07-09 mai 2015, Saïdia	5
Ecole CIMPA « Théorie des Nombres et Applications »	18-29 mai 2015, Oujda	Con. financière
Conférence Internationale « Codes, Cryptologie et Sécurité de l' Information »	26-28 mai 2015, Rabat	3
2 <sup>ème</sup> édition du workshop international sur « Smart cities : villes intelligentes, enjeux économiques et environnementaux ».	30 mai 2015	10
12 <sup>ème</sup> Congrès de mécanique	21-24 avril 2015	8

17

**Évolution du nombre de manifestations scientifiques soutenues par l'Académie depuis 2007 .**



Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activité

18

### **Activité 1.8 : Autres actions de promotion de la recherche scientifique**

Action	Résultat
Concours général des sciences et techniques (Allocations d'excellence)	Pour la cinquième année consécutive, des allocations d'excellence (édition 2014) attribuées aux lauréats du concours général en sciences et techniques, organisées pour les meilleurs bacheliers des disciplines scientifiques et techniques, dans le cadre de la convention de partenariat signée avec le Ministère de l'Éducation Nationale.
Prix de thèse aux jeunes diplômés en sciences économiques	L'Académie continue d'apporter son appui à l'Association marocaine de sciences économiques en accordant des prix de thèse aux jeunes diplômés en sciences économiques. Résultat : Éditions d'ouvrages sur l'économie marocaine

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activité

19

## Mission II. Contribution à la définition des politiques de la recherche scientifique et technologique

« En matière de politique nationale de recherche scientifique et technique ; l'Académie a pour mission d'émettre des recommandations sur les priorités et sur les moyens susceptibles d'assurer la réalisation des objectifs nationaux en matière de recherche. » (Loi, Art. 2)



Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activité

20

### Activité II.1 : Organisation et participation à des rencontres consacrées à la définition des politiques de la recherche scientifiques et technologiques

- ✓ Journée de réflexion sur les mécanismes de soutien de la R&D et l'innovation, organisée à l'initiative du collège scientifique d'ingénierie, transfert et innovation technologique, avec la collaboration du Conseil Economique, Social et Environnemental et de l'Académie des Technologies de France.
- ✓ Session anniversaire de l'installation de l'Académie consacrée à la réflexion sur le meilleur positionnement stratégique de la politique de financement et d'appui à la recherche scientifique par l'Académie.
- ✓ Journée sur la recherche scientifique et l'innovation : leviers pour le développement économique et social, organisée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres.
- ✓ Participation à l'Atelier régional sur les indicateurs de Recherche-Développement pour les pays de l'Afrique du Nord, organisé par le bureau régional de l'UNESCO à Rabat.
- ✓ Présentation aux membres de la commission des affaires culturelles et des nouvelles technologies du Conseil Economique, Sociale et Environnemental, du rapport élaboré par l'Académie intitulé « Développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité. Un état des lieux et des recommandations clés ».

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activité

21



### Activité II.2 : Participation de l'Académie aux travaux d'instances nationales

- Commission Nationale de Coordination de l'Enseignement Supérieur (CNACES)
- Conseil Supérieur de l'Education, de la Formation et de la Recherche Scientifique (CSEFRS)
- Conseil d'Administration du CNRST



22

Académie Hassan II des Sciences et  
Techniques Session plénière 2015  
Rapport d'activité

### Mission III. Développement de l'enseignement des sciences et promotion de la culture scientifique

« L'Académie est chargée de :

- proposer aux autorités concernées les voies et les moyens capables de développer l'esprit scientifique au sein de la société marocaine,
- entreprendre des actions de diffusion de la science par des colloques, des manifestations scientifiques, des publications et par la création des bibliothèques scientifiques » (Loi, art. 2)

25

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activité

### Activité III.1 : Développement de l'enseignement des sciences

#### Activités

*Participation de l'Académie aux travaux de la Commission mise en place par le Ministère de l'Education Nationale et de la Formation professionnelle, pour le pilotage et le suivi de la question de l'enseignement des sciences et des technologies, et à l'orientation des élèves vers ces filières.*

*Evaluation préliminaire des activités menées dans les clubs scientifiques parrainés par l'Académie dans certains Lycées.*

*Préparation des kits pédagogiques et didactiques et du document de synthèse traitant les enseignements formels et informels ainsi que les programmes des sciences dispensés au niveau des collèges et lycées.*

*Visite d'une délégation de l'Académie des sciences de Malaisie et tenue des rencontres sur les énergies renouvelables et sur l'enseignement sciences*

*Participation de l'Académie au consortium AEMASE H2020 (African-European-Mediterranean Academies for Science in Education – Horizon 2020) pour la promotion de l'enseignement des sciences.*

24

### Activité III.2 : 9<sup>ème</sup> édition des journées « les jeunes et la science au service du développement » (1/3)

- l'Académie a organisé du 24 novembre au 02 décembre 2014, la 9<sup>ème</sup> édition des journées « les jeunes et la science au service du développement » en partenariat avec le Ministère de l'Education Nationale. La thématique principale retenue pour cette édition est « **les énergies renouvelables** ».



25

### **Activité III.2: 9<sup>ème</sup> édition des journées « les jeunes et la science au service du développement » (2/3)**

- Pour illustrer cette thématique et sensibiliser les jeunes à l'importance des énergies renouvelables, comme pour les éditions précédentes, des conférences, des ateliers, des visites de laboratoires, des sorties sur le terrain, des projections de films et de documentaires ainsi que des rencontres avec des élèves ont été programmés à travers les différentes régions du Royaume,
- Cette édition a été caractérisée cette année par une forte implication des AREF qui ont animé leurs propres manifestations en parallèle des activités programmées par les collèges scientifiques de l'AH2ST.
- La 9<sup>ème</sup> édition de ces journées a été organisée aussi avec le concours des Universités, de la Fondation Mohammed VI pour la protection de l'Environnement, la fondation KIDS, l'Association R&D Maroc ainsi que l'Association .ABC-MATHINFO.

➤ **Environ 20000 élèves ont participé aux activités organisées par les AREF et animées en grande partie par les collèges scientifiques de l'AH2ST.**

26

### **Activité III.2 : 9<sup>ème</sup> édition des journées « les jeunes et la science au service du développement » (3/3)**

Activités : Conférences, rencontres, ateliers etc.

Activité	Nombre en %
Conférences	35%
Rencontres et Ateliers	35%
Expositions	10%
Visites et excursions	10%
Films documentaires	5%
Compétitions scientifiques et concours	5%

27

### Activité III.3 : Organisation du cycle de conférences

« L'Académie est chargée d'assurer une communication de haut niveau entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale » (Loi, art.2)

Conférence donnée	Présentée par	Date
« Big data: les enjeux scientifiques »	Pr. Eric Moulines	26 janvier 2015
« Le Sahara à l'épreuve de la colonisation, un nouveau regard sur les questions territoriales »	Pr. Jilali El Adnani	10 février 2015
Conférence programmée	Présentée par	Date
« La médecine du futur »	Pr. Pierre Tambourin	16 mars 2015
« Energie de demain »	Pr. Bernard Drévillon	20 avril 2015
« La flèche du temps »	Pr. Etienne Klein	18 mai 2015
« La crise éthique »	Pr. Jean-Pierre Dupuy	Premier semestre 2015
« Choix énergétiques et modèle économique »	Pr. Jean Marie Chevalier	Premier semestre 2015
« R&D et Innovation »	Pr. Philippe Tanguy	Septembre 2015

28

### Activité III.5: Publications de l'Académie durant 2014-2015

- Actes de la session plénière 2014
- Bulletin d'information de l'Académie (N° 14, 15 et 16)
- Lettres de l'Académie (N° 22, 23 et 24)
- Volume 4 ( 1 et 2) du Journal scientifique de l'Académie « Frontiers in Science and Engineering ».



Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
-Session plénière 2015-  
Rapport d'activité

29

### **Activité III.6: Bibliothèque de l'Académie**

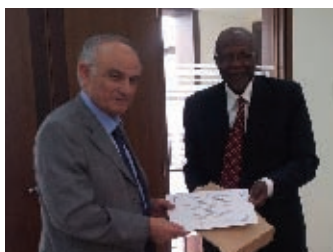


- *Livraison et traitement de plus de 200 titres (ouvrages couvrant les disciplines de sciences physiques et chimiques, sciences biologiques, sciences de la Terre, sciences de l'ingénieur, sciences médicales, sciences agricoles, Sciences de l'éducation, histoire des sciences, histoire du Maroc...).*
- *Réunions du Comité d'Orientation et de Suivi de la Bibliothèque (Politique d'acquisition, Règlement intérieur, Charte de lecteur...)*
- *Adoption du règlement intérieur de la Bibliothèque.*
- *Elaboration d'une charte de lecteur de la Bibliothèque.*
- *Dons de documents offerts par des Académiciens, des institutions nationales et internationales.*

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
- Session plénière 2015 -  
Rapport d'activité

30

### **Mission IV- Coopération, partenariat et présence de l'Académie à l'échelle internationale**



**Coopération de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Académie Nationale des Sciences du Sénégal**

Académie Hassan II des Sciences et Techniques -  
Session plénière 2015 - Rapport d'activité

31

### Activité IV.1 : Coopération bilatérale

- Dans le cadre de renforcement des liens de coopération bilatérale, l'Académie procède à des visites et à la signature de conventions de coopération

#### Coopération bilatérale

<i>Projet de Convention entre la Fondation Mohammed VI pour la protection de l'environnement et l'Académie</i>	
<i>Réunion de travail entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal.</i>	
<i>Signature de l'Accord-cadre de coopération avec le groupe SAFRAN</i>	
<i>Projet de signature d'une convention avec l'Académie des Sciences de Colombie</i>	
<i>Réunion avec les responsables du Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC) de l'Ambassade de France à Rabat</i>	

32

### Activité IV.2 : Coopération multilatérale

<i>Manifestation</i>	<i>Date</i>	<i>Lieu</i>	<i>Participant</i>
<i>Réunion du Conseil d'Inter Academy (IAC)</i>	<i>15-16 mai 2014</i>	<i>Rome - Italie</i>	<i>Pr. Mostapa Bousmina, Chancelier de l'Académie</i>
<i>Réunion du Comité Exécutif du NASAC</i>	<i>5-6 juin 2014</i>	<i>Rabat-Maroc</i>	<i>Pr. Mostapa Bousmina, Chancelier de l'Académie</i>

33

### Activité IV.3 : Participation de l'Académie aux rencontres et manifestations scientifiques nationales et internationales

Manifestation scientifique	Lieu	Date
Atelier sur l'énergie solaire	Kuala Lumpur	2-11 mars 2014
10ème rencontre annuelle scientifique Maroc-Union Européenne sur «Coopération internationale du Maroc en matière de recherche scientifique»	Rabat	16 juin 2014
Deuxième Forum Ministériel sur «Science, Technologie et Innovation en Afrique» organisé par la Banque Africaine pour le Développement	Rabat	Octobre 2014
Conférence Internationale des Responsables des Universités et Institutions Scientifiques d'Expression Française sur «Les liens entre la formation et la recherche dans les sciences»	Rabat	17 novembre 2014
Colloque «Offre de formation francophone à l'international», organisé dans le cadre des travaux préparatoires du Sommet de la Francophonie,	Dakar	29-30 novembre 2014

34

### Activité IV.4 : Visites à l'Académie

- Dans le cadre de renforcement des liens de coopération entre l'Académie et les différents partenaires et institutions scientifiques, l'Académie reçoit la visite de responsables, de personnalités et des délégations scientifiques, appartenant à différentes institutions nationales ou étrangères. Au cours de l'année 2014-2015, l'Académie a reçu la visite de :

Délégation	Date
Visite du Pr. Rachid Yazami, Prix Draper de la National Academy of Engineering	24 février 2014
Délégation Malaisienne	09 décembre 2014
Visite du Président Directeur Général du SAFRAN	17 février 2015



35



## ***V- Organisation administrative de l'Académie***



36

### ***V.1.- Les ressources humaines***

- *Le nombre du personnel de l'Académie n'a pas changé. Il s'élève aujourd'hui à 32 personnes dont 16 cadres supérieurs (docteurs d'Etat ou ingénieurs). Il est composé du personnel statutaire, du personnel détaché, du personnel mis à disposition et de contractuels. Ce personnel est chargé de différentes tâches et activités de l'Académie au sein des différents organes directeurs et administratifs de l'Académie .*
- *Achèvement de l'équipement et de l'aménagement du siège de l'Académie (informatique, bureautique, mobilier, ouvrages...)*

37

## V.2. Budget de l'Académie en DH

Dépenses	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Fonctionnement	5 294 222,05	6 374 613,60	7 949 527,04	10 149 426,29	10 700 000,00	10 700 000,00	10 884 000,00
Equipement	39 789 068,75	38 562 434,96	20 526 429,31	64 829 628,31	56 961 159,13	61 672 166,02	71 447 329,79
<b>TOTAL</b>	<b>45 083 068,75</b>	<b>44 937 048,56</b>	<b>28 475 956,35</b>	<b>70 979 090,60</b>	<b>67 661 159,13</b>	<b>72 372 166,02</b>	<b>82 331 329,79</b>
Coût Session plénière	1 705 969,00	1 062 229,86	1 260 354,35	1 263 087,48	1 880 388,36	2 483 090,31	2 673 881,12
Coût Journée d'étude	58 808,00	13 800,60	-	-	195 572,00	30 000,00	119 287,40
Coût Sessions ordinaires	216 421,00	58 403,00	132 808,44	31 680,00	132 462,00	99 385,00	149 998,00
Conventions de recherche	7 481 649,00	7 359 290,00	3 474 828,37	15 929 237,99	2 409 500,00	990 400,00	6 046 111,00
Soutien aux manifestations scientifiques	186 625,00	271 051,91	99 000,00	457 501,40	111 047,40	249 367,19	309 868,22

Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activité

38

## V.3. Evolution du budget de l'Académie depuis son installation



Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Session plénière 2015  
Rapport d'activité

39

## **Conclusion**

L'Académie Hassan II des Sciences et Technique essaye donc inlassablement de s'acquitter de sa mission en insistant sur l'importance du rôle que devront jouer nos scientifiques en général, et les membres de l'Académie en particulier, afin de contribuer à relever les défis du développement et principalement ceux du développement humain et en tendant toujours vers l'objectif qui lui a été défini par Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le Glorifie -, le 18 mai 2006, celui de « **servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale** » dont elle a fait sa devise.

*Merci pour votre attention*



## COMPTE RENDU DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE 2015

La session plénière solennelle 2015 de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, s'est tenue à Rabat, les 24, 25 et 26 février 2015, sous le thème scientifique général «**Risques naturels : Séismes, ondes de tempête, phénomènes climatiques extrêmes**». Le présent compte rendu synthétise les travaux et activités de cette session.

**Mardi 24 février 2015 (après-midi)**

**Session interne de l'Académie**

**Cérémonie d'ouverture**

**Conférence inaugurale : «Risques environnementaux naturels  
et anthropiques : stratégie à long terme de recherche  
interdisciplinaire intégrée pour les pays en développement»**

Le mardi 24 février 2015, à 14h, les six collèges scientifiques de l'Académie se sont réunis séparément, dans des salles de réunions de l'Académie du Royaume à Rabat, pour passer en revue le bilan des activités de l'année 2014 et discuter le plan d'action 2015.

A 16h30, dans la salle de Conférences, s'est tenue la cérémonie d'ouverture solennelle de la session plénière solennelle 2015 de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques en présence de plusieurs personnalités invitées.

Au début de cérémonie d'ouverture, le Directeur de séance a demandé au public présent d'observer une minute de silence et de réciter la Fatiha à la mémoire du défunt le Pr. Abdellatif Berbich, Secrétaire perpétuel de l'Académie du Royaume du Maroc et éminent membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, décédé le premier janvier 2015. La parole fut ensuite donnée au Pr. Taïeb Chkili pour rendre un vibrant hommage au nom de l'Académie à la mémoire de Feu Pr. Abdellatif Berbich, et exprimer, à cette occasion, au nom de tous les académiciens à l'ensemble des membres de l'honorable famille du défunt, à ses proches et à ses amis, ainsi qu'à sa grande famille scientifique, en particulier les membres de l'Académie du Royaume, ses vives condoléances dans cette cruelle épreuve, ainsi que ses sincères sentiments de compassion, suite à la perte d'un grand homme et d'un grand scientifique du Maroc contemporain, en implorant le Tout- Puissant de l'entourer de Sa miséricorde et de Sa clémence, et de l'accueillir dans Son vaste paradis parmi les élus vénérables, et de leur accorder patience, consolation et réconfort..

Après cet hommage, le Secrétaire perpétuel de l'Académie, le Pr. Omar Fassi-Fehri, a pris la parole pour souhaiter la bienvenue aux participants et rappeler que la tenue de la session plénière solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques est toujours un moment privilégié de réunir de façon régulière l'ensemble de ses membres dans l'objectif d'apporter un éclairage renouvelé sur le progrès incessant des sciences

dans le monde, et de débattre sur les conditions et les voies appropriées qui permettent à celles-ci de contribuer au développement de notre pays.

Il a également remercié toutes les éminentes personnalités scientifiques venant du Maroc et de l'étranger (notamment de France, USA, Espagne, Chili, Japon) pour présenter des communications et contribuer aux débats en liaison avec le thème de la session «**Les risques d'origine naturelle : séismes, ondes de tempête et phénomènes climatiques extrêmes**».

Concernant le déroulement des travaux de cette session, le Pr. Omar Fassi-Fehri a indiqué que la session plénière solennelle de cette année ambitionne d'apporter une contribution et un éclairage sur l'état de la connaissance en matière de lutte contre les risques des catastrophes naturelles, de débattre des solutions appropriées et des tendances de la recherche scientifique et de l'innovation technologique dans ce domaine, de discuter aussi des expériences des autres pays dans la gestion des risques naturels et d'identifier des axes et projets de recherche porteurs.

La tenue de la session plénière solennelle de cette année est marquée par un événement heureux celui de l'entrée en son sein d'illustres nouveaux membres; suite à l'agrément donné par Sa Majesté pour leur nomination comme nouveaux membres au sein de l'Académie.

Au cours de cette cérémonie, fut procédé à la présentation des nouveaux membres résidents, associés et correspondants.

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

Les nouveaux membres résidents sont, outre **M. Mohamed Kabbaj**, ancien Ministre et actuellement Chancelier de l'Université Euroméditerranéenne de Fès, sept anciens membres correspondants promus aujourd'hui membres résidents. Il s'agit par ordre alphabétique du **Pr. Omar Assobhei**, spécialiste des biotechnologies, Président de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah ; **Pr. Mohamed Berriane**, spécialiste en matière de développement régional et local et d'aménagement du territoire, ancien Doyen de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines - Université Mohamed V ; **Pr. Tijani Bounahmidi**, chimiste (ingénierie des procédés), ancien Vice-Président de l'Université Mohammed V-Agdal ; **Pr. Rajaa Cherkaoui El Moursli**, physicienne nucléaire, Vice-Présidente de l'Université Mohamed V ; **Pr. Sellama Nadifi**, spécialiste de génétique et biologie moléculaire, Pr. à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Hassan II - Casablanca ; **Pr. Abdelaziz Sefiani**, responsable du Département de génétique médicale à l'Institut National d'Hygiène de Rabat ; et **Pr. Khalid Sekkat**, économiste, professeur à l'Université Libre de Bruxelles.

Après avoir présenté les deux nouveaux membres associé et résident ; Madame Catherine Bréchignac et Mr. Mohamed Kabbaj, le Secrétaire perpétuel a donné la parole à Mr. le Chancelier pour présenter les nouveaux membres correspondants. Il s'agit

par ordre alphabétique du **Pr. El Kissi Nadia**, spécialiste de mécanique des fluides, **Pr. Haftallaoui El Hassan**, spécialiste en biologie végétale, **Pr. Skalli Wafae**, spécialiste en biomécanique, **Pr. Taouil Redouane**, économiste, **Pr. Yazami Rachid**, spécialiste en électronique.

Au terme de l'allocution du Secrétaire perpétuel, et de la présentation des nouveaux membres, la parole fut donnée à Mme le Pr. Catherine Bréchnignac, membre associé de l'Académie et à Mr. Mohamed Kebbjaj, membre résident de l'Académie, pour interagir à leur présentation et exprimer leurs remerciements et leur gratitude à Sa Majesté le Roi Mohammed VI, Protecteur Tutélaire de l'Académie.

A la fin de la cérémonie d'ouverture, l'Académie a procédé à l'élection de Pr. Tijani Bounahmidi comme Directeur des séances, en remplacement de Pr. Mahfoud Zyad dont le mandat est venu à expiration.

Par la suite, l'Académie a poursuivi ses travaux par une conférence introductive sur *«la stratégie de recherche interdisciplinaire à long terme pour réduire les risques naturels et leurs impacts sur la société et l'environnement dans les pays en développement»*, présentée par le Pr. Juan Carlos Castilla, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, membre de l'Académie Chilienne des Sciences et de l'Académie Nationale des Sciences des Etats Unis d'Amérique.

Une discussion a suivi cette conférence, dirigée principalement par Mr. Tijani Bounahmidi, Directeur des séances et membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

### **Mercredi 25 février 2015 (matin)**

#### **Séance plénière I : Phénomènes climatiques extrêmes**

La matinée du mercredi 25 février 2015 fut consacrée au thème : **«Phénomènes climatiques extrêmes»**, au cours de laquelle quatre exposés furent présentés, respectivement par :

- Mr. Abdellah Mokssit, Directeur de la Météorologie Nationale, membre correspondant de l'Académie, sur *«Présentation générale des phénomènes climatiques extrêmes : cas du Maroc»*,
- Mr. Brahim El Messaoudi, Chef du Centre National d'Exploitation Météorologiques, Direction de Météorologie Nationale, sur *«Situation météorologique des fortes houles sur les côtes Atlantiques Marocaines»*,
- Pr. Driss Ouazar, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Directeur de l'Ecole Nationale des Mines, Rabat, sur *«Gestion intégrée des inondations»*,
- Pr. Donald A. Wilhite, Professor of Applied Climate Science in the School of Natural Resources at the University of Nebraska –Lincoln, USA, sur *«Gestion intégrée des sécheresses : un nouveau paradigme pour le 21<sup>ème</sup> siècle»*.

Une discussion a suivi ces exposés, animée principalement par Mr Tijani Bounahmidi, Directeur des séances.



Après la discussion, le Directeur des séances a donné la parole aux nouveaux membres résidents et correspondants pour exprimer leurs remerciements et leur gratitude à Sa Majesté le Roi et à l'Académie suite à l'agrément donné par Sa Majesté pour leur nomination comme de nouveaux membres au sein de l'Académie.

### **Mercredi 25 février 2015 (après-midi)** **Séance plénière II : Séismes et ondes de tempête**

L'après-midi du mercredi 25 février 2015 fut consacré à la séance plénière II sur le thème «**Séismes et ondes de tempête**», au cours de laquelle cinq exposés furent présentés, respectivement, par :

- Pr. Philippe Taquet, Président de l'Académie des Sciences – Institut de France, Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle de France, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, sur «*Le temps de la Terre, le temps de l'Homme*»,
- Pr. Michel Campillo, Professeur à l'Université Josef Fourier, Grenoble, France, sur «*Apport de l'imagerie basée sur le bruit sismique au suivi temporel des structures géologiques (volcan, failles, injections...)*»,
- Pr. Tajeddine Cherkaoui, ancien Professeur à l'Université Mohammed V de Rabat et Ahmed El Hassani, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et Professeur à l'Université Mohammed V de Rabat, sur «*Evaluation et atténuation de l'aléa sismique au Maroc*»,
- Pr. Ramon Carbonell, Professeur à l'Institute of Earth Sciences Jaume Almeria – Barcelone, Espagne, sur «*De la topographie de surface au manteau supérieur une longue section sismique de 700 km à travers le Maroc*»,
- Pr. Fida Medina, ancien Professeur à l'Université Mohammed V – Rabat, Président de l'Association Marocaine des Géosciences, sur «*Les tsunamis : état des connaissances et risques pour le Maroc*».

Une discussion a suivi ces exposés, dirigée par le Pr. Tijani Bounahmidi, Directeur des séances.

### **Jeudi 26 février 2015 (matin)** **Séance plénière III : Stratégies d'adaptation**

La première partie de la séance du jeudi matin 26 février 2015 fut consacrée à la séance plénière III sur le thème «**Stratégies d'Adaptation**», au cours de laquelle deux exposés furent présentés, respectivement, par :

- Mr. Kenzo Hiroki, Councilor, Cabinet Secretariat of Japan (Water Cycle Headquarters) and Director, Water Resources Planning Division, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan., sur «*Stratégie de la réduction des risques catastrophiques et le rôle de la science et la technologie*»,
- Pr. Hervé Le Treut, Directeur de l'Institut Pierre Simon Laplace, Paris, membre de l'Académie des Sciences de France, sur «*Le changement climatique : quelle stratégie pour passer de l'échelle globale à celle du territoire*».

La deuxième partie de la séance du jeudi matin 26 février 2015 a été consacrée à un panel consacré au thème «**quelles stratégies d'adaptation pour le Maroc**», animé par le Pr. Albert Sasson et a donné lieu à cinq interventions présentées par :

- Mr. Abdelouahed Fikrat, Directeur Aménagement du Territoire,
- Mr. Brahim El Messaoudi, Chef du Centre National d'Exploitation Météorologiques, Direction de la Météorologie Nationale,
- Mr. Abdelhamid Benabdelfadel, Directeur de l'Agence du bassin hydraulique du Loukkos,
- Mr. Mohamed Badraoui, Directeur de l'Institut National de la Recherche Agronomique,
- Pr. Juan Carlos Castilla, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, membre de l'Académie Chilienne des Sciences.

Une discussion a suivi ces interventions, dirigée par le Pr. Tijani Bounahmidi, Directeur des séances.

A la fin de cette discussion une convention de partenariat a été signée entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et le NASAC par le Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel de l'Académie et le Pr. Mostapha Bousmina, Chancelier de l'Académie et Président du NASAC.

**Jeudi 26 février 2015 (après-midi)**  
**Séance interne de l'Académie**  
**Présentation du rapport d'activité 2014-2015**  
**Renouvellement des instances de l'Académie**  
**&**  
**Clôture de la Session**

La première partie de la séance du jeudi 26 février 2015 après-midi a été consacrée à la présentation et à la discussion du rapport d'activité de l'Académie durant l'année 2014-2015.

Au début de cette séance, la parole fut donnée au Secrétaire perpétuel de l'Académie pour présenter le rapport d'activité 2014-2015.

Dans ce rapport, ont été présentées les actions mises en œuvre par l'Académie au cours de l'année écoulée suivant les différentes missions que le Dahir de sa création lui confère. Les actions phares réalisées durant l'année 2014-2015 concernent les missions suivantes :

- *promotion, développement et financement de la recherche scientifique et technologique par :*
  - l'organisation des réunions des organes directeurs de l'Académie ;
  - l'organisation des sessions ordinaires thématiques ;
  - la préparation de la session plénière 2015 ;
  - le suivi de financement des projets dans le cadre de l'appel d'offres 2010-2011 ;
  - le suivi de financement des projets dans le cadre de coopérations internationales ;

- l'évaluation du programme d'appui des projets de la recherche scientifique ;
  - l'édition du rapport sur l'expérience de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques en matière d'appui à la recherche scientifique et technique ;
  - Le soutien aux manifestations scientifiques ;
  - l'attribution des allocations d'excellence (édition 2014) aux lauréats du concours général en sciences et techniques ;
  - l'appui à l'Association marocaine de sciences économiques par l'organisation d'une école académique ouverte aux étudiants doctorants en sciences économiques et par l'octroi des prix de thèse aux jeunes diplômés en sciences économiques ;
  - la participation à 5 manifestations scientifiques au Maroc et à l'étranger.
- *définition des politiques nationales de la recherche scientifique et technologique par :*
    - Organisation et participation à des rencontres consacrées à la recherche scientifiques et technologique;
    - Participation de l'Académie aux travaux d'instances nationales (CSEFRS, CNACES, CA du CNRST...).
- *développement de l'enseignement des sciences et promotion de la culture scientifique par :*
    - Participation de l'Académie aux travaux de la Commission mise en place par le Ministère de l'Education Nationale et de la Formation professionnelle, pour le pilotage et le suivi de la question de l'enseignement des sciences et des technologies, et à l'orientation des élèves vers ces filières,
    - Evaluation préliminaire des activités menées dans les clubs scientifiques parrainés par l'Académie dans certains Lycées,
    - Préparation des kits pédagogiques et didactiques et du document de synthèse traitant les enseignements formels et informels ainsi que les programmes des sciences dispensés au niveau des collèges et lycées,
    - Participation de l'Académie au consortium AEMASE H2020 (African-European-Mediterranean Academies for Science in Education – Horizon 2020) pour la promotion de l'enseignement des sciences,
    - Organisation de 9<sup>ème</sup> édition des journées «les jeunes et la science au service du développement»,
    - l'organisation d'un cycle de conférences,
    - la diffusion des publications de l'Académie (Actes de la session plénière 2014, Bulletin d'information de l'Académie (N°14, 15 et 16), Lettre de l'Académie (N°22, 23 et 24) et Volume 4 (1 et 2) du Journal de l'Académie «Frontiers in Science and Engineering».
- *promotion de la coopération scientifique et du renforcement de la présence de l'Académie sur le plan international par :*
    - la signature d'une convention de coopération avec SAFRAN ;
    - La signature d'une convention de coopération avec l'Académie des Sciences de Colombie,
    - Intensification des relations de coopération avec les pays de l'Afrique :

- NASAC,
  - Coopération avec plusieurs Académies des Sciences Africaines,
  - Elaboration par le CA d'une plate forme de coopération scientifique et technique avec les pays de l'Afrique,
  - Renforcement de la coopération avec l'Académie des Sciences et Techniques du Sénégal,
  - Mise en place d'un réseau africain en Sciences Mathématiques.
- Réunion du Conseil d'Inter Academy (IAC) et Réunion de l'I A Partnership,
  - Réunion du Comité Exécutif du NASAC,
  - Réunions tenues avec le GID.

Après cette présentation, les académiciens purent entamer une large discussion qui a permis de dégager un certain nombre de recommandations telles que :

- Réaliser un portail commun pour les projets de recherche soutenus par l'Académie et par le CNRST ;
- Transférer progressivement l'organisation des journées « les jeunes et la science » au Ministère de l'Education Nationale ;
- Organiser une rencontre internationale sur les mathématiques ;
- Les activités de l'Académie méritent des actions de suivi pour voir si les recommandations et les avis de l'Académie sont pris en compte par les politiques dans le cadre de développement de la recherche dans notre pays,
- Faire un travail de communication autour du travail de l'Académie auprès de grand public ;
- Garder le contact avec les porteurs de projets soutenus par l'Académie qui sont arrivés à termes de leur projet,
- Garder le matin pour la cérémonie d'ouverture de la session plénière solennelle,
- Préparer pour l'année 2016 un bilan de 10 ans à l'occasion du 10ème anniversaire de l'installation de l'Académie,
- Maintenir dans le budget de l'Académie une ligne budgétaire dédiée spécifiquement au financement des projets de recherche,
- Constituer une équipe auprès du Secrétaire perpétuel pour discuter les modalités de médiatisation de la session plénière solennelle et des activités de l'Académie
- Capitaliser le travail effectué par l'Académie et procéder à une communication large et efficace,
- Rédiger un rapport de synthèse sur le thème général de la session plénière,
- Permettre à l'Académie d'infléchir la position politique en encourageant la recherche et la valorisation de ses résultats pour anticiper les besoins de la société.

Suite à cette discussion, le Secrétaire perpétuel a pris la parole pour apporter les précisions supplémentaires suivantes :

- Réfléchir ensemble aux réponses appropriées à toutes les questions pertinentes posées et qu'il n'y a pas de réponses prêtes.
- Réfléchir ensemble à l'amélioration de la communication ; à signaler qu'un nouveau site web de l'Académie contenant toutes les activités et les documents de l'Académie sera opérationnel incessamment;

- Vue la réussite des sessions ordinaires thématiques organisées en 2014, les collèges sont vivement invités à réfléchir sur les sessions ordinaires thématiques au cours de cette année (au moins une session par collège) ;
- Maintenir l'encouragement de l'enseignement des sciences, car on ne peut pas espérer avoir une recherche scientifique de qualité si on ne réussit pas l'enseignement des sciences.
- Enfin, se féliciter de la réussite de la session plénière solennelle 2015.

Après la présentation et la discussion du rapport d'activité, l'Académie a poursuivi ses travaux par la réunion de chaque collège scientifique pour procéder à l'élection du directeur et co-directeur de chaque collège.

Suite à la réunion des collèges scientifiques, l'Académie a poursuivi ses travaux et chaque ancien directeur des collèges a présenté les résultats de l'élection du directeur et du co-directeur suivants :

- ***Collège des Sciences et techniques du vivant***
  - Directeur : Albert Sasson (reconduit)
  - co-directeur : Mme Sellama Nadifi (élue)
- ***Collège des Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de la mer***
  - Directeur : Mr. Ahmed El Hassani (reconduit)
  - co-directeur : Mr. Driss Ouazar (reconduit)
- ***Collège des Sciences physiques et chimiques***
  - Directeur : Mr. Rajae Cherkaoui Morselli (élue)
  - co-directeur : Mr. Sassi Moukhtar (élu)
- ***Collège des Sciences de la modélisation et de l'information***
  - Directeur : Mr. Youssef Ouknine (élu)
  - co-directeur : Mr. Abdelghani Bellouquid (élu)
- ***Collège des Ingénierie, Transfert et Innovation technologiques***
  - Directeur : Mr Ali Boukhari (reconduit)
  - co-directeur : Mr Tijani Bounahmedi (reconduit)
- ***Collège des Etudes stratégiques et Développement économique***
  - Directeur : Mr. Mohamed Benriane (élu)
  - co-directeur : Mr. Khalid Essekat (reconduit)

Après, la parole a été donnée au Secrétaire perpétuel qui a demandé de compléter les instances de l'Académie par l'élection de nouveaux membres du Conseil de l'Académie et de la Commission des travaux. Ces élections ont abouti aux résultats suivants :

Membres du Conseil d'Académie :

- Mr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel,
- Mr. Mostapha Bousmina, Chancelier,
- Mme. Rajae Cherkaoui Morselli,
- Mr. Ali Boukhari,
- Mr. Youssef Ouknine.

Membres de la Commission des travaux :

- Mr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel
- Mr. Mostapha Bousmina, Chancelier,
- Mr. Tijani Bounahmidi,
- Mr. Alber Sasson,
- Mr. Nouredine El Aoufi,
- Mr. AhmedEl Hassani,
- Mr. Ali Boukhari,
- Mr. Driss Aboutajeddine,

A la fin de cette séance, Monsieur le Secrétaire perpétuel a pris la parole et dégagé les principales conclusions que l'on peut tirer de la session, en insistant sur l'importance du thème générale qui a porté sur les risques naturels, sur l'interaction du thème entre la science et la société, sur sa richesse scientifique et sur la qualité des invités, des interventions et débats ; il a également exprimé ses vifs remerciements à ses confrères et consœurs, à tout le personnel de l'Académie, aux interprètes ainsi que ses félicitations pour la réussite de cette session.

La clôture des travaux est intervenue à l'issue de cette séance, au cours de laquelle l'ensemble des académiciens ont adopté un message de loyauté, de gratitude et de déférence adressé à Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu L'assiste et Le protège – pour la Haute Sollicitude dont Il entoure l'ensemble de la communauté scientifique du Maroc, , ainsi que pour l'intérêt qu'accorde le Souverain à l'Académie en tant qu'institution au service du développement humain et de l'intégration du Maroc dans la société du savoir.





## **LISTE DES PARTICIPANTS**



## LISTE DES PARTICIPANTS à la session plénière (24-26 février 2015)

### Membres de l'Académie

Prénom et NOM	Qualité/Profession	Collège
Driss ABOUTAJDINE	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SMI
Daoud AIT-KADI	Membre résident Professeur, Université Laval, Canada	SMI
Mohamed AIT-KADI	Membre résident, Professeur, IAV Hassan II - Rabat	STETM
Ismail AKALAY	Membre correspondant, MANAGEM (ONA)	ITIT
Omar ASSOBBEI	Membre résident Professeur, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès	STETM
Abdelghani BELLOUQUID	Membre correspondant Professeur, Université Cadi Ayyad, Marrakech	SMI
Rachid BENMOKHTAR BENABDELLAH	Membre résident Professeur	ESDE
Abdelilah BENYOUSSEF	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SPC
Mohamed BERRIANE	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	ESDE
Jean-Jacques BONNET	Membre associé, Professeur, Université Paul Sabatier, Toulouse, France	SPC
Ali BOUKHARI	Membre résident, Professeur, Université Ibn Tofail de Kénitra	ITIT

---

Collèges (abréviations) :

- SPC : Sciences Physique et Chimiques
- STV : Sciences et Techniques du Vivant
- SMI : Sciences de la Modélisation et de l'Information
- ESDE : Etudes Stratégique et Développement Economique
- ITIT : Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique
- STETM : Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer

Prénom et NOM	Qualité/Profession	Collège
Tijani BOUNAHMIDI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	ITIT
Mostapha BOUSMINA	Membre résident, Professeur, Chancelier Académie Hassan II des Sciences et Techniques	SPC
Catherine BRECHIGNAC	Membre associé, Professeur, Académie des Sciences, France	SPC
Juan Carlos CASTILLA ZENOBÍ	Membre associé, Professeur, Catholic University Chili	STETM
Rajaa CHERKAOUÍ EL MOURSÍ	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SPC
Taïeb CHKILI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	
Jean DERCOURT	Membre associé, Professeur, Académie des Sciences, France	STETM
Rajae EL AOUAD	Membre résident, Professeur, Institut National d'Hygiène Rabat	STV
Noureddine EL AOUI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	ESTE
Ahmed EL HASSANI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	STETM
Abdelhaq EL JAI	Membre résident, Professeur, Université Perpignan, France	SMI
Nadia EL KISSI	Membre correspondant, Directeur de Recherche - CNRS – France	
Abdeljabbar EL MANIRA	Membre correspondant, Professeur, Karolinska Institute, Suède	STV
El Mokhtar ESSASSI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SPC
Omar FASSI-FEHRI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat Secrétaire Perpétuel, Académie Hassan II des Sciences et Techniques	SPC
Abdelkrim FILALI MALTOUF	Membre correspondant, Professeur, Université Mohammed V de Rabat	STV
Francisco GARCIA GARCIA	Membre associé	STV
Malik GHALLAB	Membre résident Directeur de recherche -LASS – Toulouse, France	SMI

Prénom et NOM	Qualité/Profession	Collège
Claude GRISCELLI	Membre associé Professeur, Université René Descartes – France	STV
El Hassan BELARBI HAFTALLAOUI	Membre correspondant, Professeur, Université d’Almeria, Espagne	STV
Mohamed KABBAJ	Membre résident Université Euro-Méditerranéenne de Fès	ESDE
Abderrahim MAAZOUZ	Membre résident Professeur – INSA, Lyon - France	ITIT
Carlos MARTINEZ ALONSO	Membre associé, Professeur, CSIC – Madrid, Espagne	STV
Abdallah MOKSSIT	Membre correspondant Direction de la Météologie Nationale, Casablanca	STETM
Sellama NADIFI	Membre résident, Professeur, Université Hassan II de Casablanca	STV
Ahmadou Lamine NDIAYE	Membre associé, Académie des Sciences et Techniques du Sénégal	STV
Driss OUAZAR	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	STETM
El Maati OUHABAZ	Membre correspondant, Professeur, Université de Bordeaux, France	SMI
Youssef OUKNINE	Membre résident, Professeur, Université Cadi Ayyad Marrakech	SMI
Valeriano RUIZ HERNANDEZ	Membre associé, Professeur, Universidad de Sevilla, Espagne	ITIT
El Hassan SAIDI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SPC
Albert SASSON	Membre résident Professeur	STV
Abdelaziz SEFIANI	Membre résident, Professeur, Institut National d’Hygiène Rabat	STV
Khalid SEKKAT	Membre résident, Professeur, Université Libre de Bruxelles, Belgique	ESDE
Wafa SKALLI	Membre correspondant, Professeur, ENSAM – Paris	ITIT
Mohamed SMANI	Membre correspondant, R&D Maroc	ITIT

Prénom et NOM	Qualité/Profession	Collège
Philippe A. TANGUY	Membre associé, Professeur, Ecole Polytechnique, Montréal, Canada	ITIT
Redouane TAOUIL	Membre correspondant, Professeur, Centre de Recherche en Économie de Grenoble, France	ESDE
Philippe TAQUET	Membre associé, Professeur, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France	STETM
Rachid YAZAMI	Membre correspondant, Professeur, Nanyang Technological University - Singapour.	SPC
André ZAOUÏ	Membre associé, Professeur, Ecole Polytechnique, France	SPC
Mahfoud ZIYAD	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	ITIT

## LISTE DES INVITÉS

### ayant présenté une communication

Prénom et NOM	Affiliation
Mohamed BADRAOUI	Institut National de la Recherche Agronomique, Maroc
Abdelhamid BENABDELFADEL	Agence du bassin hydraulique du Loukkos, Maroc
Michel CAMPILLO	Université Joseph Fourier, Grenoble - France
Ramon CARBONELL	Institute of Earth Sciences Jaume Almeria - Barcelone, Espagne
Tajeddine CHERKAOUI	Université Mohammed V - Rabat, Maroc
Brahim EL MESSAOUDI	Centre National d'Exploitation Météorologique, Direction de la Météorologie Nationale, Maroc
Abdelouahed FIKRAT	Directeur, Aménagement du Territoire, Maroc
Kenzo HIROKI	Councilor, Cabinet Secretariat of Japan (Water Cycle Headquarters) and Director, Water Resources Planning Division, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan
Fida MEDINA	Président de l'Association Marocaine des Géosciences
Hervé LE TREUT	Directeur de l'Institut Pierre Simon Laplace, Paris, France Membre de l'Académie des Sciences de France
Donald A. WILHITE	Professor of Applied Climate Science in the School of Natural Resources, University of Nebraska, Lincoln, U.S.A



صورة المشاركين في الدورة العامة الرسمية لسنة 2015  
Photo des participants à la Session Plénière Solennelle 2015



وخلال الجلسة الختامية، تناول الكلمة السيد أمين السر الدائم حيث تطرق لأهم النتائج التي تم استخلاصها من هذه الدورة، وأكد على جودة وغناء المداخلات والمناقشات، كما جدد تشكراته لجميع المساهمين في هذه الدورة وخصوصا للشخصيات التي تقدمت بعروض أو مداخلات في الموضوع العلمي العام لهذه الدورة.

بعد ذلك أعلن مدير الجلسات عن اختتام أشغال هذه الدورة بعد المصادقة على نص برقية الولاء والإخلاص المرفوعة إلى السدة العالية بالله صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله والمشفوعة بمشاعر التقدير والعرفان، وبعبارات الشكر والامتنان.

### • هيئة علوم الفيزياء والكيمياء

- المدير: انتخاب السيد مصطفى بوسمينة
- نائب المدير: انتخاب السيد عبد الإله بن يوسف

### • هيئة علوم التنظير والإعلام

- المدير: انتخاب السيد عبد الحق الجاي
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد عبد المالك عزيزي

### • هيئة علوم الهندسة، الإبداع والنقل التكنولوجي

- المدير: انتخاب السيد علي البخاري
- نائب المدير: انتخاب السيد تيجاني بونحميدي

### • هيئة الدراسات الإستراتيجية والتنمية الاقتصادية

- المدير: إعادة انتخاب السيد نور الدين العوفي
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد محمد بريان

بعد ذلك، أعطيت الكلمة لأمين السر الدائم لتقديم نتائج انتخاب أعضاء مجلس الأكاديمية، وأعضاء لجنة الأعمال، التي أسفرت على إعادة انتخاب:

### • أعضاء مجلس الأكاديمية، السادة:

- عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم،
- مصطفى بوسمينة، نائب أمين السر الدائم،
- ألبير ساسون،
- أحمد الحسني،
- عبد الحق الجاي.

### • أعضاء لجنة الأعمال، السادة:

- عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم،
- مصطفى بوسمينة، نائب أمين السر الدائم،
- نور الدين العوفي،
- يوسف أكنين،
- علي البخاري،
- الطيب الشكيلي،
- محفوض زياد،
- محمد آيت قاضي،

- فيليب طانجي Philippe Tanguy

- الهدف من دعم التظاهرات العلمية هو تشجيع الطلبة الدكاترة على المشاركة والمساهمة في أشغال هذه التظاهرات،
  - عند زيارة الأكاديمية من طرف أي وفد أجنبي يحضر ممثل على الأقل من الهيئة العلمية المعنية،
  - تعتبر اليوم المرجعية المتعلقة بالمؤشرات العلمية والتكنولوجية في المغرب هي الوثيقة التي نشرتها الأكاديمية سنة 2012،
  - اعتبارا لنجاح الدورات العادية الموضوعاتية لسنة 2013، نحث الهيئات العلمية للأكاديمية للتفكير في تنظيم الدورات العادية الموضوعاتية خلال سنة 2014 (دورة واحدة على الأقل لكل هيئة)،
  - يجب الاستمرار في إجراء الدراسات والتحليل والتحريرات المتعلقة بقطاع البحث العلمي، كما يجب نشر الوضعية الراهنة في كل مجال علمي،
  - أخيرا نهئى أنفسنا على نجاح الدورة الرسمية العامة لسنة 2014.
- بعد هذه الإضافات، رفعت الجلسة للسماح للهيئات العلمية بالاجتماع على حدة لعرض حصيلة الأنشطة خلال سنة 2013، وتقديم برنامج عمل لسنة 2014، وأيضا لانتخاب المدير و نائب المدير لكل هيئة.

### الجمعة 21 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 21 فبراير 2014 بعد الزوال

#### تجديد أجهزة الأكاديمية

#### الجلسة الختامية

بعد زوال يوم الجمعة 21 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 21 فبراير 2014، واصلت الأكاديمية أشغالها في جلسة مغلقة، قدم فيها مديرو الهيئات العلمية حصيلة الأنشطة لكل هيئة خلال سنة 2013، وبرنامج عمل لسنة 2014. أما بخصوص انتخاب مدير ونائب مدير كل هيئة، فقد تم إعادة انتخاب جل مديري ونائبي المدير لكل هيئة، حيث كانت النتائج كالتالي:

#### • هيئة علوم وتقنيات الأحياء

- المدير: إعادة انتخاب السيد ألبير ساسون
- نائبة المدير: إعادة انتخاب السيدة رجاء العواد

#### • هيئة علوم وتقنيات البيئة والأرض والبحر

- المدير: إعادة انتخاب السيد أحمد الحسني
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد إدريس وزار.

بعد تقديم هذا التقرير، جرت مناقشة واسعة بين الأكاديميين، أسفرت على التوصيات التالية:

- البحث عن أنجع السبل للتدبير المالي لمشاريع البحث المدعمة من طرف الأكاديمية،
- توفير الدعم المالي لمشاريع البحث ذات الأولوية التي تتطلب فدرالية الكفاءات دون المرور عبر طلب العروض،
- القيام بزيارات ميدانية للمواقع التي توجد بها مشاريع البحث المدعمة من طرف الأكاديمية،
- تقديم مقترحات لتعزيز تدريس العلوم عن طريق الانترنت وتشجيع التجديد التربوي الذي يعتمد على تعلم كيفية التعلم باستخدام المحاكاة الحاسوبية،
- إعادة النظر في برنامج الدورة العامة الرسمية كاقترح مثلاً عقد اجتماعات الهيئات العلمية قبل جلسة الافتتاح،
- الرفع من قيمة الدعم للتظاهرات العلمية،
- إبلاغ الأكاديميين في الوقت المناسب بالزيارات للأكاديمية من قبل الوفود الأجنبية،
- تقديم مشورة الأكاديمية بشأن محتوى المناهج الدراسية المتعلقة بتدريس العلوم وليست المساهمة في محتوى هذه المناهج،
- تمكين الأعضاء المشاركين والأعضاء المقيمين في الخارج من المساهمة في اجتماعات الهيئات العلمية عن طريق وسائل الاتصال السمعية البصرية عبر فيديو محاضرات،
- اعتبار سنة 2014 سنة محورية لتقييم عمل وأنشطة الأكاديمية وإعداد حصيلة القرارات والمعايير المعتمدة وأيضا النتائج التي تم الحصول عليها في إطار المشاريع التي تدعمها الأكاديمية،
- مواصلة تعزيز أو اصر التعاون العلمي والتقني مع البلدان الإفريقية،
- اعتبار 2014 سنة التعاون بامتياز مع الدول الأفريقية.

في ختام هذه المناقشة، تناول الكلمة أمين السر الدائم، لإضافة المعلومات والتوضيحات التالية:

- حصيلة النتائج المحصل عليها في إطار المشاريع المدعمة من طرف الأكاديمية انطلاقاً من طلب العروض 2010-2011 تضل لحد الساعة مؤقتة طالما أن هذه المشاريع لازالت في طور الإنجاز،
- العمل على تحقيق أفضل برمجة للدورة العامة الرسمية مستقبلاً،

• تطوير تدريس العلوم والنهوض بالثقافة العلمية من خلال:

- تنظيم اجتماع تنسيقي مع مصالح وزارة التربية الوطنية بحضور ممثلين عن 16 أكاديمية جهوية للتربية والتكوين والمركز الوطني للتجديد التربوي والتجريب التابع لنفس الوزارة،
- تنظيم ورشة حول التكوين في النشر والتواصل العلمي الهادف إلى تنمية المنشورات العلمية،
- تنظيم الدورة الثامنة لأيام «الشباب والعلم في خدمة التنمية» تحت الشعار الرئيسي «الماء»، والتي تميزت هذه السنة بالانخراط القوي للأكاديميات الجهوية للتربية والتكوين الذين قاموا بتنظيم أنشطتهم الخاصة موازاة مع الأنشطة المقررة من طرف الهيئات العلمية لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات،
- المساهمة في التكوين المتعلق بالمتاحف العلمية والتقنية الذي نظم تحت عنوان «تدبير مجموعات التراث والوساطة بين العلم والمجتمع»
- تنظيم حلقة المحاضرات (الأستاذ عبد الله آجي، الأستاذ هيروشي أوكومورا، الأستاذ روجي غينسنوري، الأستاذ بوشة الصراوي، الأستاذ إيف كيري)،
- المساهمة في تنظيم الندوات، واللقاءات والأيام الدراسية...
- نشر منشورات الأكاديمية (وقائع جلسات الدورة الرسمية 2013، النشرة العلمية رقم 13، رسالة الأكاديمية رقم 19، 20 و 21، و المجلد 3 من مجلة الأكاديمية «حدود في العلوم والهندسة».

• النهوض بالتعاون العلمي وتعزيز حضور الأكاديمية على مستوى الدولي من خلال:

- التوقيع على معاهدة الإطار للتعاون والشراكة مع المعهد الوطني للفنون والمهن الفرنسي،
- التوقيع على معاهدة الإطار مع المقابلة السويدية «الفيل الأخضر بالمغرب»،
- زيارة بعض أعضاء هيئة علوم وتقنيات البحر، والأرض والماء والبيئة لأكاديمية العلوم الفرنسية،
- تنظيم اجتماع اللجنة التنفيذية للشبكة الإفريقية لأكاديميات العلوم،
- المساهمة في الورشة المنظمة من طرف الأكاديمية الإفريقية حول موضوع «تدريس العلوم»،
- المساهمة في اللقاء العلمي الرابع لأكاديمية الطب الدولية،
- المشاركة في الجمع العام للشبكة الإفريقية لأكاديميات العلوم الذي تم فيه انتخاب الأستاذ مصطفى بوسميني نائب أمين السر الدائم للأكاديمية رئيسا للشبكة الإفريقية لأكاديميات العلوم،
- مشاركة الأكاديمية في التظاهرات العلمية الدولية داخل وخارج الوطن.

عمل وأنشطة الأكاديمية خلال سنة 2013-2014 وذلك في إطار تفعيل المهام الرئيسية للأكاديمية المنصوص عليها في الظهير الشريف المحدث لها. إن الأنشطة الرئيسية التي تم القيام بها من طرف الأكاديمية خلال سنة 2013-2014 تتعلق بالمجالات التالية:

- النهوض وتنمية وتمويل البحث العلمي والتكنولوجي من خلال:
  - تنظيم اجتماعات الأجهزة المشرفة على إدارة أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات،
  - تنظيم الدورات العادية الموضوعاتية للأكاديمية،
  - إعداد وتهيئ الدورة الرسمية العامة لسنة 2014،
  - متابعة تمويل مشاريع البحث التي تم دعمها من طرف الأكاديمية في إطار طلب العروض 2010-2011،
  - متابعة تمويل مشاريع البحث في إطار التعاون الدولي،
  - دعم التظاهرات العلمية؛ حيث تم دعم 31 تظاهرة علمية إلى غاية نهاية فبراير 2014،
  - تقديم منح التميز (مباراة 2013) للفائزين في المباراة الوطنية في العلوم والتقنيات التي شارك فيها المتفوقون الأولون الحاصلين على شهادة البكالوريا لسنة 2013 في المسالك العلمية والتقنية،
  - مساهمة في تمويل المباراة الوطنية في الابتكار والبحث التنمية والتكنولوجيا المنظمة من طرف جمعية البحث التنموي بالمغرب،
  - دعم الجمعية المغربية للعلوم الاقتصادية لتنظيم المدرسة الأكاديمية حول موضوع «النمذجة ومستقبلية الاقتصاد» مفتوحة لطلاب الدكتوراه في الاقتصاد، ومنح جائزة لأحسن أطروحة الدكتوراه في العلوم الاقتصادية،
  - مساهمة الأكاديمية في 5 تظاهرة علمية داخل الوطن و7 تظاهرة خارج الوطن.

- المساهمة في السياسة الوطنية للبحث العلمي والتقني من خلال:
  - إجراء الدراسات والتحقيقات حول قطاع البحث العلمي والتكنولوجي، ونشر وثيقة جديدة بعنوان «البحث العلمي في مجال العلوم الطبية والصحة»،
  - مساهمة الأكاديمية في أشغال الهيئات الوطنية (اللجنة الوطنية لتنسيق التعليم العالي، المجلس الإداري للمركز الوطني للبحث العلمي والتقني...).

**الخميس 20 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 20 فبراير 2014 زوالاً**  
**الجلسة العامة الثالثة حول «فرص وتطبيقات الطاقات المتجددة»**

خصصت الجلسة لزوال يوم الخميس 20 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 20 فبراير 2014، لدراسة الموضوع المتعلق ب «فرص وتطبيقات الطاقات المتجددة»، الذي تم خلالها الاستماع إلى ثلاثة عروض، قدمها على التوالي كل من:

- الأستاذ جوليان بلانكو، مركز الأبحاث CIEMAT بإسبانيا، حول «إقتران بين الطاقة الشمسية المركزة وتلية المياه»؛
- الأستاذ إبراهيم بن حمو، كلية العلوم السملالية، جامعة القاضي عياض، مراكش، حول «النظام الشمسي للتهوية والتسخين في عمارات السكن بمراكش ونواحيها»؛
- الأستاذ جيل فلامان، مدير مختبر CNRS, PROMES فرنسا، حول «تكنولوجيات الأفرنة الشمسية واستعمالها في إنتاج الحوامل الطاقية في الصناعة».

**الجمعة 21 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 21 فبراير 2014 صباحاً**  
**جلسة تقديم الخلاصات والتوصيات الناتجة عن الجلستين للحوار والمناقشة**

و

**جلسة مغلقة لتقديم التقرير السنوي حول أعمال ونشاط الأكاديمية**  
**خلال سنة 2013-2014**

و

**اجتماعات الهيئات العلمية**

خصصت الحلقة الأولى من جلسة يوم الجمعة 21 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 21 فبراير 2014 لتقديم الخلاصات والتوصيات الناتجة عن الجلسة الأولى المخصصة للحوار والمناقشة حول موضوع «البحث والتكوين في الطاقات المتجددة»، والجلسة الثانية المخصصة للحوار والمناقشة حول موضوع «التطوير والإدماج الصناعي في الطاقات الجديدة». بعد المناقشة ارتأى المشاركون أن يقوموا المقررين بإعداد وثيقة موجزة تتضمن رأي الأكاديمية بشأن أحسن الطرق لمصاحبة الإستراتيجية الوطنية الجديدة للطاقة على مستوى التكوين والبحث وكذلك على مستوى الوسائل الضرورية لاستدانة هذه الإستراتيجية.

بعد ذلك تابعت الأكاديمية أشغالها في جلسة مغلقة، خصصت لتقديم ومناقشة التقرير السنوي لعمل وأنشطة الأكاديمية خلال سنة 2013-2014. في بداية هذه الجلسة، أعطيت الكلمة لأمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لتقديم التقرير عن

• الأستاذ عبد القادر أتزوجيت، كلية العلوم السملالية، جامعة القاضي عياض، مراكش،  
حول «النظم الهجينة للطاقات المتجددة».

وتلت هذه العروض مناقشة عامة.

### الخميس 20 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 20 فبراير 2014 صباحا جلسة الحوار والمناقشة حول موضوع «البحث والتكوين في الطاقات المتجددة»

خصص يوم الخميس 21 فبراير 2013 صباحا، لجلستين للحوار والمناقشة، الأولى حول موضوع «البحث والتكوين في الطاقات المتجددة»، تم خلالها الاستماع إلى سبعة مداخلات قدمها كل من السيد بدر إيكن (معهد البحث في الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة)، الأستاذ أدريس وزار (المدرسة الوطنية للصناعة المعدنية)، الأستاذ عبد اللطيف المرجاني (المدرسة المحمدية للمهندسين)، السيد رشيد المرابط (مكتب الشريف للفوسفات)، الأستاذ ديدوي رو Didier Roux، (أكاديمية العلوم وأكاديمية التكنولوجيا الفرنسية)، الأستاذ عبد العزيز ميميت (المدرسة العليا للأساتذة بتطوان)، والسيد آمال بوعمامة (المكتب الوطني للماء والكهرباء).

بعد تقديم هذه المداخلات، جرت مناقشة، سيرها السيد عبيد عمران ممثل الوكالة المغربية للطاقة الشمسية.

عند نهاية جلسة الحوار والمناقشة الأولى، تم التوقيع على معاهدة التعاون الثانية بين أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات ومعهد البحث في الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة وقعت من طرف لأستاذ عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، والسيد بدر إيكن، المدير العام لمعهد البحث في الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة.

بعد ذلك تابعت الأكاديمية أشغالها في جلسة الحوار والمناقشة الثانية حول موضوع «التطوير والإدماج الصناعي في الطاقات الجديدة» حيث قام بتنشيطها السيد أحمد الناكوش الرئيس المدير العام ل NAREVA. تم خلالها الاستماع أيضا إلى سبعة مداخلات قدمها كل من السيد أحمد بارودي (SIE)، الأستاذ أحمد حضري هارس (المجموعة المالية للتكنولوجيا الخضراء)، السيد مازور رياض (الكنفدرالية العامة للمقاولات المغرب)، السيد سعيد ملين (وكالة تنمية الطاقات المتجددة والنجاعة الطاقية)، السيد عبد الرحيم الحفيظي (وزارة الطاقة والمعادن والماء والبيئة)، الأستاذ نور الدين العوفي (أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات)، والسيد ماورو بدرتي (Airlight Energy).



مباشرة بعد الجلسة الافتتاحية، تم التوقيع على اتفاقية الشراكة بين أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات ووزارة التربية الوطنية والتكوين المهني وقعت من طرف لأستاذ عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، والسيد رشيد بن المختار وزير التربية الوطنية والتكوين المهني.

بعد الاستراحة، تم انتخاب السيد محفوظ زياد مدير للجلسات خلفا للسيد إدريس وازار الذي انتهت ولايته. بعد ذلك تابعت الأكاديمية أشغالها في جلستها العامة الأولى حول موضوع «إنتاج الطاقة الكهربائية المركزة»، والتي تم أثناءها الاستماع إلى ثلاثة عروض قدمها كل من:

- الأستاذ فلريانو رويز هرنانديز، عضو مشارك بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، ورئيس مركز CTAER، إسبانيا، حول «تقدم وإشكاليات التقنيات الشمسية الترموديناميكية»؛

- الأستاذ أحمد الناي، مدير الأبحاث بمركز هلموتز، برلين، حول «تقدم وإشكاليات التقنيات الشمسية الكهروضوئية»؛

- الأستاذ كريستوف ريشتر، المدير التنفيذي لمعهد الأبحاث للطاقة الشمسية، حول «إشكالية تخزين الطاقات المتجددة».

بعد هذه العروض، جرت مناقشة واسعة بين الأكاديميين، سيرت ونشطت بالخصوص من طرف السيد محفوظ زياد مدير الجلسات.

### الأربعاء 19 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 19 فبراير 2014 بعد الزوال

#### الجلسة العامة الثانية حول «توجهات البحث – التنمية في الطاقات المتجددة»

خلال الجلسة العامة المنعقدة يوم الأربعاء 19 فبراير 2014 بعد الزوال، تابعت الأكاديمية أشغالها بدراسة الموضوع حول «توجهات البحث – التنمية في الطاقات المتجددة»، والتي تم خلالها الاستماع إلى أربعة عروض قدمها كل من:

- الأستاذ ديدوي لافاي، رئيس الشعبة التقنية، لجنة تقنين الطاقة بفرنسا، حول «الشبكة الكهربائية الذكية»؛

- الأستاذ مالك غلاب، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، حول «نمذجة وتحسين أمثل للشبكات الكهربائية الذكية»؛

- الأستاذ أحمد حضري هارس، رئيس المجموعة المالية للتكنولوجيا الخضراء، حول «برنامج الطاقة الشمسية بماليزيا»؛

تدبير النفايات في المدن، الاقتصاد الأخضر : أي جدول الأعمال للبحث العلمي في المغرب، صناعة الطيران: تطورها على الصعيد الدولي وما هي الطموح والتحديات بالنسبة للمغرب،

3. نشر الثقافة العلمية من خلال خلق أندية علمية داخل المؤسسات التعليمية وتنظيم أيام «الشباب والعلم في خدمة التنمية» التي انعقدت هذه السنة حول موضوع «الماء»،

4. تشجيع الامتياز من خلال توزيع منح الامتياز للفائزين في المباراة العامة للعلوم والتقنيات، التي تنظمها وزارة التربية الوطنية.

5. متابعة إجراء الخبرات والدراسات حول قطاع البحث العلمي في مجال التخصصات العلمية. وقد أنجزت الأكاديمية في هذا الصدد وثيقة حول وضعية البحث العلمي في العلوم الطبية في بلادنا،

6. النشر المنتظم لمنشورات الأكاديمية منذ تنصيبها: أعمال الدورات، النشرة الإخبارية، رسالة الأكاديمية، والمجلة العلمية «حدود في العلوم والهندسة»،

7. تعزيز حضور الأكاديمية على المستوى الدولي، وخاصة على المستوى الإفريقي، حيث تميزت السنة المنصرمة بانتخاب أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات كرئيس لشبكة الأكاديميات الإفريقية للعلوم في شخص الأستاذ مصطفى بوسمينه نائب إمين السر الدائم الذي كان نائباً لرئيس هذه الشبكة منذ سنة 2012، وأيضاً انتخاب الأكاديمية كعضو في المجلس الدولي للأكاديميات بجانب أكاديميات مرموقة للعلوم (فرنسا، المملكة المتحدة، الولايات المتحدة، ألمانيا، اليابان، الهند، الصين....)، وكذلك بالمساهمة في أنشطة GID والشبكة المتوسطة التي تشغل على مسألة تدريس العلوم.

بعد كلمة أمين السر الدائم، أعطيت الكلمة للأستاذة كاترين بريشنيك (Catherine Bréchnignac)، أمينة السر الدائمة لأكاديمية العلوم الفرنسية، والسفيرة المنتدبة للعلم والتكنولوجيا والابتكار، ولالأستاذ ديلف جانتن Deltev Ganten، نائب رئيس أكاديمية العلوم ليوبولدينا بألمانيا.

وفي إطار نفس الجلسة الافتتاحية، أعطيت بعد ذلك الكلمة إلى الأستاذ ديدري رو Didier Roux، عضو أكاديمية العلوم وأكاديمية التكنولوجيا الفرنسية، لتقديم عرض افتتاحي حول موضوعه «قضايا طاقة وبيئية : النجاعة الطاقية».

وقدم خلال نفس الجلسة الافتتاحية الأستاذ فيليب طانجي Philippe Tanguy، عضو مشارك بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، عرضاً حول موضوع «النقل الطاقى: من الحلم إلى الواقع».

عبارات الامتنان والاعتراف، على إثر الرعاية الملكية الكريمة والعناية الميمونة والتشجيع الموصول الذي ما فتئ يوليه جلالته للأكاديمية.

وأشار أيضا في كلمته أن هذه الدورة تتميز بحضور عدد من الشخصيات العلمية ذات المستوى الرفيع، التي أتت من المغرب ومن خارجه (فرنسا، ألمانيا، إسبانيا، الولايات المتحدة الأمريكية، السويد، ماليزيا) والتي ستساهم في تنشيط أشغال الدورة بارتباط مع موضوعها. ومن بين أبرز الشخصيات المدعوة نجد الأستاذة كاترين بريشيناك Catherine Brechignac، أمينة السر الدائمة للأكاديمية العلوم بفرنسا، والسفيرة المنتدبة للعلم والتكنولوجيا والابتكار، والأستاذ ديلتف جانتن Deltev Ganten، نائب رئيس أكاديمية العلوم ليوبولدينا بألمانيا. كما حضر لهذه الدورة بعض الزملاء ممثلي بعض أكاديميات العلوم الإفريقية، كالأستاذ سومي شومبرو بيبان Sommy Choumbrow Beban والأستاذ مانسورو موداشيرو Monsourou Moudachirou، وهم على التوالي نائب رئيس أكاديمية العلوم بالكامرون وأمين السر الدائم للأكاديمية العلوم والفنون والآداب بالبينين.

وبخصوص أشغال هذه الدورة، أشار الأستاذ عمر الفاسي الفهري بأن الدورة العامة الرسمية لهذه السنة تطمح إلى المساهمة في التشاور وتسليط الضوء حول المعارف والتكنولوجيات المستخدمة حاليا في مجال تنمية الطاقات المتجددة وتعزيز النجاعة الطاقية. كما أشار إلى أن خلال هذه الدورة سيتم تقييم الوضعية الحالية للعلوم والتكنولوجيات في مجال إنتاج الكهرباء انطلاقا من مصادر الطاقة المتجددة بما في ذلك الطاقة الشمسية الضوئية والطاقة الريحية. كما أن العروض والمداخلات وكذلك جلسات النقاش ستتركز أساسا على المواضيع المتعلقة بمرحلة الانتقال الطاقى، وبتكنولوجيات الطاقة الشمسية الحرارية والكهروضوئية وأيضا بخصوص مسألة تخزين الطاقة المتجددة. كما سيتم مناقشة المواضيع المتعلقة باتجاهات البحث والتنمية في هذه الميادين وبتعزيز تكوين الكفاءات وإدماج النسيج الصناعي في مختلف المجالات المتعلقة بالطاقات المتجددة، التي تعتبر ضرورية لاستدامة تطوير الطاقات المتجددة في بلادنا.

كما تطرق أمين السر الدائم في كلمته الافتتاحية إلى الأنشطة الرئيسية التي قامت بها الأكاديمية خلال سنة 2013، من أهمها :

1. النهوض بالبحث العلمي من خلال تمويل مشاريع البحث حول المواضيع ذات الأولوية على المستوى الوطني وذلك باعتماد موارد مالية بلغت لحد الآن 70 مليون درهم (صرفت منها لحد الآن 40 مليون درهم)،
2. تنظيم أربعة ندوات علمية حول مواضيع ذات علاقة بالتنمية الاقتصادية والاجتماعية بمشاركة خبراء وباحثين أجانب ومغاربة : البحث العلمي الطبي والصحي في المغرب،

انعقدت الدورة الرسمية العامة لسنة 2015 لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات بقاعة المحاضرات بمقر أكاديمية المملكة بالرباط أيام الثلاثاء 05 والأربعاء 06 والخميس 07 جمادى الأولى 1436 هجرية، الموافق لـ 24 و 25 و 26 فبراير 2015 ميلادية، حول الموضوع العلمي العام «مخاطر الكوارث الطبيعية : الزلازل، الأمواج العاصفية والظواهر المناخية القاسية».

### **الثلاثاء 05 جمادى الأولى 1436 الموافق لـ 24 فبراير 2015 زوالا**

#### **جلسة مغلقة للأكاديمية**

#### **الجلسة الافتتاحية**

محاضرة الافتتاح حول موضوع «المخاطر البيئية الطبيعية والبشرية : استراتيجية على المدى البعيد للبحث المتعدد الاختصاصات والمندمج للدول النامية».

يوم الثلاثاء 05 جمادى الأولى 1436 الموافق لـ 24 فبراير 2015 على الساعة الثانية زوالا اجتمعت الهيئات العلمية الستة كل واحدة على حيدة لتقديم ودراسة حصيلة سنة 2014 ومناقشة خطة العمل لسنة 2015.

على الساعة الرابعة والنصف زوالا لنفس اليوم انطلقت الجلسة الافتتاحية لأشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2015 لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات بقاعة المحاضرات بمقر أكاديمية المملكة بالرباط بحضور عدد من الشخصيات المدعوة.

في بداية الجلسة الافتتاحية طلب مدير الجلسات من الحاضرين الوقوف.

الكلمة الافتتاحية للأستاذ عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، بعد الترحيب بالحاضرين، ذكر أن الدورة العامة الرسمية لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات تعتبر دائما مصدر فخر واعتزاز بالنسبة لجميع أعضاء الأكاديمية، لكونها، كما ينص على ذلك الظهير المحدث لها، من اللحظات المتميزة التي يجتمع خلالها كافة أعضاء الأكاديمية بصفة منتظمة بهدف التشاور والتواصل بين المنظومة العلمية الوطنية وشخصيات علمية أجنبية حول التقدم المتزايد للعلم بأبعاده الكونية، وكذلك فرصة للتداول حول أنجع السبل وأحسن الطرق لإعطاء دفعة جديدة للعلوم والتكنولوجيا في بلادنا وجعل نتائج العلم والبحث العلمي في خدمة التنمية ببلادنا. كما أشاد بالموافقة السامية لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله حول الموضوع العلمي العام لهذه الدورة العامة الرسمية الذي هو «مصادر الطاقة المتجددة والانتقال الطاقوي : واقع، تحديات وفرص بالنسبة للمغرب». كما أعرب بهذه المناسبة، لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله، عن أخلص مشاعر التقدير والاحترام، وعن أحر



**محضر أشغال الدورة الرسمية العامة السنوية لأكاديمية  
الحسن الثاني للعلوم والتقنيات  
سنة 1435 هجرية الموافق لسنة 2015 ميلادية**

**حول موضوع :**  
**«مخاطر الكوارث الطبيعية : الزلازل، الأمواج العاصفية  
والظواهر المناخية القاسية»**

العضو الجديد المشارك هي السيدة كاترين بريشنيك، الفيزيائية وأمينة السر الدائم لأكاديمية العلوم الفرنسية حاليا، والسفيرة المنتدبة للعلم والابتكار والتكنولوجيا.

أما الأعضاء الجدد المقيمين، بالإضافة للسيد محمد القباج، الوزير السابق والمستشار الحالي للجامعة الأوروبية بفاست، والذي يلتحق اليوم بالمقعد الذي احتله سابقا الراحل عبد العزيز مزيان بلفقيه في الهيئة العلمية «الدراسات الاستراتيجية والتنمية الاقتصادية»، هم سبعة أعضاء جدد مقيمين، كانوا إلى غاية 18 ماي الأخير أعضاء مراسلين، والذين نعرفهم جيدا حيث عملنا معهم أكثر من 8 سنوات في الأكاديمية، والذين حضوا بشرف الاستقبال من طرف صاحب الجلالة 18 ماي 2006 بمناسبة تنصيب الأكاديمية من طرف صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله. ويتعلق الأمر حسب الترتيب الأبجدي بالأستاذ عمر الصبحي، اختصاصي في البيوتكنولوجيا، رئيس جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاست، الأستاذة رجاء الشرقاوي المرسل، اختصاصي في الفيزياء النووية، نائبة رئيس جامعة محمد الخامس بالرباط، الأستاذ محمد بريان، اختصاصي في التنمية المحلية وإعداد التراب، قيوم سابق لكلية الآداب والعلوم الإنسانية بجامعة محمد الخامس، الأستاذ تيجاني بونحميدي، اختصاصي في هندسة العمليات، نائب رئيس جامعة محمد الخامس - أكادال سابقا، الأستاذة سلامة النظيفي، اختصاصي في علم الوراثة وعلم الحياة، أستاذة في كلية الطب والصيدلة بجامعة الحسن الثاني بالدار البيضاء، الأستاذ عبد العزيز سفياني، رئيس شعبة علم الوراثة الطبية بالمعهد الصحي، والأستاذ خالد السقاط، اختصاصي في علم الاقتصاد، أستاذ الجامعة الحرة ببروكسيل.

أجد التهاني الحارة للجميع، وستكون لديهم الفرصة غدا ليتوجهوا بكلمة إلى جمعنا.

سيداتي سادتي، يسرني ويشرفني أن أقدم العضوين الجديدين الأول مشارك والثاني مقيم.

أريد في نهاية هذه الكلمة أن أتقدم بجزيل الشكر لصديقي الأستاذ عبد اللطيف بن عبد جليل، نائب أمين السر الدائم لأكاديمية المملكة وإلى جميع العاملين معه، على كل المساعدات والتسهيلات اللوجيستكية التي يقدمونها كعادتهم لتنظيم دورتنا الرسمية.

أريد كذلك أن أتقدم بالشكر الحار لنائب أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات ولكل أعضاء مجلس الأكاديمية ولجنة الأعمال والهيئات العلمية وكل أعضاء الأكاديمية مشاركين ومقيمين ومراسلين، وجميع العاملين في إدارتها على ما يقدموه من عطاء لصالح الأكاديمية وخصوصا بالنسبة لتحضير هذه الدورة في أحسن الظروف، التي نتمنى النجاح لأشغالها ولأكاديميتنا أن ترقى إلى ما يطمح لها راعيها صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله وأيده، أن نكون «في خدمة الوطن، وأن نساهم في تنمية العلوم بأبعادها الكونية».

شكرا على حسن إصغائكم واستماعكم.

الشيلية للعلوم، وعضو في الأكاديمية الوطنية للعلوم بالولايات المتحدة الأمريكية، حول موضوع «المخاطر البيئية الطبيعية والبشرية : استراتيجية على المدى الطويل للبحث المندمج في البلدان النامية». نحيه ونشكره به المناسبة.

لفهم كل هذه الظواهر الطبيعية وعواقبها على البيئة والمجتمع، أصبح من الضروري تشجيع البحث والابتكار في هذا المجال. عن طريق العلم والتكنولوجيا يمكن للعالم اليوم أن يكون أكثر أماناً في مواجهة الكوارث الطبيعية.

في نفس السياق، أود أن أشير إلى ما قاله الراحل البروفسور بول جيرمان، أمين السر الدائم السابق للأكاديمية العلوم في فرنسا، حول السؤال «هل العلم بالنسبة للرجل عشيقة أم خادمة؟»، حيث أجاب «لا يمكن للعلم أن يقول للرجل كلمة مصيره ... إن العلوم تتيح للإنسان هديتين كبيرتين: عالم من الفهم والقدرة على التصرف»، وأضاف «بالعلوم تفتح مساحات واسعة من الحرية والمسؤولية». هذه هي جمالية وجاذبية العلوم.

#### أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،

إن انعقاد الدورة الرسمية لهذه السنة تتميز بحدث سعيد وهو انضمام أعضاء جدد بارزين إلى حظيرة الأكاديمية، نغتني هذه المناسبة المتميزة لنجدد الاعراب عن تقديرنا الصادق وشكرنا الخالص لصاحب الجلالة محمد السادس نصره الله وأيده، بعدما أضفى موافقته الكريمة لتعيين الأعضاء الجدد في حظيرة أكاديميتنا، والتي سبق وأن تم إبلاغها خلال انعقاد الدورات العادية ليوم 29 شتنبر ويوم 11 ديسمبر الأخيرين. تنتهز أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات هذه الفرصة لتتقدم إلى الأعضاء الجدد المقيمين والمشاركين والمراسلين بتهانينا الحارة على عطفه السامي واهتمامه بأنشطة أكاديميتنا.

وخلال هذه الدورة سيتم استقبال الأعضاء الجدد الذين حظوا بشرف رضى صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله وأيده على انتمائهم كأعضاء في حظيرة أكاديميتنا، والذين سبق أن تم تقديمهم لمؤسستنا.

كما أريد، قبل تقديم الأعضاء الجدد المشاركين والمقيمين، أن أتقدم بأحر التهاني إلى كل الأعضاء الجدد المشاركين والمقيمين والمراسلين على الثقة الملكية الغالية، وأن أتمنى لهم التوفيق والنجاح في حياتهم الشخصية والمهنية.

في هذا السياق، فأنا مدعو لاستقبال الأعضاء الجدد المشاركين والمقيمين، على أن يقوم زميلي الأستاذ مصطفى بوسمين، نائب أمين السر الدائم للأكاديمية باستقبال الأعضاء الجدد المرسلين.



## أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،

كما تعلمون، إن الكوارث الطبيعية تعتبر من الظواهر الطبيعية التي تحدث دائما، وأن عددها لم يتغير، إن عدم قدرتنا على مواجهتها والوقاية منها، وكذلك تصرفاتنا وسلوكياتنا، وبنياتنا التحتية هي التي تغيرت. كما أن آثار وانعكاسات الكوارث الطبيعية لا يمكن لنا السيطرة عليها، باعتبار أننا لا يمكن أن نتوقع حدوثها في موقع معين. لا لكونها نتيجة قدر محتوم، أو أنها حدثت عن طريق الصدفة، أو لكونها عبارة عن إحدى نزوات الطبيعة؛ فالطبيعة بطبيعتها ليست متقلبة الأطوار ولا محبة للشر، إنما تبقى محايدة. فالظواهر تكون طبيعية والكوارث إنسانية لكونها تؤثر علينا.

ونستحضر هنا ما قاله العالم الكبير في مجال البراكين هارون تازيف «أنه لا يمكن أن نتحكم في الكوارث الطبيعية، ولكن يمكن أن نتكيف معها بذلك». نعلم أيضا أن المغرب يظل، مع كل الأسف، من الدول التي تواجه عدة مخاطر طبيعية تكون في بعض الأحيان قاسية ويصعب السيطرة عليها كما حصل خلال الفيضانات الأخيرة التي شهدتها المناطق الجنوبية للمملكة.

إن الهدف من اختيار هذا الموضوع لهذه الدورة هو المساهمة في القيام بتسليط الضوء على الحالة المعرفية المتعلقة بمحاربة مخاطر الكوارث الطبيعية، وتبادل الآراء بخصوص الحلول الملائمة، وتوضيح اتجاهات البحث العلمي والابتكار التكنولوجي في هذا المجال، ومناقشة تجارب الدول الأخرى في تدبير المخاطر الطبيعية، وتحديد مشاريع وبرامج البحث الواعدة ذات الأهمية الخاصة لبلادنا، والتي يمكن أن تكون موضوع تعاون وشراكة بين الباحثين المغربية ونظرائهم الدوليين.

لا يوجد اليوم، مع الأسف الشديد، أي حل علمي جاهز لمنع وظبط الكوارث الطبيعية. بالرغم من ذلك، نعلم أن المجتمع الدولي اكتسب خبرة واسعة في ما يتعلق بالحد من مخاطر الكوارث الطبيعية..

إن مواجهة مخاطر الكوارث الطبيعية ولاسيما التنبؤ بحدوثها لضمان التنمية المستدامة لأي بلد يضل يشكل إحدى التحديات التي على المجتمع الدولي أن يواجهها.

إن الخطوات الأولى نحو الحد من المخاطر الطبيعية تكمن في الفهم العلمي لهذه المخاطر ولتأثيراتها وانعكاساتها على المجتمع والبيئة. الشيء الذي يستلزم حصر مكامن الضعف، ورصد عوامل الخطر، واحتمال وقوعه مرة أخرى، وفهم آلية صيرورته، وتحليل الأسباب التي تجعل بعض هذه المخاطر تتحول إلى كوارث. في الواقع إنها عملية بنوية تتطلب تنفيذ، بطريقة متماسكة وعقلانية، بعض النظريات وتقنيات علوم الأرض وبعض تقنيات الهندسة المدنية لجعل حوض المخاطر أقل عرضة ممكنة للمخاطر الطبيعية.

ولفهم هذه الإشكالية، سنستمع خلال هذه الدورة، بسرور واهتمام كبيرين، للمحاضرة الافتتاحية التي سيلقيها الأستاذ خوان كارلوس كاستيا، عضو مشارك في أكاديميتنا، وعضو في الأكاديمية

## بسم الله الرحمن الرحيم

السادة الوزراء المحترمون،

أصحاب السعادة،

السيدات والسادة أعضاء الأكاديمية،

سيداتي سادتي،

إنه من دواعي الاعتزاز دائما أن أتشرف بتناول الكلمة عند افتتاح الدورة العامة الرسمية لأكاديميتنا. كما يعتبر هذا اللقاء في كل مرة مصدر فخر وسرور بالنسبة لجميع أعضاء أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، لكونه يعد من اللحظات المتميزة في السنة التي يجتمع خلالها كافة أعضاء الأكاديمية، كما ينص على ذلك الظهير المحدث لها، بهدف التشاور والتبادل بين المنظومة العلمية الوطنية وشخصيات علمية أجنبية حول أهم المواضيع التي تهم قضايا المجتمع، وتسليط الضوء على التقدم المتزايد في العلوم من أجل رفاهية البشرية.

إن هذه الدورة العامة الرسمية لأكاديميتنا، تنعقد أيضا على غرار سابقتها، في إطار التوجهات السامية لراعيها صاحب الجلالة الملك محمد السادس، حفظه الله ونصره، والتي جاءت في خطابه السامي عند تنصيب أكاديميتنا، حيث أكد جلالته على الأمل الذي يحده «بأن تتمكن أكاديميتنا من الإسهام في جعل المجتمع المغربي مجتمعا منتجا، منفتحا على علوم وتكنولوجيا العصر، ومتشعبا بقيم الحوار بين الثقافات، ووفيا للمبادئ والمثل السامية، التي ظل يؤمن بها، والقائمة على التضامن والتعايش في ظل الكرامة واحترام الآخر». نغتنم هذه المناسبة المتميزة لنجدد التأكيد لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله، عن أخلص مشاعر امتناننا وتقديرنا، وعن أبلغ عبارات البر وعظيم الاعتراف على عنايته الكريمة، ودعمه الموصل، وعلى رعايته السامية التي يحيط بها أكاديميتنا.

إنه لشرف عظيم أن يحضر معنا في هذه الجلسة الافتتاحية كل الشخصيات وممثلي السلك الدبلوماسي التي استجابت لدعوتنا، والذين نتوجه لهم بالشكر الجزيل ونرحب بهم.

نشكر أيضا كل الشخصيات العلمية البارزة، التي أتت من المغرب ومن دول مختلفة (بالخصوص من فرنسا، الولايات المتحدة الأمريكية، الشيلي، إسبانيا، اليابان)، والتي استجابت لدعوتنا لتقديم العروض العلمية والمساهمة في المناقشة التي ستكون لنا بالتأكيد ارتباطا مع الموضوع العام للدورة، الذي سيتمحور حول «مخاطر الكوارث الطبيعية : الزلازل، الأمواج العاصفية والظواهر المناخية الشديدة».



كلمة الأستاذ عمر الفاسي الفهري  
أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات  
في  
الجلسة الافتتاحية الرسمية لأشغال الدورة العامة لسنة 2015  
لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات  
- الرباط، الثلاثاء 24 فبراير 2015 -



الجدد، أعرب الأكاديميون الجدد والقدامى عن امتنانهم الأكيد لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله، وعرفانهم الصادق بعدما حظوا برضى جلالكم الغالي على التحاقهم بالأكاديمية بصفتهم أعضاء جدد في حظيرتها، مستلهمين بكل الوفاء وبكل تفان، من التوجيهات النيرة والنصائح السديدة لجلالكم، التي تبقى أحسن منبع وأقوى مرجع لخدمة هذا الوطن العزيز بكل إخلاص، راجين من الله سبحانه وتعالى أن يكونوا عند حسن ظن سيدنا المنصور بالله، جديرين بثقته الغالية ومستحقين لعطفه السامي.

وفي ختام أشغال هذه الدورة، تم تقديم التقرير السنوي لأنشطة الأكاديمية خلال السنة المنتهية الذي تضمن كل الأنشطة السنوية التي قامت بها الأكاديمية، تلتها مناقشة من طرف أعضاء الأكاديمية الذين أوصوا بأن تقوم الأكاديمية بدورها الكامل في النهوض بالعلم والتكنولوجيا في وطننا العزيز، وتصبح منارة لسمو الفكر، ومنبرا لإشعاع العلم في شتى مجالات المعرفة العلمية، حتى تساهم إلى جانب الجهود الجماعي للأمة ومؤسساتها الوطنية في مختلف أورش البناء والتشييد والتعمير، التي ما فتئتم، أعز الله أمركم، تقودونها بعزيمة صادقة وعقيدة راسخة في كل ميادين التنمية عبر جميع ربوع المملكة.

كما كانت هذه الدورة مناسبة متميزة، اغتتمها المشاركون، لتجديد التأكيد لجلالكم عن امتنانهم وتقديرهم لما تولونه للعلم وأهله، وللمعرفة والبحث العلمي، من كريم العناية وعظيم الرعاية، وعن بالغ إشارتهم وتنويعهم بالجهود التي ما فتئتم، أطال الله في عمركم، تبذلونها في سبيل النهوض بمنظومة التربية والتكوين في بلادنا لكي تستجيب لمعايير الجودة والتميز، وتعزيز دورها الحاسم بمعية جامعاتنا ومعاهدنا العليا حتى ترقى إلى المكانة اللائقة بها، على مستوى التكوينات الجيدة وتحضير وتسليم الشواهد القيمة، قصد إعداد الموارد البشرية المؤهلة والكفأة التي من شأنها أن تزود مجتمعنا بثروة ثمينة لا ينضب معينها، وتشجيع الشباب المغربي وحثه على التشبع بروح المبادرة والمسؤولية والانفتاح والاعتدال والتسامح، والإسهام في صياغة مغرب المعاصرة المعتز بهويته وقيمه، والانخراط في سياق عصر الانفتاح ومجتمع العلم واقتصاد المعرفة.

حفظكم الله، يا مولاي، بما حفظ به الذكر الحكيم، وأبقاكم ذخرا وملانا لهذه الأمة، تجددون لها أمرها، وتعلون صروح مجدها، وترفعون راية عزها ورفقيها، وأقر عينكم بولي عهدكم صاحب السمو الملكي الأمير الجليل مولاي الحسن، وبشقيقته الجليلة صاحبة السمو الملكي الأميرة لآ خديجة، وشد أزركم بشقيقكم السعيد صاحب السمو الملكي الأمير المولى الرشيد، وبسائر أفراد الأسرة الملكية الشريفة، إنه على ما يشاء قدير، وبالإجابة جدير.

**والسلام على المقام العالي بالله. الله يبارك في عمر سيدي.**

خديم الأعتاب الشريفة  
عمر الفاسي الفهري

حرر بالرباط، يوم الخميس 07 جمادى الأولى 1436

الموافق ل 26 فبراير 2015

بسم الله الرحمن الرحيم، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين

نعم سيدي أعزك الله

مولاي صاحب الجلالة

بعد تقديم ما يليق بمقام صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله، من أسمى فروض الطاعة والولاء، ومكين التعلق والوفاء، يتشرف محب وخادم الأعتاب الشريفة، أمين السر الدائم للأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، أصالة عن نفسه، ونيابة عن أعضاء الأكاديمية، أن يتقدم إلى سيدنا المنصور بالله، بأصدق آيات التفاني والإخلاص، وبأسمى مشاعر التقدير والاحترام، بمناسبة اختتام أشغال الدورة العامة الرسمية للأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لسنة 2015، المنعقدة بقاعة المحاضرات الكبرى لأكاديمية المملكة بالرباط، أيام الثلاثاء 05 والأربعاء 06 والخميس 07 جمادى الأولى 1436 هجرية، الموافق لـ 24 و25 و26 فبراير 2015 ميلادية، معبرا للسدة العالية بالله عن ما يغمر المشاركين في أشغال هذه الدورة من موفور السعادة وعظيم الاعتزاز، داعيا الله تبارك وتعالى أن يعينكم على تحقيق كل ما ترغبونه لشعبكم الوفي من رفعة وتقدم وهناء، وأن يوفقكم على السير قدما بهذا البلد الأمين نحو مزيد من التحديث والتطوير والرقي، حتى يظل منعما بالسلام والرخاء والاستقرار وتتواصل مسيرة نهضته المباركة في ظل عهدكم الزاهر.

مولاي صاحب الجلالة

تمحور الموضوع العام لهذه الدورة الرسمية حول «مخاطر الكوارث الطبيعية : الزلازل، الأمواج العاصفية والظواهر المناخية الشديدة». وفي هذا الصدد، استمع المشاركون في بداية أشغال هذه الدورة إلى محاضرة افتتاحية ألقاها الأستاذ خوان كارلوس كاستيا من الشيلي وعضو مشارك بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات حول موضوع : «المخاطر البيئية الطبيعية والبشرية : استراتيجية للمدى البعيد للبحث المتعدد التخصصات والمندمج للدول النامية». كما تم تقديم عدة عروض علمية من قبل عدد من أعضاء الأكاديمية وعلماء باحثين وشخصيات مدعوة من المغرب ومن خارجه، تتعلق بالظواهر المناخية القاسية بالمغرب، والتدابير المندمجة لمعالجة الفيضانات والجفاف، والزلازل والأمواج العاصفية، وإستراتيجيات التكيف للحد أو تخفيف الآثار الوخيمة الناتجة عن مخاطر الكوارث الطبيعية. وقد انكب المشاركون على تقييم الحالة المعرفية لهذه المخاطر، ودراسة السيناريوهات لإيجاد الحلول لها والتدابير لمواجهةها والحد منها؛ كما عمق المشاركون التفكير في تحديد أحسن الطرق وأنجع السبل لتمكين العلوم والتكنولوجيا من المساهمة في معالجة أسباب هذه الظواهر الطبيعية وانعكاساتها على البيئة والمجتمع. كما أوص المشاركون بضرورة توعية المجتمع وخاصة الشباب لإحساسهم بمخاطر الكوارث الطبيعية وإطلاعهم على التدابير الوقائية حتى يصبحوا فاعلين في تخفيف الأزمات والكوارث عند وقوعها. وتطرق كذلك المشاركون إلى التجربة المغربية المتميزة المتعلقة بالأرصاء الجوية والتقلبات المناخية وإلى ضرورة الاهتمام بالبحث العلمي والابتكار التكنولوجي في هذا المجال.

وخلال هذه الدورة تم استقبال الأعضاء الجدد الذين حظوا برضى مولانا المنصور بالله على انتمائهم للأكاديمية التي تحظى بسابغ رعايتكم الغالية، وبشرف حمل اسم الملك العظيم والدكم المنعم فقيد البلاد المغفور له صاحب الجلالة الملك الحسن الثاني طيب الله ثراه. وبعد استقبال وتقديم الأعضاء

**نص البرقية المرفوعة  
إلى السدة العالفة بالله  
صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله  
على إثر اختتام أشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2015**





إن المداخلات والمناقشات وورش العمل المقررة خلال هذه الدورة، ستتناول المواضيع التالية:

- إنجراف التربة والأمواج العاصفية،
- الظواهر المناخية القاسية: الأمطار الغزيرة، الفيضانات، الجفاف (حالات الأخطار المتعددة، حالات الدمار، الأخطار الناتجة عن التفاعل بين العوامل الطبيعية والعوامل البشرية).

إن مناقشة الموضوع العام المقترح في هذه الدورة سيتمكن من :

- اقتراح استراتيجيات تدبير المخاطر الطبيعية، والانتقال من تدبير الأزمات (المنهجية ورد الفعل) إلى تدبير معرفة المخاطر (منهجية استباقية)، وإنشاء اليقظة ضد المخاطر وتطوير القدرة على التكيف،
- المشاركة في الجهود المبذولة في البلاد لإقامة شراكات وخلق الشبكات والاتحادات والمراكز بين مختلف المتدخلين في تدبير الطوارئ وبين عالم البحث العلمي والتقني،
- ضمان قابلية التشغيل البيئي للبيانات والمنتجات المعرفية مع المنتجات الصادرة عن القطاعات الحكومية الأخرى من خلال التعاون الوثيق والمستمر وتعزيز استخدام المعايير الدولية،
- تعزيز فرق متعددة التخصصات وبرامج البحث وكذلك التعاون بين المؤسسات (ليس فقط علمية ولكن أيضا مع القطاعات الحكومية، والإدارات، المجتمع المدني،...)،
- تحسين القدرات الحالية لرسم خرائط الطوارئ لتقديم المعلومات عبر الأنترنت في حالات الطوارئ وذلك في الوقت المناسب وبطريقة وثيقة،
- تحسين محتوى خرائط الطوارئ لتشمل المعلومات وبيانات الطقس والتنبؤات، وسيناريوهات المناخ، استخدام صور الاستشعار عن بعد التي تم الحصول عليها عن طريق الجيل الجديد من الأقمار الصناعية في علاج المخاطر الطبيعية، ومنتجات المعرفة الجديدة وغيرها من مشاريع المخاطر الطبيعية والاستجابة لحالات الطوارئ واستعمال أحدث منتجات المعلومات الجغرافية المكانية التي تقدمها مختلف البرامج الدولية.

كل هذا يمثل تحديا حقيقيا ويتطلب الكثير من البحث العلمي، إن اللقاءات الدولية تشجع بالخصوص على التبادل والتفاعل لمناقشة هذه القضايا المعقدة جدا.

تعتبر الوقاية من مخاطر الكوارث الطبيعية عنصر أساسي في سياسة التدبير العقلاني للفضاءات وإعداد التراب.

ونظرا لقابلية المغرب المرتفعة واعتبارا للقدرة المحدودة للأنظمة الطبيعية للتكيف مع الظواهر المناخية القاسية ( الفيضانات والجفاف ) والزلازل وانجراف التربة، إرتأت أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات مناقشة هذا الموضوع في دورتها العامة الرسمية في إطار يجمع بين خبراء مغاربة ودوليين قصد اقتراح استراتيجيات للبحث وللمحد من آثار هذه المخاطر. كما ستكون هذه الدورة الرسمية مناسبة لتعزيز الكفاءات والقدرات الذاتية والتعاون على مختلف المستويات، وتبادل المعطيات إلخ...

تتمحور هذه الدورة على :

- واقع العلم والمعارف حول الظواهر التي تسبب في حالة الخطر، القدرة على التنبؤ لهذه الظواهر، وآثرها على النظم الإيكولوجية ، أدوات التنسيق، التدبير، التخطيط ، خطة العمل، شبكات الرصد والإنذار (الاستشعار عن بعد بواسطة الأقمار الصناعية وغيرها مثل إستعمال الطائرات بدون طيار والروبوتات).

- تعزيز قدرة الدول والمجتمعات على مواجهة الكوارث تبعا « لبلاغ يوكوهاما » (1994)، وفي الفترة الأخيرة داخل إطار العمل لهيوغو (2015-2005).

- التوقعات، عدم التأكد، القابلية، والإجراءات للتخفيف من المخاطر الطبيعية. ماذا باستطاعة العلم أن يفعله للتقليل من المخاطر الناجمة عن الكوارث الطبيعية ؟ على سبيل المثال إعداد برامج لمكافحة الأخطار الطبيعية، التربية والتعليم، إعداد تصاميم البناء المضادة للزلازل، ...)

- الوضع في المغرب، الذي ينبغي على أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات أن تبدي رأيها في سياق هذه الإشكالية.

إن العروض والتدخلات خلال هذه الدورة العامة الرسمية لسنة 2015 حول مخاطر الكوارث الطبيعية ستمكن من تبادل المهارات حول الظواهر الفيزيائية المتعلقة بالمخاطر الطبيعية، والمهارات حول النمذجة الرقمية لهذه الظواهر للإستجابة للحاجيات المجتمعية التي تم وضعها من خلال المعايير، القواعد والمذكرات (خطة الوقاية، خطة التدخل، خطة الإنقاذ....) وأيضا من طرف السلطة العمومية.

## مقدمة

تعتبر مخاطر الكوارث الطبيعية من الظواهر القاسية والمدمرة والمتطرفة الناتجة عن تغيرات الطقس والمناخ أو الصادرة من بطن الأرض، التي يمكن أن تحدث في أي وقت وأن تقع في أي مكان في العالم، مع العلم أن بعض المناطق أكثر عرضة من غيرها لهذه المخاطر التي تتسبب في الكوارث الطبيعية وتنتج عنها خسائر في الأرواح البشرية والبنية التحتية.

إذا كان لا يمكن، في بعض الحالات، تجنب هذه الكوارث في الوقت الحاضر، يمكن في المقابل التخفيف من حدتها وآثارها من خلال معرفتها أكثر وفهمها أفضل.

تعمل حاليا عديد من المنظمات على معرفة أدق لمفهوم « الأخطار الطبيعية » في محاولة لفهم المخاطر المحتملة والناتجة عنها والسعي للحصول على أنجع الحلول للوقاية منها أو منعها. ويعد المغرب من البلدان الأكثر قابلية للتعرض لهذه الأخطار اعتبارا لموقعه الجغرافي.

تعتبر الفيضانات، انجراف التربة، الزلازل والظواهر المناخية القاسية في المغرب من الكوارث الطبيعية التي تهدد السكان والبنيات التحتية.

في السنوات الأخيرة عرف العالم عدة أحداث مدمرة ناتجة عن الكوارث الطبيعية، نذكر منها :

- زلزال أكادير في (29 فبراير 1960) والذي خلف 12.000 حالة وفاة وخسائر جسيمة، وزلزال الحسيمة في (24 فبراير 2004) الذي تسبب في 629 حالة وفاة وأضرار فادحة
- الفيضانات في المغرب وأوروبا ، بسبب هطول أمطار طوفانية في فترة وجيزة (200 مم في 24 ساعة في الدار البيضاء يوم 30 نونبر 2010 )،
- الأمواج العاصفية بالمغرب (7 يناير 2014)، على الساحل الغربي لأوروبا (علو الأمواج 6 إلى 8 أمتار ) مع أضرار كبيرة على الساحل المغربي،
- العاصفة xynthia في فرنسا،
- تسونامي باليابان،
- الفيضانات في أوروبا والمغرب،
- الأعاصير...





**المملكة المغربية  
أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات**

**أشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2015**

**الرباط، 24 - 26 فبراير 2015**





صاحب الجلالة الملك محمد السادس - نصره الله -  
راعي أكاديمية الحسن الثاني  
للعلوم والتقنيات







المملكة المغربية  
أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

أشغال الدورة العامة الرسمية  
لسنة 2015

## الموضوع

مخاطر الكوارث الطبيعية: الزلازل، الأمواج العاصفية  
والظواهر المناخية الشديدة

الرباط، 24 - 26 فبراير 2015