



ROYAUME DU MAROC

Académie Hassan II des Sciences et Techniques

ACTES DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE
Année 2017

Thème

Océan et climat – Cas du Maroc

Rabat, 21 - 23 février 2017



**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 2017

Thème
Océan et climat
Cas du Maroc

Rabat, 21 - 23 février 2017

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

Dépôt légal : 2018MO0691
ISBN : 978-9954-716-04-5

Réalisation : **AGRI-BYS S.A.R.L.**

Achevé d'imprimer : Février 2018

Imprimerie Lawne : 11, rue Dakar, Océan, 10040-Rabat, Maroc

SOMMAIRE

Avant-propos	7
Forword	9
CÉRÉMONIE D'OUVERTURE.....	11
Election du Directeur des séances.....	13
Allocution de bienvenue et présentation du thème scientifique général de la session	
Omar Fassi-Fehri	15
The role of oceans and seas in climate regulation, and their reaction to climate change (Conférence inaugurale)	
Carlos M. Duarte.....	21
Discussion.....	29
SÉANCE I : MODÉLISATION DES INTERACTIONS OCÉAN-CLIMAT	33
L'importance des océans pour le changement climatique, du passé au futur	
Valérie Masson-Delmotte.....	35
Modélisation du rôle des océans sur le changement climatique : état de nos connaissances, défis. Le cas du Maroc	
Abdallah Mokssit.....	49
Réchauffement climatique et acidification des océans de la région nord-ouest Africaine	
Karim Hilmi	51
Discussion.....	73
SÉANCE II : NIVEAUX DES MERS ET ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES	79
La hausse du niveau de la mer : observations et causes	
Anny Casenave	81
Changement climatique et sécheresses récurrentes avec focus sur le cas du Maroc	
Fatima Driouech.....	87
Discussion.....	95
SÉANCE III : THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE DES OCÉANS ET IMPACTS SUR LES RESSOURCES	99
Le puits de carbone océanique, aujourd'hui et demain : ce que nous savons et ce que nous ne savons pas	
Laurent Bopp	101
Changement de la chimie et de la température des océans et leurs impacts sur la biodiversité marine	
David Osborn	113

Ocean as provider of food: building a global approach for sustainable fisheries and aquaculture in the context of the climate change, the Blue Belt Initiative

Abdelmalek Faraj..... 115

Discussion..... 117

SÉANCE IV : LES IMPLICATIONS ÉCONOMIQUES 121

Les implications économiques du réchauffement global

Daniel Nahon 123

Baisse de la pêche de poissons dans les mers et rôle de l'aquaculture

Omar Assobhei..... 151

SÉANCE V : DÉBAT GÉNÉRAL 153

Débat général..... 155

SYNTHÈSE DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE..... 163

Note de synthèse

Albert Sasson, Omar Assobhei et Ahmed El Hassani 165

PANEL SUR LES PERSPECTIVES DE RECHERCHE AU MAROC 183

Modérateur : Albert Sasson

Rapporteur : Omar Assobhei

Participants : Karim Hilmi, Majida Maarouf, Abdelah Mokssit, Noureddine El Aoufi

CONCLUSIONS DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE..... 189

SESSION INTERNE DE L'ACADÉMIE

Rapport d'Activité de l'Académie pour l'année 2016

Omar Fassi-Fehri 191

Compte rendu de la session plénière solennelle 2017 (en français) 215

Liste des participants et des orateurs invités..... 225

Compte rendu de la session plénière 2017 (en arabe)

Discours d'ouverture du Secrétaire Perpétuel (en arabe)

Message adressé à Sa Majesté Le Roi Mohammed VI (en arabe)

Avant-propos (en arabe)

AVANT-PROPOS

Au lendemain de l'organisation par le Maroc de la COP22 à Marrakech, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques organise les 21, 22 et 23 février 2017 sa douzième (12^{ème}) session plénière solennelle sur le thème scientifique général :

«Océan et climat - cas du Maroc»

Les effets des changements climatiques, leurs impacts sur les océans ainsi que les processus complexes de régulation du climat par les océans sont corrélés et interdépendants. L'interaction entre l'océan et le climat par des effets retardés, les impacts résultants et les processus de régulation sont de nature longue dans le temps. Le climat dépend fortement de l'océan et inversement l'état de l'océan est fortement corrélé à celui du climat, l'océan par sa capacité de stockage de la chaleur et des gaz à effet de serre a un effet régulateur bien plus efficace que l'atmosphère ou les continents; seulement cet effet survient sur une échelle très longue de temps.

L'océan en tant que régulateur du climat et réservoir des gaz à effet de serre, subit une modification chimique qui se traduit par son acidification ainsi qu'une augmentation de sa température menaçant fortement sa biodiversité. L'acidité des océans a augmenté de 30% en deux siècles et demi et ce phénomène continue de s'amplifier, menaçant directement les espèces marines et la biodiversité. De toutes ces conséquences, les conditions atmosphériques et les phénomènes extrêmes telles que l'extrême sécheresse, les inondations, les tempêtes, la forte baisse des ressources etc..., seront probablement les plus graves pour les populations vulnérables.

Le Maroc avec plus de 3500 km de côtes est concerné en premier lieu par les effets du changement climatique car l'océan Atlantique et la mer Méditerranée constituent une source de revenus substantiels des populations et contribuent en grande partie à sa sécurité alimentaire. Les propriétés physico-chimiques des océans changent, ce qui a des conséquences sur les propriétés et la dynamique de l'océan, sur ses échanges avec l'atmosphère et sur les écosystèmes marins et leurs habitats.

La session plénière solennelle 2017 a réuni des experts nationaux et étrangers des sciences du climat et de l'océan qui ont traité des effets conjugués du changement climatique et leurs impacts sur les océans, les implications économiques ainsi que les moyens et structures de recherche à mettre en place, pour en faire face, en mettant l'accent tout particulièrement sur le cas du Maroc.

Dans ce sens nous rappelons le discours de Sa Majesté le Roi que Dieu L'assiste prononcé à l'occasion de la Séance solennelle de Haut Niveau de la 22^{ème} session de la Conférence des Parties à la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (COP22) tenue à Marrakech du 7 au 18 Novembre 2016.

«Au nom du destin commun, et au nom de notre responsabilité historique, J'engage toutes les parties à œuvrer pour donner corps à notre attachement aux valeurs de justice et de solidarité à travers :

- La possibilité offerte aux pays du sud, et plus particulièrement aux pays les moins avancés et aux Etats insulaires, de bénéficier d'un soutien financier et technique urgent leur permettant de renforcer leurs capacités et de s'adapter aux changements climatiques;
- L'implication de tous les acteurs dans la facilitation du transfert de technologie et la nécessité d'œuvrer au développement de la recherche et de l'innovation dans le domaine du climat;...»

En plus des conférences et des discussions qui s'ensuivront, l'organisation d'un panel pluridisciplinaire animé par des experts Marocains de différents domaines scientifiques et leur interaction avec les participants, permettra de dégager les perspectives de recherche dans le domaine du climat et de l'océan ainsi que le potentiel éventuel de retombées économiques et sociales à court et moyen termes.

FOREWORD

Following the organisation of the COP22 by the Kingdom of Morocco in Marrakech, the Hassan II Academy of Sciences and Technology will organize its 12th plenary session on the scientific theme of «**Ocean and climate – the Moroccan context**» on 21st, 22nd and 23rd of February 2017.

The effects of climate change, their impacts on oceans and the complex processes of ocean climate regulation are correlated and interdependent. The interaction between ocean and climate can be observed through delayed effects, resulting in long term and long lasting impacts and regulatory processes. Climatic conditions depend heavily on oceans and, conversely, the state of the oceans is strongly correlated to that of climate. Thanks to their capacity to store heat and greenhouse gases, oceans have a much more effective regulating effect than the atmosphere or the continents. However, this effect can only be observed over a very long period of time.

When acting as climate regulators and greenhouse gases sinks, oceans experience a chemical modification, which results in their acidification as well as in an increase in their temperature, threatening their biodiversity. In the last two and a half centuries, the acidity of the oceans has increased by 30% and this phenomenon continues to increase, directly threatening marine species and biodiversity. Amongst all these consequences, atmospheric conditions and extreme events such as extreme droughts, floods, storms, sharp declines in resources availability, etc., are likely to be the most severe for vulnerable populations.

With over 3500 kms of coastline, Morocco is directly affected by climate change, first and foremost because the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea both constitute a substantial source of income for the population and contribute to a large extent to its food security. The physico-chemical properties of oceans are changing, affecting their dynamics and properties, their interaction with the atmosphere, as well as marine ecosystems and their habitats.

This year solemn plenary session aims at gathering national and international climate and ocean scientific experts and at facilitating their joint work in addressing and exploring the combined effects of climate change and their impacts on the oceans; the economic implications of these effects; as well as the research capacity and structures that need to be developed if these effects are to be dealt with, in particular in a Moroccan context.

With this in mind, we do wish to recall the speech of His Majesty the King - at the solemn Plenary Session of the 22nd session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP22) held in Marrakech from the 7th to 18th of November 2016.

«In the name of our shared destiny and in the name of our historic responsibility, I urge all parties to work on translating our commitment to the values of justice and solidarity into actions, by:

- Providing the countries of the South, especially the least developed, as well as insular states, with such urgent financial and technical support as will enhance their capacities and enable them to adapt to climate change;
- All the parties being involved in facilitating the transfer of technology, and working for the development of research and innovation in the field of climate;...»

In addition to the conferences and discussions that will ensue, the organization of a multidisciplinary panel chaired by Moroccan experts in scientific fields and their interaction with the participants will ensure that the identification of prospects for research in the field of climate change as well as that of potential economic and social benefits in the short and medium term, can be collaboratively achieved.

CÉRÉMONIE D'OUVERTURE

Election du Directeur des séances

- **Pr. Sellama NADIFI** (Directrice des séances)

Bonjour, nous allons démarrer notre session.

Honorables invités, chers confrères

C'est toujours un plaisir pour moi et pour l'Académie Hassan II de nous retrouver à notre rendez-vous annuel, la session plénière, et d'être aussi nombreux. Il y a un an vous m'avez choisie pour être la Directrice des Séances. C'est un honneur pour moi, c'est un défi que j'espère avoir relevé et ne pas vous avoir beaucoup déçus. Je vous remercie chers confrères pour vos contributions, pour tout ce que vous avez fait durant cette année. C'était une année merveilleuse eu égard à toutes les manifestations qui ont eu lieu (conférences, séminaires, débats, journées jeunes et sciences, contributions de l'Académie à la COPP22). La session de cette année est une continuité dans cette réflexion autour de l'environnement et je lui souhaite tout le succès dans ses réalisations.

Je remercie particulièrement M. le Secrétaire Perpétuel, M. le Chancelier et tout le personnel de l'Académie sans lequel, cet orchestre ne jouera pas cette belle symphonie qui est notre activité.

Je propose M. SEFIANI comme Directeur des Séances pour cette année avec bien entendu votre accord et votre approbation.

(Applaudissements de confirmation)



- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Nouveau Directeur des séances)

Merci chers collègues et chers amis,

Chers membres de l'Académie, Honorables invités

D'abord, je voudrais vous remercier de votre confiance et j'espère être à la hauteur au cours de l'année à venir. J'aimerais également remercier mon amie et collègue Sellama NADIFI pour sa gestion de nos travaux au cours de l'année précédente et j'espère que les conférences, séminaires et travaux que nous avons organisés contribueront à l'amélioration de la recherche scientifique dans notre pays.

Cette année, on commence par notre session plénière dont la thématique porte sur : «Océan et climat – cas du Maroc».

Pour commencer, je donnerai la parole à M. le Secrétaire Perpétuel pour l'ouverture de notre session.



ALLOCUTION DE BIENVENUE ET PRÉSENTATION DU THÈME SCIENTIFIQUE GÉNÉRAL DE LA SESSION

Pr. Omar FASSI-FEHRI

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



Messieurs les Ministres,

Excellences,

Honorables invités,

Chères Consœurs & Chers Confrères les Académiciens,

Mesdames & Messieurs,

Il y a environ onze ans que, à l'occasion de l'installation le 18 mai 2006 de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, son Protecteur Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde, s'adressant à l'Assemblée formée des tout nouveaux membres marocains et étrangers, et définissant le rôle de la nouvelle Académie, insistait -et je cite- sur *«l'importance du rôle que devront jouer nos scientifiques en général et les membres de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques en particulier, afin de contribuer à relever les défis du développement, et principalement ceux du développement humain»*.

Ainsi, l'Académie Hassan II, dans le cadre de ses activités notamment les sessions plénières et les sessions ordinaires qu'elle tient régulièrement, cherche avant tout à aborder des questions scientifiques dont les solutions permettent de contribuer au développement du pays; c'est ainsi qu'elle a traité à plusieurs reprises, entre autres, le problème de l'énergie, la question des énergies renouvelables, la transition énergétique, la question des risques naturels et les phénomènes climatiques extrêmes, la chimie et

le développement durable, la crise alimentaire mondiale, les maladies émergentes et réémergentes...; certes il est vrai nous abordons essentiellement l'aspect scientifique, la compréhension des phénomènes, qui sont des étapes nécessaires et cruciales dans le processus de développement scientifique et technologique, mais nous nous devons aussi d'examiner l'aspect technologique, et mettre l'accent sur l'application des résultats scientifiques et servir ainsi le développement du pays, jusqu'à créer progressivement une technologie marocaine.

Historiquement aussi nous constatons que la mise en place des académies des sciences -au sens moderne- au XVII^{ème} siècle en Europe a conduit à des avancées scientifiques et technologiques remarquables, qui elles-mêmes ont été à la base de changements économiques et sociaux notables; c'est le cas par exemple des révolutions industrielles vécues depuis le 18^{ème} siècle, la première avec l'invention de l'émblématique machine à vapeur due au physicien James Watt (membre de la Royal Society de London), elle même va conduire à l'invention chemin de fer, du bateau à vapeur, de la voiture, de la machine outils; la deuxième révolution industrielle est caractérisée par l'essor de l'électricité et du pétrole et verra l'invention du moteur à explosion; la troisième est la révolution numérique qui voit le développement de l'informatique et l'invention du microprocesseur; selon certains nous vivons déjà la quatrième révolution écologique qui touche tous les secteurs et qui est caractérisée par ce qu'on appelle l'énergie verte et l'économie circulaire (protection de l'environnement, préservation des ressources et recyclage des déchets). On peut en dire autant dans le domaine médical où grâce à la science, à la biologie moléculaire des avancées ont été assurées et des médicaments, qui ont grandement contribué à améliorer la qualité de notre vie et fait croître l'espérance de vie de nous tous, mis au point.

Derrière toutes ces avancées nous trouvons des hommes et des femmes de sciences de talent qui ont établi les lois et théories qui ont conduit à toutes ces inventions.

Excellences,

Honorables invités

Chers Académiciens,

Mesdames, Messieurs,

Aujourd'hui, la science constitue plus que jamais l'enjeu majeur de nos sociétés et le facteur décisif de leur évolution. Depuis plus de trois siècles, la connaissance scientifique, ne fait que prouver ses vertus de vérification et de découverte. En augmentant les connaissances dont l'Homme dispose, la science accroît sans cesse sa maîtrise sur son environnement, lui permettant d'utiliser son imagination pour améliorer sa condition, s'adapter et faciliter son quotidien. Le savoir scientifique, construit au fil des siècles, en continuel mouvement, a toujours été une source indéniable de progrès.

A ce titre, permettez-moi de saluer la déclaration intitulée «Science et confiance», adoptée par les Académies du monde, présentes à Paris le 27 septembre 2016 à l'occasion

de la Journée mondiale des sciences, qui à l'écoute des doutes qui s'installent parfois dans nos sociétés quant à l'utilité de la science, les Académies réunies à l'occasion de la célébration du 350^{ème} anniversaire de la création de l'Académie des Sciences de l'Institut de France, ont souhaité exprimer leur détermination à travailler au sein de la société. Elles renouvellent, à cette occasion, leur confiance dans l'éducation et dans la capacité de la recherche scientifique à contribuer au progrès de l'humanité.

Face aux enjeux majeurs de ce début du XXI^{ème} siècle – augmentation sans précédent de la population mondiale, raréfaction des ressources naturelles, déséquilibre des développements, dérèglement des équilibres planétaires – il est primordial que nos sociétés redonnent encore plus confiance à la science et s'appuient sur la démarche raisonnée de la pensée scientifique pour répondre de manière responsable aux questions d'aujourd'hui et aborder avec sérénité celles de demain.

Mesdames, Messieurs,

Au cours de l'année écoulée, l'Académie Hassan II a été particulièrement active, et à côté des actions qu'elle mène depuis maintenant plus de dix ans, comme notamment la promotion de la recherche et l'encouragement de l'excellence, et que nous détaillerons au cours de la séance du Jeudi après-midi, elle a concentré particulièrement son action dans trois axes :

- commémoration du 10^{ème} anniversaire à travers les régions du pays.
- contribution à la COP22 par 5 «Side Events».
- présence sur le plan international et particulièrement africain; je voudrais m'attarder un peu sur ce dernier volet de notre action qui a vu la consolidation et le développement de nos relations avec l'Afrique et la communauté scientifique africaine; au niveau Africain l'Académie Hassan II a été particulièrement active en organisant deux réunions au Maroc des membres du NASAC, 16 et 18 mai 2016, à l'occasion de la session anniversaire de l'Académie et en présence de tous les membres du NASAC sur *«Sciences et Technologies : levier majeur d'un partenariat Sud-Sud pour le développement industriel et agricole de l'Afrique»*; à la COP22 (15 Novembre 2016) avec l'organisation d'un Side Event au cours de la COP22 sur *«Adaptation, atténuation et résilience au changement climatique : rôle de la science, de la technologie et de la coopération continentale»* et adoption d'une déclaration signée par tous les membres du NASAC sur la question du changement climatique en Afrique; l'Académie Hassan II a également participé par une forte délégation à la rencontre internationale de Dakar sur Next Einstein Forum (8-10 mars 2016) tenue en présence des Présidents Sénégalais et Rwandais; à l'issue de la réunion de l'Assemblée Générale du NASAC tenue en Afrique du Sud en Novembre 2016, l'Académie Hassan II a été reconduite à la présidence du NASAC pour trois années, en la personne de son Chancelier Pr. Mostapha Bousmina.

**Excellences,
Chers Académiciens,
Mesdames, Messieurs,**

Le thème «Océan et climat» était un des thèmes majeurs de la Conférence des Nations Unies sur le Climat (COP22), organisée en novembre dernier à Marrakech, et son choix pour notre session s'explique certes par le rôle crucial que joue l'océan dans les processus complexes de régulation du climat; il s'explique aussi, et je dirai surtout, par l'importance de ses ressources vivantes, aujourd'hui menacées par la surexploitation, la pollution massive, la dissémination et l'acidification globale des eaux marines due à l'absorption du CO₂ par les océans.

Excellences, Mesdames, Messieurs,

Avec ses 3500 km de côtes, une façade maritime à la fois sur l'Atlantique et la Méditerranée et une situation géographique au carrefour de l'un des transits maritimes les plus denses, le Maroc est concerné en premier lieu par les interactions entre l'océan et le climat. Il va sans dire que l'océan et ses rivages sont un atout pour notre pays. Les activités liées à la mer contribuent à hauteur de 20% du PIB national.

Anticiper les risques liés au changement climatique passe nécessairement par une stratégie d'amélioration permanente, de l'observation systématique et de la compréhension des phénomènes, de réduction des incertitudes des simulations numériques du climat, et par la recherche et le déploiement des solutions permettant d'aboutir à une réduction substantielle des émissions de gaz à effet de serre.

Face à ces risques, il est nécessaire d'approfondir le débat sur l'importance de la recherche-développement et l'innovation et la concertation sur la détermination des projets et axes de recherche porteurs qui concernent spécifiquement les problèmes liés au dérèglement climatique. Pour cela, il est important de promouvoir la formation et l'enseignement dans le domaine des sciences du climat, discipline multidisciplinaire par excellence, et d'encourager les activités de recherche sur le fonctionnement du climat, tant sur les aspects de la collecte, l'analyse et l'échange de données et d'informations pertinentes, que sur les mécanismes physiques et chimiques en jeu, ainsi que sur les modèles numériques qui couplent ces mécanismes pour réduire les incertitudes et améliorer les projections.

Au cours de cette session plénière solennelle, quatre séances seront consacrées au thème général de la session et plus particulièrement aux questions liées aux effets conjugués du changement climatique et leurs impacts sur l'océan et ses rivages, aux implications économiques et sociétales ainsi qu'aux perspectives de la recherche dans le domaine des sciences du climat ainsi qu'aux moyens appropriés à mettre en place pour y faire face, tout en mettant l'accent sur le cas du Maroc. Nous aurons ainsi l'occasion d'écouter plusieurs communications sur ce thème scientifique général et des éléments de réponses sur ces

questions seront certainement apportés par les différents intervenants et conférenciers, et je saisi cette occasion pour remercier les éminentes personnalités scientifiques, de l'extérieur et de l'intérieur du Royaume, qui ont accepté notre invitation et qui vont présenter des conférences ou des communications scientifiques sur ce sujet au cours de cette session. Je voudrais les remercier vivement pour leur présence et leur participation à notre session; comme nous saluons avec beaucoup de plaisir toutes les personnalités qui ont répondu à notre invitation et qui nous honorent par leur présence parmi nous aujourd'hui.

je voudrais aussi saisir cette opportunité pour remercier chaleureusement mon ami le Professeur Abdeljalil Lahjomri, Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume et l'ensemble de son personnel pour l'aide qu'ils nous apportent, comme à l'accoutumée, dans l'organisation matérielle de notre session plénière.

Je remercie également les membres des différentes instances administratives et scientifiques de notre Compagnie, le Conseil de l'Académie, la Commission des Travaux, les Collèges scientifiques ainsi que le staff administratif pour l'aide précieuse qu'ils ont apportée à l'Académie dans la préparation de cette session; souhaitons lui tout le succès qu'elle mérite et à notre Académie d'être à la hauteur de l'objectif qui lui a été fixé par son Protecteur Sa Majesté Le Roi Mohammed VI -que Dieu Le protège- *«Servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale»*.

Je vous remercie pour votre attention.

- Pr. Abdelaziz SEFIANI (Directeur des Séances)

Merci M. le Secrétaire Perpétuel. Nous avons un programme très riche et varié au cours de cette session, et pour notre conférence inaugurale nous avons l'honneur et le plaisir d'avoir avec nous le Pr. Carlos DUARTE de l'Université Le Roi Abdullah des Sciences et des Technologies d'Arabie Saoudite, qui va nous parler du «Rôle des océans et des mers dans la régulation du climat et réponse des écosystèmes marins au changement climatique».

THE ROLE OF OCEANS AND SEAS IN CLIMATE REGULATION, AND THEIR REACTION TO CLIMATE CHANGE

Carlos M. DUARTE

***Director, Red Sea Research Center
King Abdullah University of Science and Technology
Kingdom of Saudi Arabia***



Assalamou Alaikoum

Dear Ministers and Ambassadors,

Dear Perpetual Secretary of the Hassan II Academy of Sciences and Technology,

It is for me a great pleasure to be able to address the Academy and the audience today. It is a great honor to have been invited today by the Academy to introduce the subject of this plenary session on the **“Role of oceans and seas in climate regulation, and their reaction to climate change”** and also the case of Morocco.

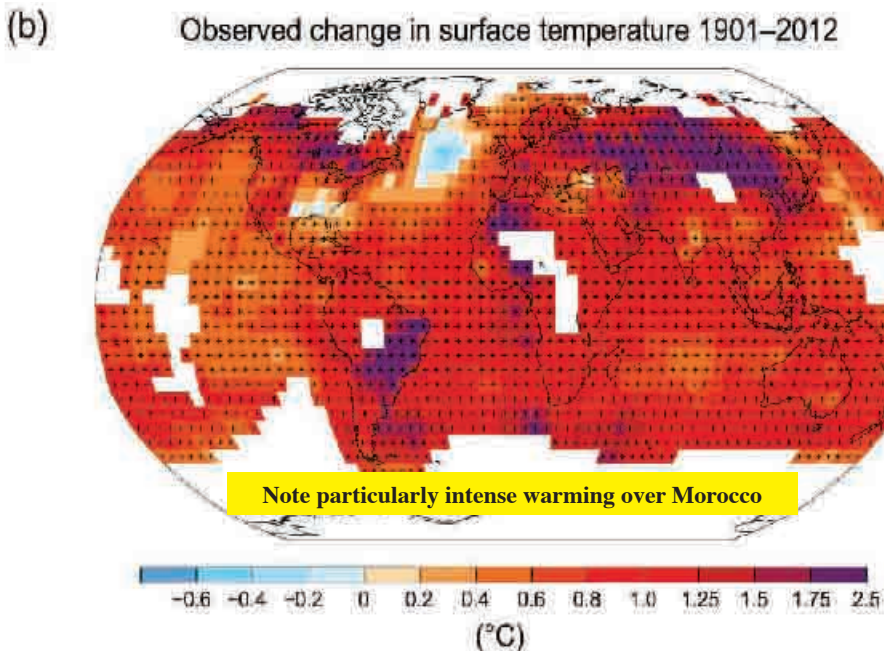
The science of climate change started in an academic discussion in an Academy like this in Sweden, 120 years ago, when Svante A. Arrhenius (1859-1927), a Swedish physicist presented in 1895 a paper to the Stockholm Physical Society titled *“On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.”* He calculated that a doubling of the partial pressure of atmospheric CO₂ would lead to a 2°C warming of the planet and that the “temperature of the Arctic regions would rise about 8 degrees or 9 degrees Celsius, if the concentration of carbonic acid [CO₂] in the atmosphere increased 2.5 to 3 times its present value”. We are now providing a whole-planet experimental test of this prediction.



Svante A. Arrhenius

Since the industrial revolution, the emissions of greenhouse gases have increased and they have closely tracked the development of the global economy. We have a steady growth between 2000 and 2010 and a slowdown of the growth of emissions possibly because we are more aware of the impact of emissions of CO_2 and other greenhouse gases on the global climate, but also because the global economy has also slowed down. We don't yet know to what extent it is a global responsibility or a case of simply the economy is slowing down during the last few years. As expected the increase of the concentration of CO_2 in the atmosphere has also increased steadily to about 280 ppm in the atmosphere before the industrial revolution to exceed 400 ppm for the first time and on a global average in the year 2016.

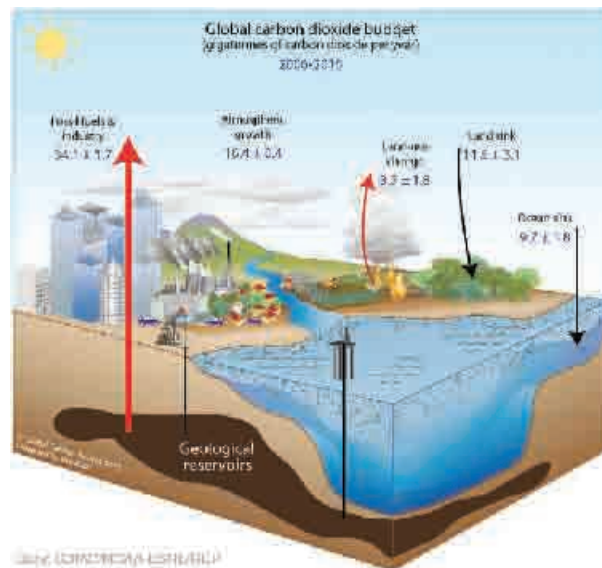
As predicted by Svante Arrhenius, there has been very close correlation between the increase in the concentration of CO_2 in the atmosphere and the global temperature. Soon, if the CO_2 concentration continues to rise, we will be able to validate again the prediction of Svante Arrhenius that the global temperature should be raising by 2°C by the doubling of CO_2 . The consequences are obvious and, when we look at the changing in the surface temperature between 1901 and 1912, we can see a global raise of warming that is only intense in some areas and the Kingdom of Morocco is one area of those where warming is particularly intense. So certainly climate change and increase in global temperature is a matter of great concern for the Kingdom of Morocco because of its geographic situation.



The complications and complexities of climate change have been summarized in a very parsimonious figure which is a linear relationship between the cumulative total anthropogenic emissions and other greenhouse gases, and the temperatures are normally relative to the references being of 1861 to 1880. Today we are located at about 1°C of

global temperature raise, and then we have different scenarios to how global temperature will behave in the future depending on the decrease or increase of emissions. This is evidence that every nation in the world is working for the benefit of human kind. His Majesty The King Mohammed VI took last year the leadership in the response of the global community to the climate change by bringing the COP22 to Morocco and declaring that the climate is warming at an alarming and unprecedented rate (1°C) and that all nations have an urgent duty to respond. This is an important step because one of the continents where the impact of climate change is going to be more severe is the African continent, and to see the King of Morocco taking leadership of global action against climate change is certainly a major milestone.

When we are now looking at the role of the oceans in the regulation of climate on the planet, we can examine what is the fate of the CO_2 that is submitted to the atmosphere. The oceans absorb about 28% of CO_2 emissions, so one third of the emissions are absorbed by the oceans; therefore that buffers and alleviates the rising in global temperature. The ocean has continued to serve this role and there was some concern about the capacity of the ocean to continue to absorb the CO_2 emissions was slowing down, but in fact it was steadily continuing to absorb 1/3 of the CO_2 emitted by human activities. Ocean is not only a main reservoir for CO_2 in the planet, it is also because of the high thermal capacity of the water it is also the main reservoir of heat. The rate of increase in heat content in the ocean has increased from 0.06 (1950) to 0.35 W m^{-2} (2010) for 0 – 1800 m^l. This heat reservoir is becoming deeper and as a consequence the ocean reservoir is warming at a rate similar to warming of land. One of the consequences is the warming in the Arctic to the point that Arctic sea ice extent at historical record low levels since October 2016 to date. Since September of last year we have seen an unprecedented abnormally temperatures above 30°C for weeks and even months.



Anthropogenic perturbation of the global carbon cycle

The loss of sea ice in the Arctic is not only a signal of climate change but also has consequences for the global climate system. The shift from a white to a dark Arctic is leading to a decline in the global albedo and increased warming.

The last consequence of the absorption of CO₂ by the ocean is the decline in pH because of the role of CO₂ and carbon system in buffering the pH of the ocean. Ocean O₂ Concentration is also declining as a consequence of a warmer ocean and enhanced respiratory demands by marine biota. Together with increasing CO₂, declining O₂ levels aggravate respiratory challenges to marine organisms in areas supporting already low oxygen levels (e.g. upwelling regions). The role of the ocean in climate regulation may be summarized as follows:

The world's oceans have absorbed 93% of the extra heat trapped by the Earth since 1970

(Rhein, M. et al. in Climate Change 2013).

Captured 28% of anthropogenic CO₂ emissions since 1750.

Ocean evaporation (E) and precipitation (P) are the fundamental components of the global water cycle.

Buffers climate fluctuations.

Redistributes heat, avoiding excess heat at low latitudes and extreme cold at northern latitudes.

Associated changes in the ocean are shifting the conditions to support marine life:

Warmer

Invading shallow coastal areas

Decrease in pH

Loss of oxygen

Loss of sea-ice (critical habitat)

These shifts may, in turn, induce feedbacks in the Earth's climate system [e.g. a trend towards decreasing global ocean productivity and expansion of the oligotrophic gyres ("ocean deserts")]. Poleward displacement of marine (and terrestrial) thermal regimes is advancing at a rate of 20 km per decade. Polar organisms are facing risks because the thermal regimes to which they are adapted may disappear. In equatorial regions we are seeing thermal decrease. In other places, like the Mediterranean region, there are limits to the organisms to migrate and extend their geographical area to cooler zones.

The second element of concern, beyond warming, is the decrease in pH of water. Impacts of warm temperatures and high CO₂ are reduced in the progeny of coral reef fish:

Fish exposed to elevated temperatures after hatching had reduced aerobic scope.

Fish whose *parents* were exposed to elevated temperatures showed complete restoration of scope.

The mechanism for this *transgenerational adaptation* was explored using transcriptomics.

Dozens of genes seem to be involved, with the most common related to metabolism, immune response and stress response.

There are many uncertainties, but certainly we now understand clearly that adaptation and evolution is a faster process than we thought before. These are brief synopses of climate change regulation and how changes in the ocean are impacting the marine life. The central question is what this means for the Kingdom of Morocco?

The Kingdom of Morocco is obviously a maritime nation with:

Nearly 3,000 km of coastline,

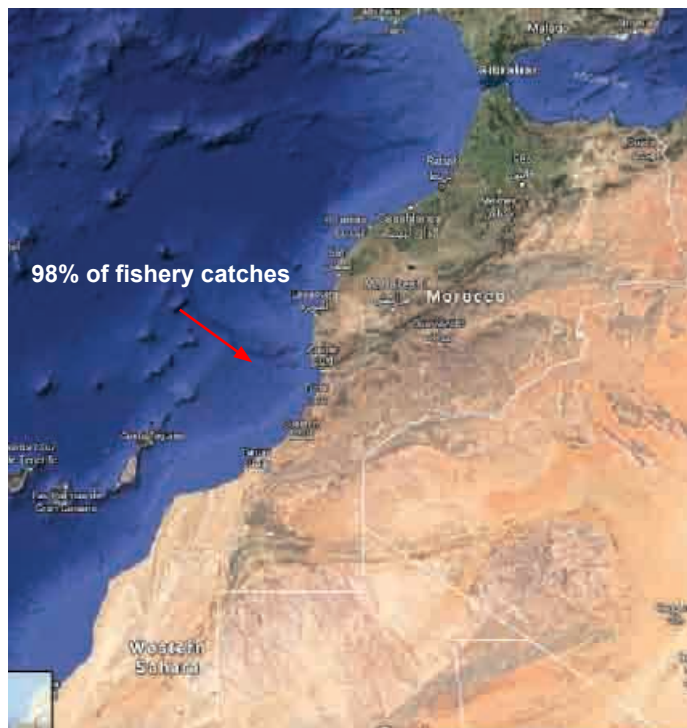
Two distinct seas: Mediterranean Sea and Atlantic Ocean,

The largest fish market in Africa, with 1.19 m tons of fish and seafood in 2012 (3.3% of global value compared to 0.4% of global population),

The fishing industry accounts for 3% of GDP (€494.3m in 2012), 56% of agricultural and 16% of total exports and about 400,000 jobs,

Plan **Halieutis** to increase fishery production, develop aquaculture and multiply jobs that are dependent on the ocean,

Tourism 10% of GDP with scope to increase in the future and continue to expand.



As I mentioned the Kingdom of Morocco has one of the four most important fisheries in the world, and that is supported by one of the most productive upwelling systems in the world. I will explain what these upwelling systems are. Basically, in the northern hemisphere along the eastern margin of the continent we have winds that are blowing south and current systems that flow south and push the water from the coast toward the open ocean and leads to the rising of the deeper water into the coast. In the southern hemisphere the system is reverted.

Coastal Upwelling: Ascent of nutrient-rich, cold waters to the surface along the continental slope.

Upwelled waters: Cold, Nutrient-rich, CO₂ rich, O₂ poor, and they support four major fisheries in the world.

	Observed	Expected	Uncertainty
Upwelling favorable winds High confidence	Intensification of upwelling favorable winds (except Canary/Canari System) during warm months. Increased variability and trends in phenology	Increasing (decreasing) trends in upwelling winds in poleward (equatorward) regions of the EBUS.	The influence of large-scale decadal variability.
Large-scale drivers of upwelling favorable winds Medium confidence	No evidence of multi-decadal trends in strength or position of pressure systems.	Models suggest poleward migration of ocean high-pressure systems, but little to no change in intensity of the thermal continental low-pressure cell.	
Coastal temperature and stratification Low confidence	Complex integration of global (climate change) and local (coastal upwelling) processes. Differences in global and EBUS SST trends are observed.	Complex integration of global (climate change) and local (coastal upwelling) processes. Ocean warming and stratification might be ameliorated by increased upwelling.	Trends are sensitive to location (nearshore vs. offshore), resolution, period and dataset considered, as well as to decadal variability.
Biogeochemistry Low confidence	Decreased pH and oxygen concentration.	Decreased pH and oxygen concentration, and increased nutrient concentration.	Uncertainty due to short period of data availability.

These assessments are based on variable periods and datasets (see text and references). Confidence, based on amount of evidence and agreement among evidence, is noted in italics.

Impacts of climate change in upwelling systems

Is the Canary-Morocco Upwelling System intensifying or weakening?

Evolving views:

Is not changing (or weakening) – e.g. Barton et al. (2013), Garcia-Reyes et al. (2015);

Is intensifying in the northern range, and weakening in the south – Croper et al. (2014), Wang et al. (2015).

Coastal Upwelling: Ascend of nutrient-rich, cold waters to the surface along the continental slope.

These waters are cold, nutrient-rich, and they are also rich in CO₂ and poor in O₂. They support one of the major fisheries in the world.

There is a poleward shift in the position of the upwelling system and therefore an expected poleward shift in the range of species (Upwelling areas may provide refuges for temperature-sensitive species (Lourenço et al. 2016)).

The centers of the upwelling systems and the centers of fisheries seem to be migrating toward the North with climate change.

When we look at upwelling systems of the north-east of the African coast, we can characterize three different areas :

In the north an area of weak upwelling system that will occupy most of the coast of Morocco.

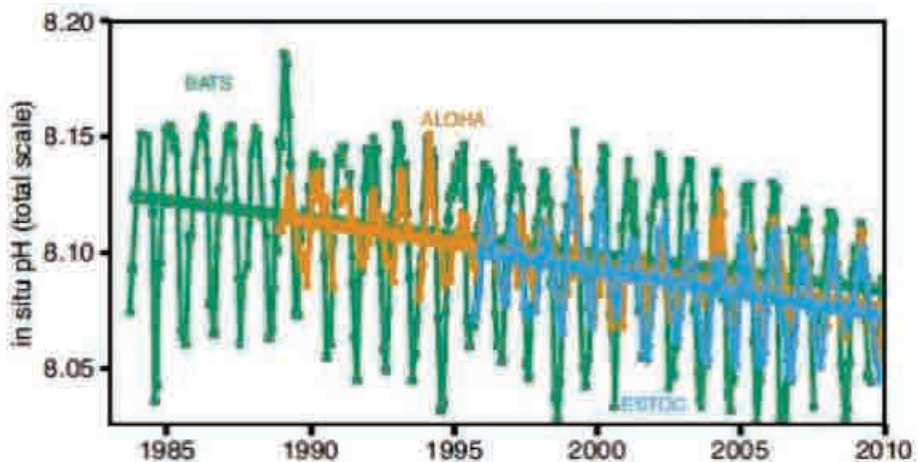
An area in the south of Morocco that will be the permanent upwelling zone. It's the area that is now supporting the strongest deal of fisheries in Morocco.

Further south along the coast of Mauritania and Senegal another area of weak upwelling system.

If we look at the rate of warming we can see that the southern area is becoming warmer and there is a footprint of the upwelling being less intense. Whereas in the southern part of Morocco, the waters are becoming colder and there is again footprint of intense upwelling.

A recent model is predicting that the upwelling system is going to be intense in the north and weaker in the south. That means that there is a displacement of the productive areas towards northern areas along the coast of Morocco.

There is also some other changes taking place along the coast of Morocco and one of them is ocean acidification. Data from the ESTOC station (Canary Islands) clearly reflect the monitoring since 1996 of a decline in ocean pH in the Canary-Morocco Current System parallel to that in other oceanic stations (Hawaii and Bermuda). We may be concerned that the decrease in ocean pH and decrease in CO_2 is also going to impact the marine life and fisheries resources off the coast of Morocco.



Blue: Canary Islands. Time Series Station (ESTOC)

There one piece of evidence that suggests that high CO₂ waters may also come with a solution which is a nutrient rich productive water mass. When we look at an experiment on the response of marine organisms to ocean acidification, we find that the high productivity, and food supply, associated with the upwelling system is likely to confer resistance against ocean acidification to calcifiers. If the upwelling system off Morocco continues to be highly productive, then the organisms are going to be vulnerable to ocean acidification. We still need to do more experiments to substantiate this evidence.

When we look at the northern part of the Kingdom, then the Mediterranean Sea is entirely a different story. The warming rate of the Mediterranean Sea is very comparable to that of the global ocean, but the intensity of heat waves is increasing in the Mediterranean Sea.

Absence of reports for Moroccan coast: lack of impact of paucity of monitoring?

Chefaoui & Duarte reported the presence of the seagrass *Posidonia oceanica* and thermal regimes defining its niche: maximum seawater temperature of 23.13°C to 29.21°C. Currently, the seagrass *Posidonia oceanica* finds marginal habitat in the Mediterranean coast of Morocco (low temperature). Niche models suggest widespread loss of *Posidonia oceanica* from the Mediterranean. The Mediterranean coast of Morocco may become a refuge for thermally stressed Mediterranean species in a warmer Mediterranean (conservation measures?).

Conclusions :

The ocean plays a key role in the regulation of the Earth's climate system and in buffering anthropogenic perturbations.

In doing so, the ocean is becoming warmer, CO₂-enriched, oxygen-depleted, more acidic and less productive, increasingly impacting on biota.

Morocco's is experiencing steep changes with climate change (intense warming, hydrological changes), which are also reflected in a likely northward shift of the upwelling system and fisheries production: need to include this forecast in fishery management.

The relatively cool Mediterranean waters off Morocco offer a refuge for thermally stressed Mediterranean species, which should be supported by marine protected areas.

DISCUSSION

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci Pr. DUARTE pour cette très belle conférence qui nous met d'emblée devant les défis qui nous attendent. Pr. DUARTE a souligné comment notre pays est et sera impacté et je crois que cette conférence va susciter beaucoup de questionnements et un débat très animé durant cette session. Avant de donner la parole à la salle pour deux ou trois questions, je donne la parole à M. le Chancelier pour un petit mot.

- **Pr. Mostafa BOUSMINA** (Chancelier de l'Académie)

Thank you Prof. DUARTE for this excellent talk and a scientifically well-sound presentation. We highly appreciate your focus on Morocco providing a mass of data that will be of interest to decision-makers. We will highly appreciate if you can, in the future, correct the map of Morocco; in fact it doesn't have this horizontal line. Morocco is one from North to South. Thank you.

- **Pr. Carlos DUARTE** (King Abdullah University of Science and Technology, KSA)

Unfortunately, I didn't have the opportunity to draw the maps. They are taken from the published literature. When I draw the maps, I certainly will draw them as one single area.

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

Thank you Pr. DUARTE for your nice lecture and we appreciated very much how you related most of your talk to the Moroccan situation. I am not a specialist of the area, but I was curious to know if the resistance against ocean acidification to calcifiers regeneration by upwelling system associated to food supply is related somehow to the duration and the degree of the acidification. In other terms, how long it will help to resist to that and if the water continues to be more acid. Probably there was a correlation there. Thank you.

- **Pr. Carlos DUARTE** (King Abdullah University of Science and Technology, KSA)

Thank you for the question that is very relevant. I haven't had the opportunity to work with marine organisms along the coast of Morocco, so I cannot really provide an example for the coast of Morocco. But I had an opportunity to do many experiments in the coast of Chili which supports the strongest upwelling regime in the world and when you look at the CO₂ concentrations, they are more elevated there than they are in Morocco. In the coast of Chili we examined the responses of calcifiers to elevated CO₂ during upwelling events and we also transplanted organisms from areas that were not experiencing the upwelling to areas that were permanently receiving upwelling during a full year. What we observed there is that the organisms in the acidified areas (I actually published those results already). The shells become thicker, not thinner, because the bivalves are

protected from the seawater and what these organisms do is to have sufficient food and do not experience the levels of pH that are otherwise observed by other organisms. The experiments are relevant because we first look at shelly organisms along the coast of Chili, so that was 15° latitude, and Prof. Castilla who is a member of this Academy, and who is not with us today, knows this very well and those organisms were already well adapted (not short term observations) support what we observed experimentally. We are confident that the results are insufficient and yet we had not been able to conduct similar studies off the coast of Morocco. I had the opportunity to participate in six research cruises but those were offshore from the coast of Morocco but I was never able to work with marine organisms from the shore.

- Pr. Carlos MARTINEZ-ALONSO (CSTV)

Thank you very much for this beautiful presentation and for warning us as the future. There is of course several aspects that may very important and actually I want to touch since you are the expert, because you have been taking information from several places around the world that is the consequence for the marine life of the changes in the acidification and the temperature. You also said, or your data are suggesting, these organisms are undergoing changes in two years. It is really fast due to epigenetic modifications.

Do you think, looking at the future in the way we are working, you are suggesting in how many years the marine life will change dramatically because new species will be adapting to the emerging conditions?

The second thing I want to ask about is focusing on the Mediterranean playing an important role in fighting against the acidification. Is there any evidence that there is also selection processes that are growing and that are resistant and of course being little bit more positive. Is it possible to select those mutants, active from the human side incorporating new mutations so that they will be able to fight against the acidification and try to compensate the consequences for that?

- Pr. Carlos DUARTE (King Abdullah University of Science and Technology, KSA)

The two questions are linked because the capacity of organisms to evolve and adapt to ecosystems depend to certain extent on generation-time. When you focus on the seagrass (*Posidonia oceanica*) that people don't really care much about, we reported that this algae are the oldest living organisms, so we were able to date some clones in the Balearic Islands to an age between 30 000 to 100 000 years old. The generation-time is especially long for this species (100 years) and the capacity to adapt even by epigenetic change is very limited. The corals are often portrayed as the habitats that are most vulnerable to warming, but in the Red Sea we have corals that growing at 38°C and they are perfectly healthy whereas in most other coral regions the corals will die at 38°C. We have been looking at how the corals are able to cope with these high temperatures and identified symbions. Corals are a consortium between an animal that is a polyp and a dinoflagellate which is an alga. We have been able to identify strains of this alga that are extremely resistant to high temperature and there was a suggestion made, as you propose, that we

could assist by inoculating this resistant strains to others corals to confer this resistance, take that resistance from the Red Sea to a more vulnerable corals like those in the green barrier reef in the Caribbean region. It is feasible and it is doable and probably involves very little risk in this particular case.

- Pr. Francisco GARCIA-GARCIA (CSTV)

Muchas gracias Señor Director. Si me permite, voy hacer el comentario et la pregunta en español. Una felicitación para el ponente por su magnífica presentación. Voy a regresar en continente americano en alusión que comentada de Chili y concreto del país de México seguramente le sonara bastante los nombres (Gilberto, Paulina, Vilma y Patricia) que son los nombres genéricos que han recibido los últimos ciclones que han atacado desde el océano a México país. Siempre han existido el ataque de los ciclones o vientos del Pacifico o vientos del Atlántico del golfo de México, pero México sufrió una vate de un doble ciclón uno del Pacifico y otro del Atlántico por nombres de Ingrid y Manual.

El comentario es que podemos sacar en conclusión es el cambio de la regulación de patrones climatológicos con el caso de México extrapolando lo que saz a otro senario en otros países en su opinión que eso puede repetir en otros continentes. Gracias.

- Pr. Carlos DUARTE (King Abdullah University of Science and Technology, KSA)

Muchas gracias. The question is whether is the pattern of the cyclone impacts that happen usually in Mexico recently with simultaneous impacts of cyclones hurricanes from the Pacific and Atlantic oceans can be reproduced in other areas? Unfortunately, the answer is yes, anomalies are happening around the oceans. I didn't have time to go into details of these extreme events (like hurricanes and cyclones) but until recently the number of events was too little to have good statistics to resolve the question: are they becoming stronger and more frequent with climate change? Now there is a consensus that the frequency and strength of cyclones are becoming stronger and also they occur in areas where they occurred before. Even the Canary Islands have been already hit twice by cyclones that are unprecedented in the record of the long history of the Canary Islands and you will also remember even in Brazil there were at least 2-3 cyclones that hit the coast and that is also something that is unprecedented. So they are becoming more severe, the changing pattern is stronger and they are occurring in areas of the coasts where they have occurred in the past. Again, that is consistent with predictions from models, but until recently those predictions could not be substantiated with observations because the number of events was too limited. Now these cyclones and hurricanes are increasing in frequency as well.

- Pr. Abdelaziz SEFIANI (Directeur des Séances)

Alors on prend une dernière question du fond de la salle.

- Membre de l'audience

I have two questions. The first one is about the calculation of this CO₂ uptake by the ocean. We know that that this calculation is done essentially for the North Ocean. Do you have some guidelines to give us on how to calculate this mean in the developing countries?

The second question is about this seagrass (*Posidonia oceanica*) since you are one of the world specialists. Are your conclusions concerning only this seagrass along the coast of Morocco or about all the marine seagrass? Thank you.

- Pr. Carlos DUARTE (King Abdullah University of Science and Technology, KSA)

Concerning the calculation of this CO₂ uptake by the ocean, you will have the opportunity to listen to far more details during the presentations in the coming two days, but the estimates are not derived only from the northern countries, they are global estimates that are based on different approaches. There are at least 5 different approaches, all of which are global in a scope not focusing on a particular region, all of them convert to that figure with very low uncertainty. In this particular case the estimate is so vast as the estimate of the increase of CO₂ in the atmosphere but there is one component of that budget that I remain skeptical about that is what is called the land sink for CO₂ that is probably about 20-28% of the carbon removal but that is not observed. Nobody has been able to come up with a direct measurement that shows where this carbon is.

When I was a PhD student this carbon that was missing was called the missing sink and at some point along the decades somebody resolved that question: the missing is not in the atmosphere and is not in the ocean, it must be inland somewhere. Nobody has been able to demonstrate where that carbon is. They are other hypotheses about where the carbon might be. I believe that after I completed my PhD in 1986 we still have that uncertainty 30 years later. I think we really need to look closer at the science of carbon budget inland. I am very concerned with this terrestrial sink.

On the second question on the seagrass, I focused on *Posidonia oceanica* because that is probably the one that support the most productive ecosystem in Mediterranean but there are two other species in the Kingdom of Morocco. Of these two species *Zostera noltii* will be the species that is more prevalent along the Atlantic coast and *Cymodocea nodosa* that grows both along the Mediterranean and Atlantic coasts. Both species will probably be favoured by warming and also by elevated CO₂ but *P. oceanica* is the one that is of concern.

- Pr. Abdelaziz SEFIANI (Directeur des Séances)

Merci beaucoup Pr. Duarte. Nous arrivons au terme de cette cérémonie d'ouverture. J'aimerais encore une fois remercier nos honorables invités et remercier toute l'assistance. Nous reprendrons nos travaux demain matin à 9h avec les présentations de la première séance.

Séance I
MODÉLISATION DES INTERACTIONS
OCÉAN-CLIMAT

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Mesdames, Messieurs les académiciens, honorable assistance,

Nous commençons le programme d'aujourd'hui par cette première session destinée à la modélisation des interactions Océan-Climat, et avant de donner la parole à notre premier conférencier, je donne la parole à notre Secrétaire Perpétuel Pr. Omar Fassi-Fehri.

- **Pr. Omar FASSI-FEHRI** (Secrétaire Perpétuel)

Merci Monsieur le Directeur des Séances. Je voudrais prendre très brièvement la parole pour remercier une nouvelle fois le Pr. Carlos DUARTE, d'abord pour la qualité et l'excellence de sa conférence inaugurale. Personnellement, j'ai beaucoup appris sur mon pays à travers cette conférence et toutes les données qu'il nous a communiquées. Mais au delà de ça, il s'excuse pour la carte qu'il a présentée concernant notre pays. Bien sûr, nous le remercions pour ce geste et nous savons qu'à travers sa conférence, il est non seulement un collaborateur mais quelqu'un qui veut aider notre pays particulièrement dans le domaine qui nous concerne tous : la lutte contre le changement climatique. Encore merci au Pr. DUARTE pour son geste et sa lettre et également, une nouvelle fois, pour la qualité et l'excellence de sa conférence. Il a vraiment apporté un plus pour notre session plénière à travers cette conférence qu'il a donnée hier et merci pour votre attention.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci Monsieur le Secrétaire Perpétuel. Nous avons trois éminents orateurs qui vont nous présenter leurs conférences dans le cadre du thème de cette première session. La première est le Pr. Valérie MASSON-DELMOTTE de l'Université de Paris-Saclay, et co-présidente de l'IPCC, qui va nous parler de «**L'importance des océans pour le changement climatique, du passé au futur**».

L'IMPORTANCE DES OCÉANS POUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, DU PASSÉ AU FUTUR

Valérie MASSON-DELMOTTE

*Institut Pierre Simon LAPLACE, Laboratoire des
Sciences du Climat et de l'Environnement,
Université Paris Saclay, Gif-sur-Yvette, France*

valerie.masson@lsce.ipsl.fr



1- Introduction : le rôle de l'océan dans le fonctionnement du climat

La découverte et la caractérisation du rôle des océans dans le fonctionnement du climat s'inscrit dans une formidable aventure scientifique collective qui, au cours des derniers siècles, a vu la mise en place de grands systèmes d'observation, tout d'abord à la surface des océans et des continents, initialement pour la prévision météorologique, depuis le milieu du 19^{ème} siècle, puis une surveillance de l'état des océans en profondeur, depuis une cinquantaine d'années, ainsi qu'un suivi du climat planétaire depuis l'espace, depuis la fin des années 1970. Ainsi, les données des marégraphes permettent-elles de connaître depuis plus de 150 ans l'évolution du niveau de la mer, qui est également, depuis 1993, suivi par télédétection. Le suivi du contenu de chaleur des océans, qui est un indicateur essentiel du bilan d'énergie du système climatique, est possible depuis les années 1960, avec une amélioration de la densité et de la couverture spatiale des observations de température en profondeur et dans les zones difficiles d'accès comme l'Océan Austral remarquables au cours des derniers 20 ans. Le programme Argo, lancé en 2000 par la Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO et l'Organisation Météorologique Mondiale, a ainsi mobilisé plus de 30 pays pour déployer et entretenir un réseau de 3000 profileurs autonomes qui mesurent en temps réel la température et la salinité sur 2000 mètres de profondeur.

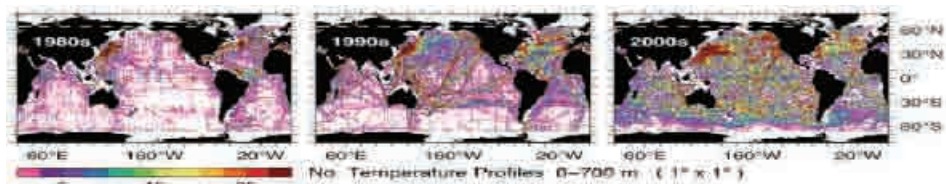


Figure 1 : évolution du nombre de profils de température océanique mesurée entre 0 et 700 mètres de profondeur, pour chaque maille de 1° de latitude par 1° de longitude, des années 1980 aux années 2000. Source : 5^{ème} rapport d'évaluation du GIEC (IPCC, 2013).

Depuis le milieu du 20^{ème} siècle, ces observations directes sont complétées par des enregistrements paléoclimatiques, qui permettent de connaître l'évolution du climat de la Terre depuis l'échelle des temps géologiques jusqu'aux derniers millénaires, de plus en plus finement, grâce aux progrès des techniques permettant d'extraire des échantillons de milieux naturels comme les sédiments marins, de dater ces archives naturelles, et d'y quantifier un signal climatique. La paléocéanographie, qui repose sur l'analyse de traceurs dans les sédiments marins ou les coraux fossiles a ainsi joué un rôle majeur dans la caractérisation des variations passées du niveau des mers (et donc des glaciations continentales), dans la caractérisation de l'évolution biogéochimique de l'océan et son rôle dans le cycle du carbone planétaire, et dans la découverte d'instabilités rapides de la circulation méridienne de retournement de l'Océan Atlantique à de multiples reprises, au cours des périodes glaciaires comme des déglaciations.

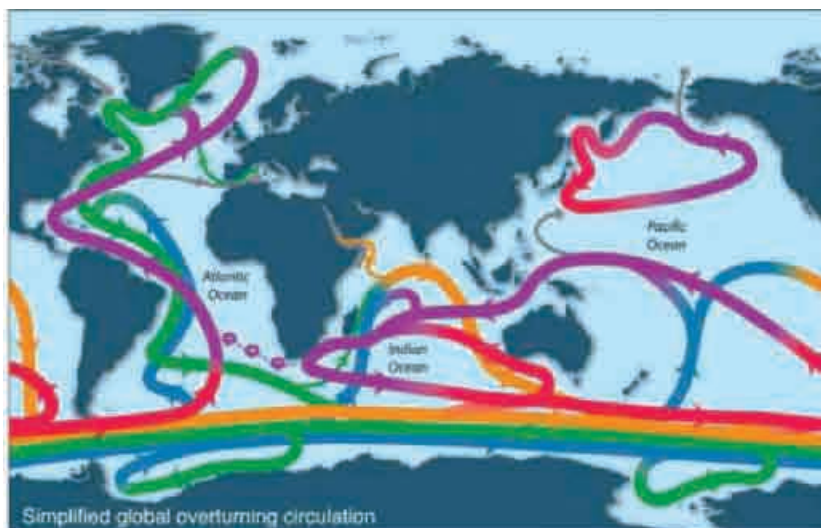


Figure 2 : représentation simplifiée de la circulation méridienne globale. Les flèches de couleurs indiquent le sens de circulation des eaux de surface (violettes), intermédiaires (rouge), et profondes (jaunes pour les océans Indien et Pacifique ; bleues pour les eaux profondes antarctiques ; vertes pour les eaux profondes de l'Atlantique Nord). Source : Talley, 2013.

Enfin, le rôle des océans dans le fonctionnement du climat est également de mieux en mieux compris grâce à ces observations, mais aussi à des études théoriques et numériques issues de la physique des fluides et appliquées au système climatique. La compréhension de la circulation océanique globale, l'importance de la circulation thermohaline (Figure 2), le temps de mélange des masses d'eau des océans (typiquement de l'ordre de 1000 ans) et enfin l'identification d'effets possibles de seuils reliant état du climat, gradients de densité de l'eau de mer, et circulation océanique ont renforcé la nécessité de prendre en compte le rôle de l'océan dans le fonctionnement du climat, sa variabilité spontanée, et sa réponse à différents types de perturbations (Figure 3).

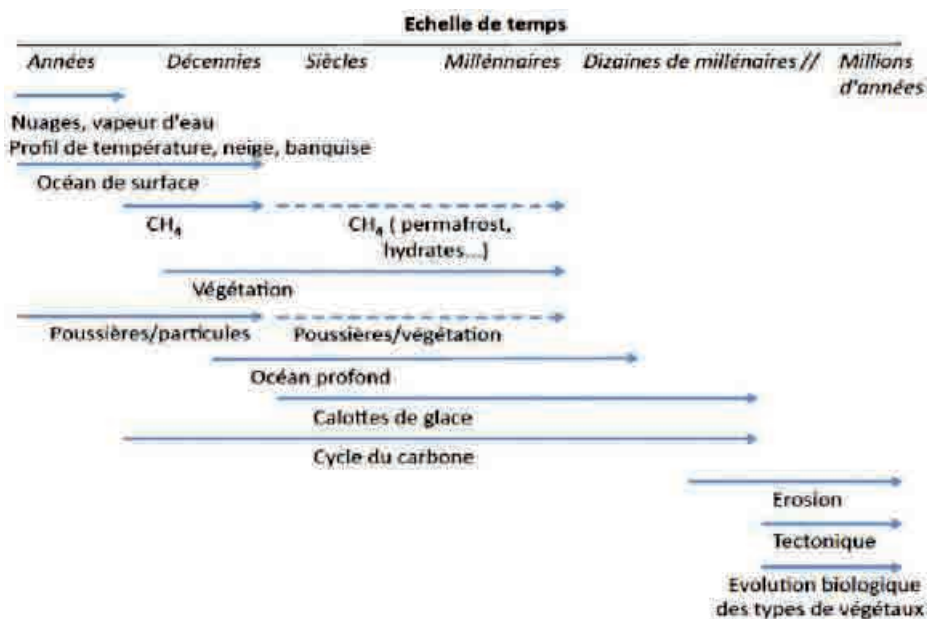


Figure 3 : échelles de temps caractéristiques des rétroactions du système climatique (adapté de Rohling et al, 2012).

Les modèles de circulation générale de l'atmosphère avaient dès les années 1970 une représentation simplifiée des océans et de la glace de mer, essentielle pour le cycle global de l'eau et de l'énergie (Figure 4). Les premières simulations d'évolution climatique future couplant océan et atmosphère en trois dimensions ont été publiées à la fin des années 1980, et toutes les équipes de modélisation du climat dans le monde travaillent à améliorer la représentation des océans et des interactions océan-atmosphère, afin de mieux comprendre les processus à l'œuvre, donner sens aux changements passés, mais aussi explorer la possibilité de prévisions climatiques à l'échelle saisonnière (ex. El Niño) à décennale, et enfin effectuer des ensembles de simulations climatiques futures, en réponse à différents scénarios.

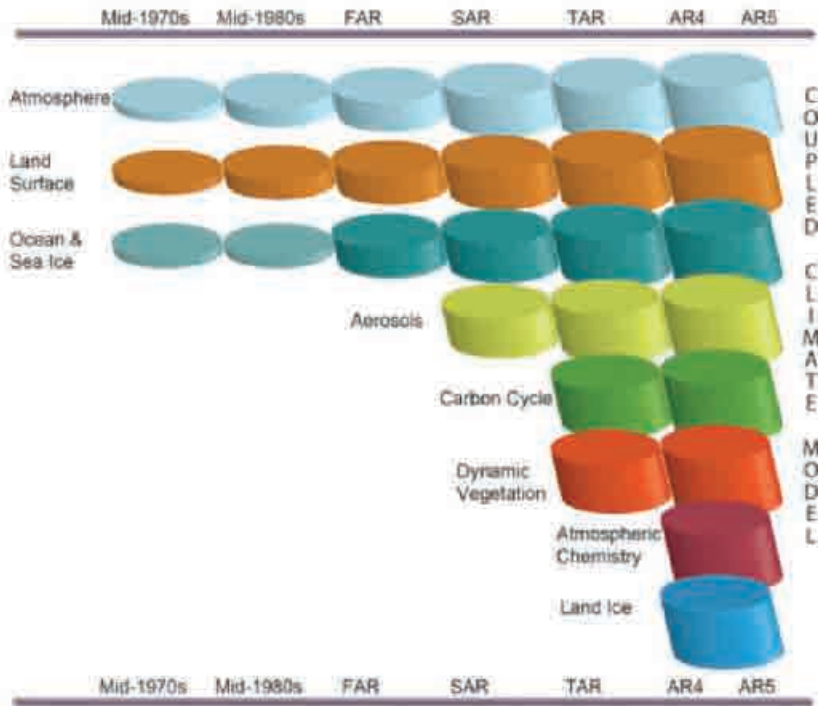


Figure 4 : représentation schématique de l'évolution des modèles de climat entre le milieu des années 1970 et pour chaque rapport du GIEC, respectivement en 1990 (First Assessment Report, FAR), 1995 (SAR), 2001 (TAR), 2007 (AR4) et 2013 (AR5).

La confrontation entre les toutes premières projections climatiques effectuées ainsi il y a plus de 25 ans aux observations montre, a posteriori, la pertinence de ces premiers modèles de climat pour représenter correctement les structures des changements de température tant à la surface terrestre qu'en profondeur dans les océans, en réponse aux rejets de gaz à effet de serre (Stouffer et Manabe, 2017).

Les modèles de climat actuels intègrent également une représentation de la biogéochimie marine pour le cycle du carbone, et améliorent la représentation des couplages entre océan et cryosphère, en particulier pour les plateformes de glace flottantes autour de l'Antarctique. Ce dernier point est important pour aller vers un couplage interactif entre climat et calottes de glace, afin de mieux représenter des processus comme les flux de chaleur et d'eau douce qui sont importants pour la circulation océanique et pour le niveau des mers.

2. Indicateurs de l'état du climat

Les émissions anthropiques de gaz à effet de serre entraînent un déséquilibre du bilan d'énergie de la Terre, du fait d'une diminution du rayonnement infra-rouge sortant vers l'espace. Ce déséquilibre entraîne une accumulation d'énergie dans le système climatique,

qui entraîne un réchauffement de l'air dans les basses couches de l'atmosphère, des sols, une fonte de la neige et de la glace, et une augmentation de température en surface et en profondeur dans les océans. Ce dernier terme représente plus de 90% de l'énergie supplémentaire emmagasinée dans le système climatique depuis 1950. La fonte des glaciers continentaux ainsi que la dilatation thermique des océans, plus chauds, entraîne une montée du niveau moyen des mers, et une augmentation du risque de submersion côtière. Le réchauffement à la surface de la Terre entraîne une augmentation des extrêmes chauds (à la surface des océans comme au-dessus des continents), une augmentation de l'humidité que peut contenir l'atmosphère, et une augmentation, dans certaines régions, de l'intensité des pluies les plus intenses.

Depuis 1750, le déséquilibre radiatif de la Terre est principalement dû à l'augmentation des concentrations atmosphériques en CO₂, en méthane et en autres gaz à effet de serre, qui entraînent un forçage radiatif positif, en partie compensé par le forçage radiatif négatif associé à l'effet direct et indirect des aérosols et l'effet des changements d'usage des terres. Depuis la période pré-industrielle, l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ d'environ 290 à plus de 400 ppm est due aux rejets anthropiques, issus de la combustion du charbon, du pétrole, du gaz, à la production de ciment, et aux changements d'usage des terres; une fraction de ces émissions a été absorbée par la végétation et les sols, et environ 30% des rejets anthropiques de CO₂ ont été absorbée par les océans, ce qui modifie la chimie des eaux de mer, et entraîne leur acidification. Les émissions mondiales de CO₂ et du méthane ont continué à augmenter en 2017 (Global Carbon Budget 2017).

Le contenu de chaleur des océans entre 0 et 2000 m, un indicateur clé de l'état du climat et qui reflète le déséquilibre du bilan radiatif terrestre, poursuit une augmentation régulière mesurée depuis les années 1970 (Source : NOAA, 2017). L'évolution de la température à la surface des océans et des continents reflète une variabilité inter-annuelle et décennale plus importante, du fait des interactions entre océan et atmosphère ; ainsi, les années marquées par le phénomène El Niño sont marquées par une température planétaire plus élevée que les autres années. Depuis 1960, la température de surface augmente au rythme moyen de 0,18°C par décennie, et dépasse, depuis 2015 le niveau pré-industriel de plus de 1°C (Hawkins et al, 2017). Notons que la tendance au réchauffement observée jusqu'en 2017 se situe proche de la valeur médiane des projections climatiques effectuées il y a plusieurs années (IPCC, 2013).

Les projections d'évolution future du climat reposent sur des simulations effectuées à l'aide de modèles numériques de climat. Ceux-ci sont basés sur des principes physiques, mais représentent de manière simplifiée, parfois semi-empirique, les processus d'échelle sous-maille. Ces modèles sont évalués sur leur capacité à simuler les caractéristiques climatiques actuelles moyennes, les tendances observées, les processus (comme par exemple le phénomène El Niño), et sont également testés sur leur capacité à représenter les grands traits des variations climatiques passées. Les inter-comparaisons des modèles de climat jouent un rôle important pour évaluer la robustesse de leurs résultats.

3. Variations climatiques passées, présentes et futures : exemples illustrant le rôle des océans

Au cours du dernier million d'années, l'évolution du climat est marquée par la succession de périodes froides, glaciaires, et de périodes douces, interglaciaires. Le moteur de ces variations tient aux modifications de répartition de l'ensoleillement selon les saisons et les latitudes, du fait de modifications lentes des caractéristiques de l'orbite terrestre et de l'axe d'inclinaison de la Terre. Les rétroactions du système climatique jouent un rôle majeur dans l'intensité des changements observés, avec environ 5°C de différence entre un état glaciaire et un état interglaciaire, et des réorganisations se produisant à l'échelle de plusieurs milliers d'années. Deux rétroactions jouent un rôle majeur : les variations d'extension des calottes continentales, par leur effet d'albédo ; les variations du cycle du carbone et tout particulièrement de stockage de CO₂ dans les océans, et les variations naturelles de l'effet de serre associé (Figure 5). De nombreuses incertitudes persistent dans la compréhension des réorganisations du climat lors des transitions glaciaires-interglaciaires, et tout particulièrement dans le rôle des changements de circulation océanique. Les recherches en cours visent à mieux caractériser l'état physique, dynamique et biogéochimique des océans, et leur évolution au cours du temps, grâce aux analyses de carottes de sédiments marins, et à la modélisation du climat.

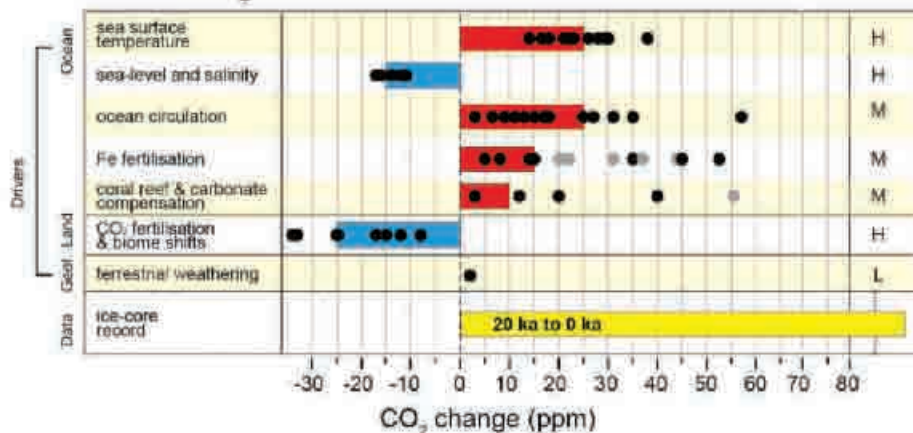


Figure 5 : variations glaciaires-interglaciaires de la concentration atmosphérique en CO₂ et compréhension du rôle de différents processus (L, low, confiance faible; M, medium, confiance moyenne ; H, high, confiance élevée). Notez l'importance des processus océaniques.

Source : IPCC, 2013.

Le second élément vis-à-vis de l'évolution passée du climat tient aux périodes climatiques douces, et à la réponse des calottes de glaces du Groenland et de l'Antarctique à aux réchauffements polaire de plusieurs millénaires liés aux modifications de l'orbite de la Terre (périodes interglaciaires) ou aux variations géologiques de la concentration atmosphérique en CO₂. En effet, le climat du Pliocène, il y a 3 million d'années, était marqué par une teneur atmosphérique comparable au niveau actuel. Les données

paléoclimatiques montrent que le niveau des mers était plus élevé qu'aujourd'hui de 6 à 9 mètres lors de la dernière période interglaciaire, il y a 12 000 ans (température planétaire de l'ordre de 1°C de plus que le niveau pré-industriel, mais pôles plus chauds de plusieurs degrés); de 6 à 13 mètres lors de la période interglaciaire qui s'est produite il y a environ 400 000 ans (idem); et de 6 à plusieurs dizaines de mètres au cours du Pliocène (température planétaire de l'ordre de 2-3°C de plus que le niveau pré-industriel) (Dutton et al, 2015). Ces données témoignent d'une vulnérabilité des calottes du Groenland et de l'Antarctique à un réchauffement global relativement modéré, et à un réchauffement de l'air et des eaux de mer polaires persistant pendant plusieurs siècles à millénaires. Cette source d'informations est importante pour tester les modèles numériques de climat et d'écoulement des glaces. Récemment, une étude américaine a utilisé un modèle qui a passé ces tests passés et a conclu à une vulnérabilité importante de plusieurs secteurs de l'Antarctique, pour un réchauffement global de plus de 2°C, avec des implications majeures pour le risque de montée du niveau des mers à horizon 2100 et sur les siècles suivants (De Conto et Pollard, 2016).

Les climats passés témoignent de réorganisations climatiques abruptes lors des périodes glaciaires, ponctuées par une succession d'instabilité, appelées événements de Dansgaard-Oeschger. Ces instabilités se caractérisent par une «bascule» entre hémisphères, les périodes froides au Groenland correspondant à des réchauffements en Antarctique, interrompus lors de réchauffements abrupts au Groenland. Les caractéristiques de ces événements s'expliquent par des réorganisations brutales du transport de chaleur inter-hémisphérique par la circulation méridienne de retournement de l'Océan Atlantique, et par l'effet d'accumulateur de l'Océan Austral. Ces instabilités rapides sont de mieux en mieux documentées dans les archives naturelles du climat glaciaires, terrestres et marines. Il est possible de simuler de telles instabilités, par exemple en ajoutant un flux brutal d'eau douce dans l'Océan Atlantique nord, ce qui perturbe les gradients de densité et peut provoquer des modifications de circulation profonde. Néanmoins, la cause de ces réorganisations reste discutée : quel est le rôle de l'état moyen du climat? Comment la présence de calottes de glace affecte-t-elle la circulation atmosphérique et ainsi les océans? Des instabilités d'écoulement des calottes de glace qui couvraient l'Amérique du nord et l'Europe du nord sont-elles à l'origine de ces réorganisations, ou en sont-elles les conséquences?

Comprendre mieux ces variations passées est important pour caractériser les mécanismes de fonctionnement du climat, et la manière dont l'état moyen du climat peut moduler sa variabilité spontanée. Certains modèles numériques de climat simulent ainsi des instabilités abruptes, en réponse à des scénarios d'émissions anthropiques de gaz à effet de serre (Drijfhout et al, 2015) : quelle confiance accorder à ce type de comportement non linéaire? Le fait de pouvoir tester ces modèles de climat par rapport aux réorganisations abruptes passées est important pour à la fois comprendre les mécanismes des variations passées et évaluer la capacité de ces modèles à représenter correctement les processus à l'œuvre. C'est un enjeu important, compte-tenu des implications de réorganisations de la circulation de l'Océan Atlantique nord pour le climat des régions périphériques, ainsi que pour les écosystèmes marins et les secteurs d'activité qui en dépendent.

L'état de l'océan est aussi important pour donner sens à des événements climatiques ponctuels, comme des ouragans. Des méthodes sont actuellement développées pour comprendre comment le réchauffement du climat peut affecter la probabilité d'occurrence ou les caractéristiques d'événements ponctuels. Par exemple, il est possible de simuler la prévision météorologique d'un événement donné, à partir de l'état de surface des océans et de l'état initial de l'atmosphère observés, et de confronter celle-ci à une simulation du même événement météorologique, mais avec un état de surface des océans différent. Cette approche permet alors de comprendre comment des eaux de mer plus chaudes peuvent affecter les caractéristiques d'un ouragan. Elle a été appliquée à l'ouragan Sandy, qui avait causé des dégâts majeurs à la ville de New York en octobre 2012 (Magnusson et al, 2014). Les températures particulièrement douces à la surface de l'Océan Atlantique sont alors identifiées comme un facteur d'intensification de la vitesse des vents et de l'intensité des pluies de Sandy, et donc des dommages qui en résultent. D'autres approches consistent à analyser comment les caractéristiques de ce type d'événement sont modifiées dans des simulations climatiques, en réponse à des scénarios de rejets de gaz à effet de serre, afin de comprendre comment les rejets de gaz à effet de serre ont ou non altéré la probabilité d'occurrence de tels événements ainsi que leurs caractéristiques (ex : fréquence et intensité d'épisodes de pluies torrentielles).

En ce qui concerne les projections climatiques, un enjeu majeur porte sur la capacité à comprendre la manière dont les changements climatiques de grande échelle affectent les phénomènes plus locaux, à l'échelle régionale. Ainsi, pour explorer les risques d'évolution future de systèmes d'upwellings côtiers, il faut comprendre les variations climatiques de grande échelle, les changements de gradients de température entre continents et océans, les aspects dynamiques de grande échelle (Oscillation nord atlantique, mousson d'Afrique de l'Ouest, courants de l'Océan Atlantique), qui peuvent tous affecter la réponse du système d'upwelling.

4. Les océans dans les rapports du GIEC

Mis en place en 1988 par les Nations Unies, sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) et de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), le GIEC a pour mandat de produire des rapports, sur la base de l'information scientifique, technique et socio-économique, afin d'évaluer les bases physiques des risques associés à l'influence des activités humaines sur le climat, les impacts potentiels, et les options d'adaptation et d'atténuation. Les rapports du GIEC font une évaluation critique de l'état des connaissances, et doivent être pertinents pour éclairer les choix politiques, mais non prescriptifs. Le GIEC ne fait pas de recherche, mais stimule la production de connaissances.

Le GIEC fonctionne avec un bureau, formé de 34 experts élus par les représentants des gouvernements (réunis en session plénière, qui est l'instance de prise de décisions), et un secrétariat d'une dizaine de personnes, hébergé à l'OMM à Genève (qui est chargé de l'organisation). Il comporte trois groupes de travail (I, bases physiques ; II,

impacts, adaptation et vulnérabilités ; III, atténuation) et un groupe chargé de définir les méthodologies pour les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre. Les co-présidents des groupes de travail sont les responsables scientifiques des rapports.

Un processus de co-construction est inhérent au fonctionnement du GIEC (Figure 1). Le GIEC recueille les attentes des gouvernements et des organisations observatrices concernant les thématiques à aborder dans les rapports. Ensuite, le bureau du GIEC lance un appel à nominations pour la participation aux réunions de cadrage, pour définir la structure des rapports (titres de chapitres, quelques mots clés), et sélectionne les participants. La sélection se fait d'abord sur la base de l'expertise scientifique, puis en recherchant une juste représentation des différentes régions du monde et des femmes. Cette structure est ensuite amendée et approuvée en session plénière. Le bureau du GIEC lance alors un appel à nomination pour les auteurs des rapports, et les sélectionne de la même manière. Les équipes d'auteurs de chaque chapitre rédigent plusieurs versions successives des rapports, qui passent par une procédure de revue par la communauté scientifique et par les experts nommés par les gouvernements. Cette étape est essentielle pour la qualité des rapports du GIEC, dont l'évaluation repose sur la rigueur, l'analyse de la robustesse des conclusions (avec le degré de confiance associé), la transparence et l'exhaustivité. Les résumés pour décideurs sont enfin soumis pour approbation, phrase par phrase, en session plénière, sur la base des rapports complets. Les rapports du GIEC constituent ainsi l'estimation du meilleur état des connaissances à l'instant t, et un socle commun aux différents gouvernements pour éclairer les négociations internationales sur le climat, conduites dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique (CNUCC).

Le 4^{ème} rapport du GIEC avait souligné l'importance de l'accumulation d'énergie associée au réchauffement des eaux de mer en surface et en profondeur pour le bilan d'énergie du système climatique et pour la montée du niveau des mers. Il avait également conclu, sur la base d'un ensemble de nouvelles données, que les changements observés dans les écosystèmes marins étaient associés au réchauffement des eaux de mer, ainsi qu'aux changements de glace de mer, de salinité, de niveaux d'oxygène et de circulation océanique. Il indiquait qu'il était difficile de séparer les effets du changement climatique des autres facteurs de stress comme la surpêche ou la pollution sur les récifs coralliens. Le 4^{ème} rapport du GIEC soulignait également que le réchauffement futur des océans réduira leur capacité à stocker du CO₂, constituant une rétroaction amplificatrice. Il soulignait le fait que l'expansion thermique des océans va contribuer à la montée du niveau des mers pendant plusieurs siècles, du fait du temps associé au transport de chaleur en profondeur dans les océans. Il mentionnait l'importance des risques associés à l'acidification des océans (en précisant que ses effets n'étaient pas encore observés), et anticipait des réorganisations majeures dans les écosystèmes marins pour un réchauffement global de plus de 1,5 à 2,5°C, avec des conséquences négatives pour la biodiversité et la sécurité alimentaire. Ce rapport de synthèse précisait également qu'il est très probable que la circulation de retournement de l'Océan Atlantique ralentisse au cours du 21^{ème} siècle, en indiquant que celle-ci peut affecter la productivité des écosystèmes marins et des pêcheries, ainsi que la capacité de l'océan à stocker du CO₂.

Ce 4^{ème} rapport indiquait que la quantification de la capacité des océans à stocker chaleur et carbone était une source majeure d'incertitude sur l'évolution future du climat et du niveau des mers.

L'occurrence du mot clé «océan» était 2,5 fois plus fréquente dans le rapport de synthèse du 5^{ème} rapport du GIEC (en 2014) que dans celui du 4^{ème} rapport du GIEC (en 2007).

Le 5^{ème} rapport a conclu que le réchauffement des océans en surface (surtout dans les premiers 75 mètres) et en profondeur stocke plus de 90% de l'énergie supplémentaire emmagasinée par le système climatique entre 1971 et 2010. Il a élargi l'analyse à l'évolution de la salinité de surface, indiquant une augmentation des contrastes hydrologiques depuis 1950. L'océan a également absorbé environ 30% des émissions anthropiques de CO₂, conduisant à l'acidification des eaux de mer (augmentation de 26% de leur concentration en ions hydrogènes). Parmi les incidences de l'acidification sur les organismes marins, certaines sont attribuées à l'influence humaine.

L'attribution des changements observés a fortement progressé, et le 5^{ème} rapport conclut que l'influence humaine a très probablement contribué à la fonte de la banquise arctique depuis 1979, au réchauffement de l'océan de surface (jusqu'à 700 mètres) et à l'élévation du niveau des mers depuis 1970.

Le 5^{ème} rapport du GIEC, sur la base des projections à l'aide de modèles de climat, confirme que les océans vont continuer de se réchauffer, s'acidifier, l'extension de la banquise arctique diminuera, et le niveau moyen des mers continuera de s'élever. Il indique que le réchauffement sera le plus fort pour les régions tropicales et subtropicales de l'hémisphère nord. Les organismes marins et tout particulièrement les récifs coralliens et les écosystèmes polaires seront menacés par une baisse progressive de la concentration d'oxygène (liée au réchauffement et au ralentissement de la ventilation des eaux de mer) et par l'acidification des océans, dont le rythme et l'ampleur seront élevés; ces risques seront aggravés par une augmentation des extrêmes de température océaniques. Un réchauffement de 2°C pourrait faire courir des risques très élevés pour les écosystèmes dotés d'une capacité limitée d'adaptation, comme les récifs coralliens. Les systèmes côtiers et les basses terres littorales seront menacés par l'élévation du niveau des mers qui, même si la température moyenne de la Terre est stabilisée, se poursuivra pendant plusieurs siècles. D'ici à 2050, la redistribution des espèces marines et la perte de biodiversité dans les régions sensibles affectera la pérennité de la productivité de la pêche et les autres services écosystémiques, notamment dans les régions tropicales. L'acidification des océans se poursuivra pendant des siècles si les émissions de CO₂ ne cessent pas. Les systèmes d'alerte précoce et la réduction des stress non climatiques qui pèsent sur les milieux marins pourraient réduire les risques pour les secteurs de la pêche et de l'aquaculture, mais les options permettant de protéger les écosystèmes tels que les récifs coralliens sont limitées. L'état des connaissances disponibles ne permettait pas au 5^{ème} rapport du GIEC de conclure sur le risque de déstabilisation de secteurs maritimes de

la calotte antarctique ; les projections de niveau des mers ne pouvaient donc pas intégrer ce risque. Le 5^{ème} rapport du GIEC avait également confirmé que la circulation méridienne de retournement de l'Océan Atlantique devrait s'affaiblir au cours du 21^{ème} siècle.

Malgré cette montée en puissance des connaissances nouvelles vis-à-vis des océans dans l'évaluation du changement climatique, le 5^{ème} rapport du GIEC n'avait pas abordé un certain nombre d'aspects, soit parce que le cadrage n'avait pas été explicite en ce sens, soit parce que la littérature scientifique n'était pas suffisante pour justifier une évaluation approfondie. On peut ainsi mentionner les aspects régionaux océaniques, les phénomènes d'upwelling si importants pour les écosystèmes marins, ou l'absence d'évaluation intégrée des options de solution d'adaptation et d'atténuation du point de vue des océans (énergies renouvelables marines, solutions basées sur les écosystèmes, aires marines protégées dans le contexte du changement climatique, scénarios de développement côtier, potentiel et risques d'actions de géoingénierie, gouvernance...).

L'attente exprimée par les gouvernements et organisations observatrices vis-à-vis du GIEC a été extraordinairement forte au début du 6^{ème} cycle, avec plus de 30 propositions de rapports spéciaux.

Il a été décidé de préparer une mise à jour du rapport méthodologique sur les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre (pour avril 2019). Ces méthodologies sont ensuite utilisées pour les inventaires nationaux d'émissions de la CNUCC; elles couvrent les différents secteurs d'activité (énergie, industrie, agriculture, gestion des forêts, usage des terres, y compris les zones humides terrestres; et déchets) mais pas le «carbone bleu» des régions océaniques côtières qui ne font donc pas l'objet d'un suivi.

Une attention particulière sera portée à la question des villes et du changement climatique, dans l'optique d'un rapport spécial pour le 7^{ème} cycle (après 2022). Le GIEC co-organisera en mars 2018 une conférence internationale sur les villes et le changement climatique, pour susciter la production de nouvelles connaissances; celles-ci peuvent être liée à la question des océans, en particulier pour les stratégies vis-à-vis de la montée du niveau des mers.

Trois rapports spéciaux sont préparés pour le 6^{ème} cycle, et porteront sur :

- 1,5°C de réchauffement global (suite à l'invitation de l'Accord de Paris), préparé pour septembre 2018 ; ce rapport intégrera les aspects liés aux océans pertinent pour l'évaluation des impacts correspondants et pour l'évaluation des trajectoires de gaz à effet de serre compatibles, dans le contexte du renforcement de la réponse aux menaces du changement climatique, du développement durable et des efforts pour éradiquer la pauvreté ;
- changement climatique, océans et cryosphère : ce rapport, préparé pour septembre 2019, couvrira les régions polaires, la montée du niveau des mers et les implications pour les zones côtières et les communautés; le changement des océans, des

écosystèmes marins et les implications pour les communautés qui en dépendent (y compris le «blue carbon»); les risques associés aux événements extrêmes et abrupts, et la gestion de ces risques; avec un zoom pour les basses terres (îles et côtes). Le rapport ne couvrira pas les énergies renouvelables marines, qui seront évaluées avec l'ensemble des énergies renouvelables dans le 6^{ème} rapport.

- changement climatique et usage des terres, préparé pour septembre 2019; celui-ci abordera la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres.

Enfin les rapports complets de chaque groupe de travail seront préparés pour 2021, et le rapport de synthèse pour 2022. Nous attendons des progrès importants dans les connaissances vis à vis des océans grâce aux nouvelles observations, à la meilleure compréhension des processus, à des outils de modélisation à plus fine échelle spatiale, et à la prise en compte des océans pour la prévisibilité décennale. Le 6^{ème} rapport renforcera la dimension régionale de son évaluation, et renforcera l'analyse des solutions pour l'adaptation et pour l'atténuation. Ces aspects devraient couvrir la gestion intégrée des zones côtières, ou bien les options d'atténuation vis-à-vis du transport maritime.

Ce programme de travail très dense est une opportunité de transmettre régulièrement les progrès des connaissances pour les décideurs et le grand public d'ici à 2022. Nous souhaitons également que l'immense travail scientifique et rigoureux effectué par les chercheurs pour la rédaction de ces rapports puisse être transmis plus largement, sous forme de résumés pour la jeunesse, pouvant être utilisés dans le cadre de l'éducation, l'enseignement et la formation.

Références :

- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press. Disponible sur : www.ipcc.ch
- Talley, L.D., Closure of the global overturning circulation through the Indian, Pacific and Southern Oceans: schematics and transports, *Oceanography*, 2013.
- Rohling, E. J., A. Sluijs, H. A. Dijkstra, P. Kohler, R. de Wal, A. S. von der Heydt, D. J. Beerling, A. Berger, P. K. Bijl, M. Crucifix, R. DeConto, S. S. Drijfhout, A. Fedorov, G. L. Foster, A. Ganopolski, J. Hansen, B. Honisch, H. Hooghiemstra, M. Huber, P. Huybers, R. Knutti, D. W. Lea, L. J. Lourens, D. Lunt, V. Masson-Demotte, M. Medina-Elizalde, B. Otto-Bliesner, M. Pagani, H. Palike, H. Renssen, D. L. Royer, M. Siddall, P. Valdes, J. C. Zachos, R. E. Zeebe and P. P. Members (2012). «Making sense of palaeoclimate sensitivity.» *Nature* 491(7426): 683-691.

- Stouffer, R. J. and S. Manabe (2017). «Assessing temperature pattern projections made in 1989» *Nature Climate Change* 7(3): 163-165.
- Global Carbon Budget 2017, by Corinne Le Quéré, Robbie M. Andrew, Pierre Friedlingstein, Stephen Sitch, Julia Pongratz, Andrew C. Manning, Jan Ivar Korsbakken, Glen P. Peters, Josep G. Canadell, Robert B. Jackson, Thomas A. Boden, Pieter P. Tans, Oliver D. Andrews, Vivek K. Arora, Dorothee C. E. Bakker, Leticia Barbero, Meike Becker, Richard A. Betts, Laurent Bopp, Frédéric Chevallier, Louise P. Chini, Philippe Ciais, Catherine E. Cosca, Jessica Cross, Kim Currie, Thomas Gasser, Ian Harris, Judith Hauck, Vanessa Haverd, Richard A. Houghton, Christopher W. Hunt, George Hurtt, Tatiana Ilyina, Atul K. Jain, Etsushi Kato, Markus Kautz, Ralph F. Keeling, Kees Klein Goldewijk, Arne Körtzinger, Peter Landschützer, Nathalie Lefèvre, Andrew Lenton, Sebastian Lienert, Ivan Lima, Danica Lombardozzi, Nicolas Metzl, Frank Millero, Pedro M. S. Monteiro, David R. Munro, Julia E. M. S. Nabel, Shin-ichiro Nakaoka, Yukihiro Nojiri, X. Antonio Padín, Anna Peregon, Benjamin Pfeil, Denis Pierrot, Benjamin Poulter, Gregor Rehder, Janet Reimer, Christian Rödenbeck, Jörg Schwinger, Roland Séférian, Ingunn Skjelvan, Benjamin D. Stocker, Hanqin Tian, Bronte Tilbrook, Ingrid T. van der Laan-Luijkx, Guido R. van der Werf, Steven van Heuven, Nicolas Viovy, Nicolas Vuichard, Anthony P. Walker, Andrew J. Watson, Andrew J. Wiltshire, Sönke Zaehle, and Dan Zhu (2017), *Earth System Science Data Discussions*, DOI: 10.5194/essdd-2017-123.
- NOAA, mise à jour continue du contenu de chaleur des océans entre 0 et 2000m, à partir de l'approche détaillée dans Levitus et al, *Geophysical Research Letters*, 2012 : https://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT/
- Hawkins, E., P. Ortega, E. Suckling, A. Schurer, G. Hegerl, P. Jones, M. Joshi, T. J. Osborn, V. Masson-Delmotte, J. Mignot, P. Thorne and G. J. van Oldenborgh (2017). «Estimating changes in global temperature since the preindustrial period.» *Bulletin of the American Meteorological Society* 98(9): 1841-1856.
- Dutton, A., A. E. Carlson, A. J. Long, G. A. Milne, P. U. Clark, R. DeConto, B. P. Horton, S. Rahmstorf and M. E. Raymo (2015). «Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods» *Science* 349(6244).
- DeConto, R. M. and D. Pollard (2016). «Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise» *Nature* 531(7596): 591-597.
- Drijfhout, SS, Bathiany, S, Beaulieu, C, Brovkin, V, Claussen, M, Huntingford, C, Scheffer, M, Sgubin, G, and Swingedouw, D (2015). «Abrupt shifts in the Earth System at moderate warming», *PNAS*, doi:10.1073/pnas.1506378112.
- Magnusson, L., J.-R. Bidlot, S. T. K. Lang, A. Thorpe, N. Wedi and M. Yamaguchi (2014). «Evaluation of Medium-Range Forecasts for Hurricane Sandy» *Monthly Weather Review* 142(5): 1962-1981.

Pour en savoir plus :

- L'Océan à Découvert, édité par A. Euzen, F. Gail, D. Lacroix et P. Cury, CNRS éditions, Paris, 2017.
- Parlons climat en 30 questions, V. Masson-Delmotte et C. Cassou, La Documentation française, Paris, 2015.
- Paléoclimatologie : Tome 1 (Trouver, dater et interpréter les indices) et Tome 2 (Enquête sur les climats anciens), édité par J.C. Duplessy et G. Ramstein, CNRS éditions, Paris, 2013.
- Le climat à découvert, édité par C. Jeandel et R. Mosseri, CNRS éditions, 2011.

- Pr. Abdelaziz SEFIANI (Directeur des Séances)

Merci Pr. MASSON-DELMOTTE pour cette brillante présentation. Vous avez présenté les mécanismes du climatique, les moyens de son évaluation et son étude, surtout les pistes de recherche dans l'avenir. Merci encore une fois d'avoir respecté le temps qui vous est imparti. Maintenant nous allons faire un focus sur le Maroc. C'est notre collègue et ami Abdallah MOKSIT, membre de notre compagnie et Secrétaire Général de l'IPCC, qui va nous parler de **Modélisation du rôle des océans sur le changement climatique : défis, état des connaissances – le cas du Maroc**.

MODÉLISATION DU RÔLE DES OCÉANS SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE : ÉTAT DE NOS CONNAISSANCES, DÉFIS. LE CAS DU MAROC

Abdallah MOKSSIT

*Membre correspondant de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques,
Secrétaire Général de (IPCC/GIEC), Genève, Suisse*



Résumé :

Les océans représentent 70% de la planète bleue, créent la moitié de l'oxygène de la planète, fournissent 20% des protéines animales qui sont consommé par +5 billion d'humain, sont le refuge de divers espèces offrant une biodiversité riche et fournissent des produits pour les médicaments innovant. Les océans assurent 90% du transport des marchandises. Sur le plan climatique Les océans ont un rôle de régulation du climat à l'échelle globale, absorbent plus de 90% de la chaleur cumulée dans l'atmosphère, absorbe 25% du CO₂ crée par l'homme.

Le risque le plus apparent pour les océans à cause des changements climatiques est l'élévation du niveau de la mer la majeure partie des modèles projettent 45-82 cm à l'horizon 2100 selon le scénario pessimiste avec absence d'efforts de réduction (RCP8.5). Ces élévations sont prévues avoir un caractère d'extrêmes surtout pour les Etats insulaires et les plats pays. La fonte des neiges et la réduction des glaciers est également une préoccupation déjà observée et prévue.

Comme impact signalé dans le 5^{ème} rapport du GIEC, il a été observé des migrations d'espèces marines à cause des changements climatiques. Les projections nous informent qu'à cause du réchauffement prévu vers 2051-2060 les stocks des poissons et invertébrés

connaîtra des réductions et des migrations. L'acidification qui a connu une diminution remarquable des années 1850 jusqu'à nos jours (selon les observations) continuera à baisser légèrement pour se stabiliser selon le scénario RCP2.6 (optimiste ou des actions concrètes seront prises) mais continuera à baisser de façon significative pour le scénario RCP 8.5 (pessimiste ou aucun effort ne sera déployé «Business as usual»).

Ces manifestations seront accompagnées de perte d'oxygène et de déformation des récifs coraux. Pour minimiser la réduction des récifs coraux le recours à la Mitigation est incontournable: Pour protéger au moins 50% des récifs coraux, le changement dans la moyenne globale de température devrait ne pas dépasser 1,2° C (1,1 – 1,4° C).

Pour le Maroc, si l'amplitude des impacts diffère par rapport aux pôles arctique et antarctique, aux Etats insulaires et grands sommets, il reste vulnérable avec plus de 3000 km de côtes qui sont et seront concernées en premier lieu des effets du changement climatique car l'océan Atlantique et la mer Méditerranée constituent une source de revenus substantielles des populations et contribuent en grande partie à sa sécurité alimentaire. Les propriétés physico-chimiques des océans changent, ce qui a des conséquences sur les propriétés et la dynamique de l'océan, sur ses échanges avec l'atmosphère et sur les écosystèmes marins et leurs habitats.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci M. MOKSSIT pour cette très belle présentation qui nous a permis d'apprendre beaucoup de choses. Merci encore une fois d'avoir adapté votre conférence avec ce qui a été présenté dans les communications précédentes.

Au niveau régional, et la région nord-ouest africaine en particulier, quelles sont les conséquences de ce réchauffement climatique sur l'acidification des océan? M. Karim HILMI, Directeur de recherches à l'Institut National de Recherche Halieutiques.

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET ACIDIFICATION DES OCÉANS DE LA RÉGION NORD-OUEST AFRICAINE

Karim HILMI

Institut National de Recherche Halieutique, Casablanca

hilmi@inrh.ma / karimhilmi15@gmail.com



RESUME :

Le travail présenté lors de cette session porte en grande partie sur les conclusions de l'atelier organisé par l'Institut National de Recherche Halieutique (INRH) en juin 2016 sur le réchauffement climatique et l'acidification des océans de la région Nord-Ouest Africaine, en mettant l'accent sur l'état de nos connaissances actuelles en la matière et sur les impacts du changement climatique ainsi que les scénarios futurs relatifs à cette zone du Courant des Canaries (CCLME) et à la mer d'Alboran. Ces conclusions se basent aussi sur les principales investigations des récents travaux du Cinquième Rapport d'Evaluation (RE5) du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC ou IPCC). Les facteurs et les causes du changement climatique ainsi que les impacts sur les océans sont aussi présentés aux niveaux global et régional, selon les différents scénarios préconisés par le GIEC/IPCC aux horizons 2030 – 2050 et 2100.

Mots clés : Changement climatique- Acidification des océans- Régions CCLME et mer d'Alboran - Projections du GIEC - Impacts du changement climatique sur les océans.

1. INTRODUCTION

Selon les derniers rapports du GIEC/IPCC [1], «l'influence de l'homme sur le système climatique est manifeste et aujourd'hui, les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine sont les plus élevées jamais observées. Les changements climatiques récents ont eu de larges répercussions sur les systèmes humains et naturels. Le réchauffement du système climatique est sans équivoque et, depuis les années 1950, nombre des changements observés sont sans précédent depuis des décennies, voire des siècles ou des millénaires. L'atmosphère et les océans se sont réchauffés, la couverture de neige et de glace a diminué et le niveau des mers s'est élevé. Les émissions anthropiques de gaz à effet de serre, qui ont augmenté depuis l'époque préindustrielle en raison essentiellement de la croissance économique et démographique, sont actuellement plus élevées que jamais, ce qui a entraîné des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, de méthane et d'oxyde nitreux sans précédent depuis au moins 800 000 ans. Leurs effets, associés à ceux d'autres facteurs anthropiques, ont été détectés dans tout le système climatique et il est extrêmement probable qu'ils aient été la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du XXe siècle. Au cours des dernières décennies, l'évolution observée du climat, quelles que soient ses causes, a eu un impact sur tous les océans et sur les systèmes naturels et humains de tous les continents, ce qui témoigne de la sensibilité de ces systèmes au changement climatique. Des changements ont été constatés depuis 1950 environ en ce qui concerne bon nombre de phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes. Certains de ces changements ont été attribués aux activités humaines, notamment la diminution des extrêmes de froid, l'augmentation des extrêmes de chaleur, la hausse des niveaux extrêmes de pleine mer et la multiplication des épisodes de fortes précipitations dans diverses régions» [1]. C'est dans ce contexte que ce travail est mené à une échelle régionale pour les régions de l'Ecosystème Marin du Courant des Canaries (ou CCLME) et en mer d'Alboran et en mettant l'accent sur les façades Atlantique et Méditerranée marocaines.

2. Etat actuel de nos connaissances et tendances actuelles en matière du changement climatique dans la région du CCLME et en mer d'Alboran

Plus de détails sur ces travaux (synthèse non exhaustive) dans les régions sus mentionnées sont indiqués dans le document [2]. Nous en présentons ici les principaux résultats de ces travaux:

2.1. Température/Salinité dans la région du CCLME (façade Atlantique)

D'après les récents travaux menés dans la région du CCLME ([3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12],...) :

la température de surface dans l'écosystème du Courant des Canaries (CCLME) pour les trente deux années passées montrent, sur la période 1982-2013, une tendance vers le réchauffement avec une valeur moyenne de 0.28°C/décade ([5], [6]) (Figure 1);

d'après ces derniers auteurs [6], la tendance vers le réchauffement sur la période 1982-2013 montre des changements significatifs liés aux différents régimes dynamiques qui existent dans la région du CCLME: (i) près de la côte et dans les zones d'«upwelling» côtier, la tendance vers la hausse n'est pas statistiquement nulle; (ii) près des côtes et dans les eaux sous influence océanique, entre le Cap Vert et Cap Blanc, la tendance est vers la hausse ($> 0.5^{\circ}\text{C}/\text{décade}$) et statistiquement significative; (iii) dans les régions océaniques, il y a une tendance statistique significative vers la hausse de $0.25^{\circ}\text{C}/\text{décade}$ ([5], [6]).

Cette tendance de la température de surface océanique (ou Sea Surface Temperature) est également observée dans les eaux situées en dessous de la thermocline permanente (200-600m), avec une «légère» hausse significative de la température, supérieure à $0.25^{\circ}\text{C}/\text{décade}$, compensée par la densité et une augmentation du taux de salinité de $0.02/\text{décade}$ ([5], [6]) (Figure 1a);

La tendance des indices d'upwelling du Nord au Sud de la région CCLME ne sont pas homogènes ([5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12]);

Ni les eaux intermédiaires et ni les eaux profondes ne montrent de tendances significatives vers la hausse. Cependant, il faut noter que les eaux profondes, situées à 2600-3600 dbar, dans les eaux océaniques au nord des Iles Canaries montrent un taux de $-0.01^{\circ}\text{C}/\text{décade}$ ([5], [6]) (Figure 1a);

Les tendances sur la période 1998-2014 de la chlorophylle «a» (en $\text{mg chla.m}^{-3}.\text{decade}^{-1}$) sont représentées à la Figure 2 à partir des données compilées des capteurs SeaWiFS et corrigées par MODIS ([8]).

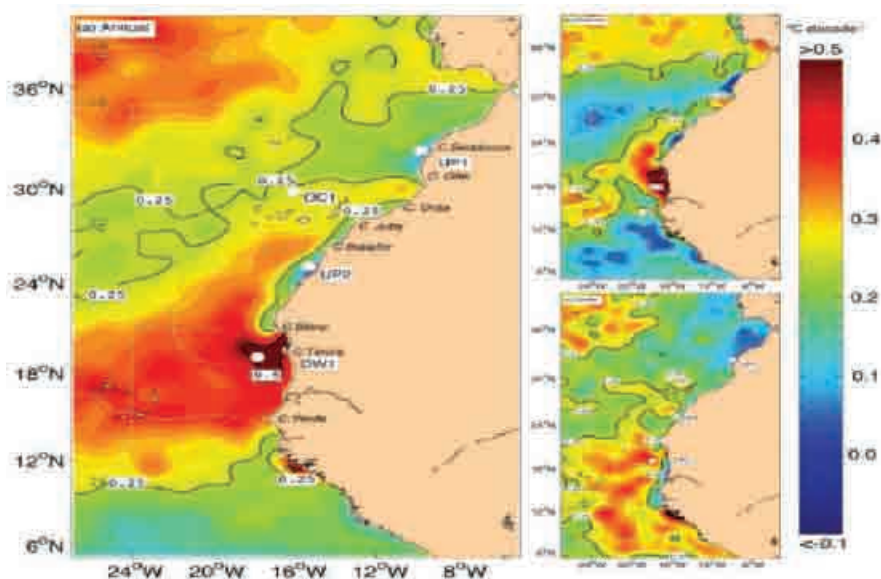


Figure 1: a) Tendence des températures de surface ($^{\circ}\text{C}/\text{décade}$) dans la région du CCLME sur la période 1982-2013 b) pour la saison d'été (JJA) et c) pour la saison d'hiver (JFM) (d'après [6], Source [5]).

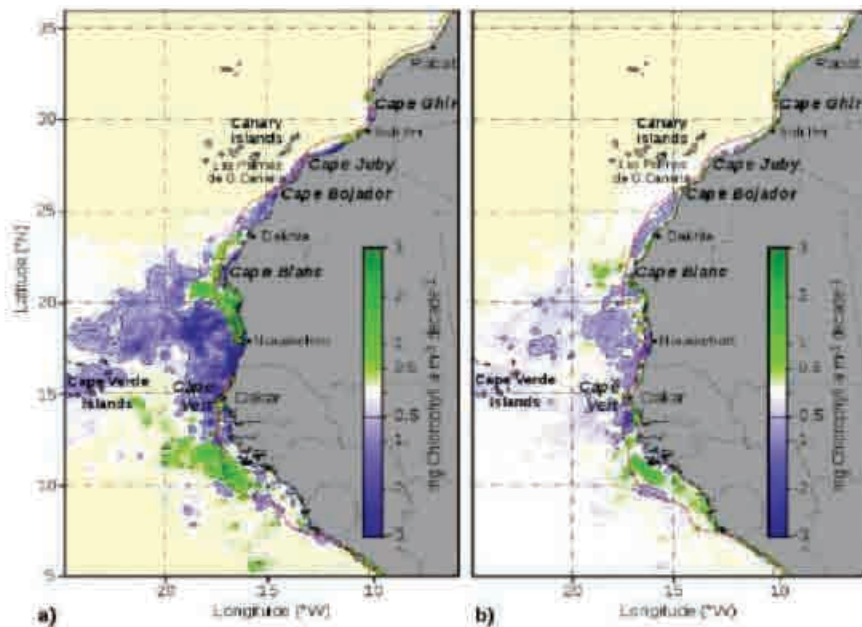
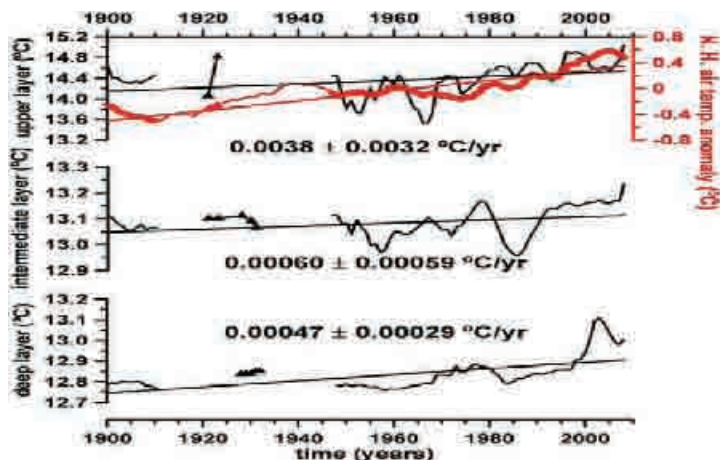


Figure 2: Tendence de la chlorophylle «a» dans la zone du CCLME compilée à partir des données a) sur la période 1998-2003 à partir du capteur SEAWIFS et b) sur la période 1998-2014 intégrant les capteurs SEAWIFS & MODIS (d'après [8], Source [5]).

2.2. Tendence de la température/Salinité sur la façade méditerranéenne

Plusieurs travaux ([13], [14], [15],...) menées en mer Méditerranée montrent que les eaux peu profondes de cette mer se sont déjà réchauffées depuis les années 1980. Selon [13] et [14] pour ne citer que ces auteurs, les températures des eaux méditerranéennes profondes (profondeurs supérieures à 600m) connaissent une tendance vers la hausse depuis la seconde moitié du 20^{ème} siècle (Figure 3a). Les salinités connaissent aussi une tendance vers la hausse (Figure 3b).



b)

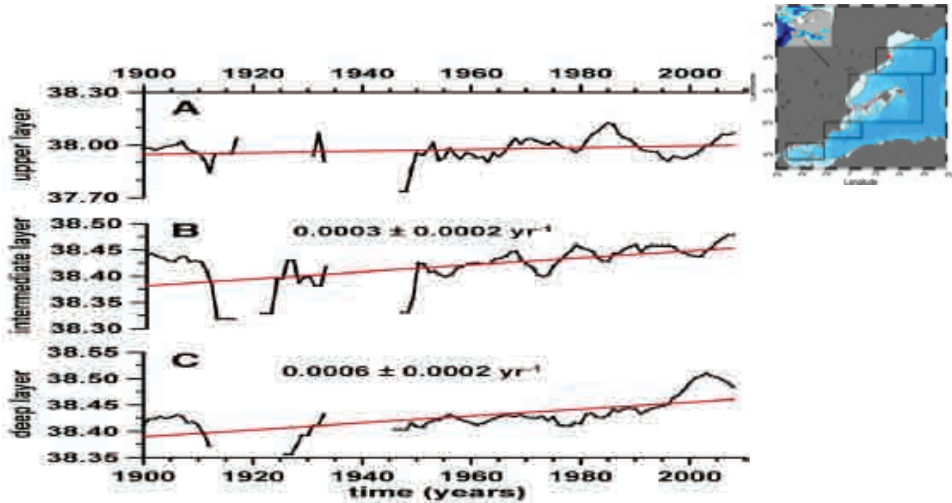


Figure 3: Tendances sur la période 1900-2008 de a) la température et b) de la salinité des couches superficielles, intermédiaires et profondes du bassin Méditerranéen Occidental. Les zones étudiées (voir rectangles) sont représentées au cadran de droite ([13],[14]).

Concernant le bassin occidental de la mer Méditerranée, ces tendances se confirment comme on peut les observer sur la figure 4 ([15]). D'après cette dernière figure, le taux de réchauffement, estimé à partir des mesures satellites AVHRR depuis 1985, est compris entre 0.02° et $0.04^\circ \text{ C/année}$ ([15]) et la mer d'Alboran présenterait une tendance vers le réchauffement dans sa partie Sud, particulièrement entre le détroit de Gibraltar et le Cap des Trois fourches (taux supérieur à $0.03^\circ \text{ C/année}$) (Figure 4).

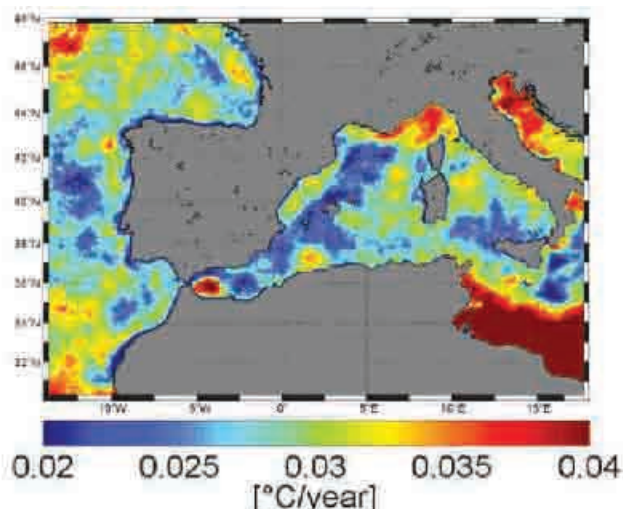


Figure 4: Taux de réchauffement sur la partie Occidentale du bassin Méditerranéen estimé à partir des mesures satellites AVHRR depuis 1985 (d'après [15]).

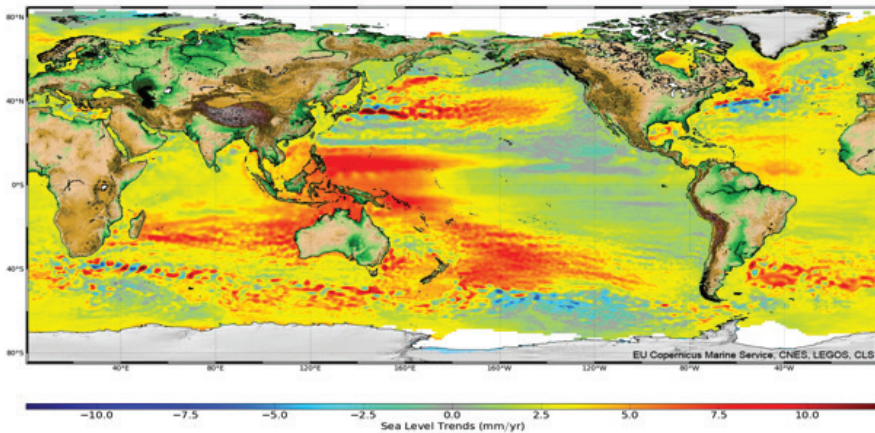
2.3. Elévation du niveau de la mer

La connaissance de l'élévation du niveau d'eau est très importante pour les zones côtières et littorales. Les zones littorales concentrent des enjeux sociétaux et économiques majeurs et fournissent de nombreux services écosystémiques aux populations côtières.

La tendance du niveau d'eau, issue aussi bien des mesures marégraphiques que de l'altimétrie, confirme une nette augmentation du niveau de la mer ces dernières décennies, aussi bien pour les façades atlantique (figures 5a et 5b) que méditerranéenne (figure 6).

• Façade Atlantique

a)



b)

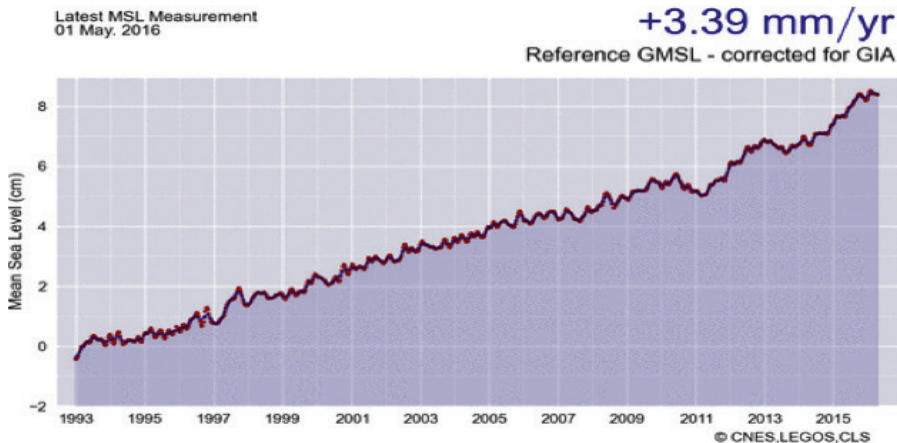


Figure 5: Niveau d'eau moyen (cm) en date du 01 mai 2016 a) à l'échelle du globe et b) sa tendance de +3.39 mm/an sur la période 1993-2016 (Source CNES/ LEGOS/CLS). Le niveau moyen de référence (intégrant Topex/Poséidon, Jason-1 et Jason-2, ci-contre) est calculé depuis Janvier 1993 après avoir retiré les signaux annuel et semi-annuel. Un filtrage à 2 mois est appliqué sur les points rouges, tandis qu'un filtrage à 6 mois est effectué sur la courbe bleue. En appliquant la correction de rebond post-glaciaire (-0.3 mm/an), l'élévation du niveau moyen des mers est ainsi estimée à 3.39 mm/an (pente de la courbe). L'analyse de l'incertitude de chaque correction altimétrique pour le calcul du niveau moyen ainsi que la comparaison aux marégraphes permet d'estimer l'erreur sur la pente du niveau moyen global, proche de 0.5 mm/an dans un intervalle de confiance de 90%. (Crédits CLS/CNES/LEGOS)

• *Façade Méditerranéenne*

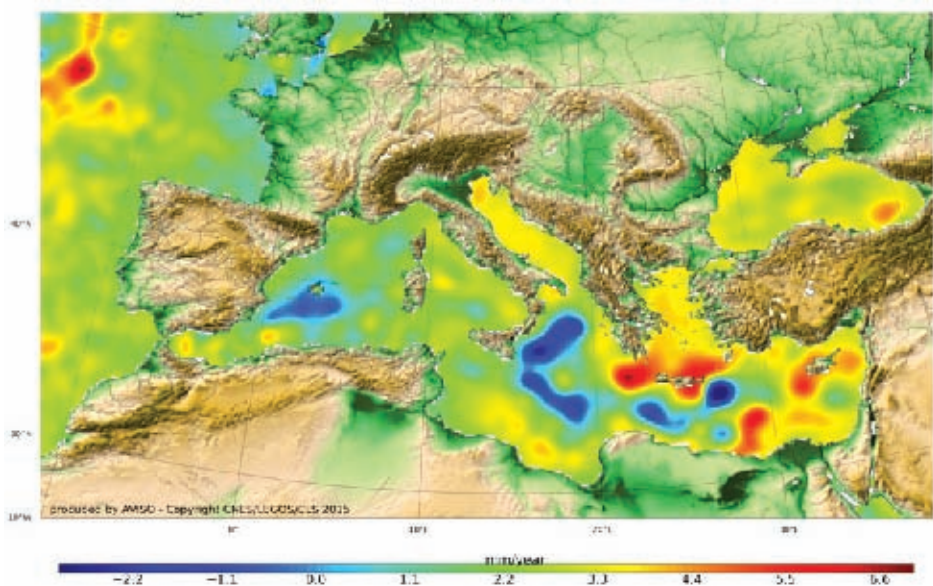


Figure 6: Tendence du niveau d'eau en mer Méditerranée (mm/an) de janvier 1993 à juin 2014 (Source AVISO- Crédits CNES/LEGOS/CLS)

2.4. Acidification des océans

• *Façade Atlantique*

La région du CCLME est une région très active en termes de processus physiques et biogéochimiques, avec un lien direct au cycle de carbone global. Les zones d'upwelling côtières sont des zones sensibles aux concentrations du CO_2 et du pH. Des changements dans ces paramètres, en particulier des valeurs basses du pH affectent non seulement les processus biogéochimiques et ceux du carbone mais également la composition chimique des éléments présents dans la colonne d'eau, principalement celle liée aux activités biologiques, les nutriments et les métaux traces. La région ne dispose malheureusement pas de stations d'observation permettant de mesurer en continu les paramètres de l'alcalinité/l'acidité. A date, la seule station disposant de ce type de mesures depuis 1995 se situe aux Iles Canaries (Espagne) à la station ESTOC (European station for Times Series in the Ocean (29°10'N-15°30'O)). Sur cette période d'observations, le pH diminue d'un taux de $-0.0019 (\pm 0.0003)$ unités de pH depuis 1995 et le pCO_2 présente un taux $1.9 (\pm 0.3) \mu\text{atm/an}$ ([16]) (Figure 7).

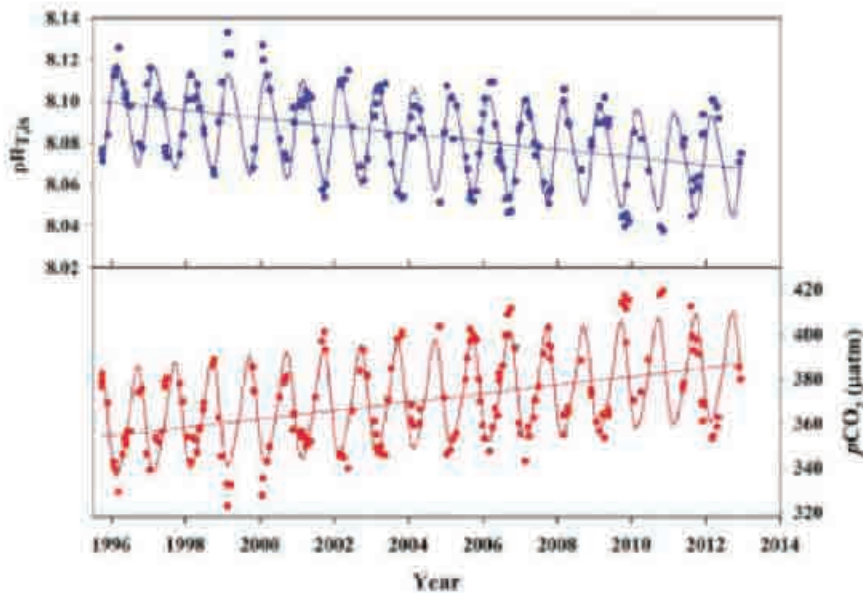


Figure 7: Séries temporelles du Ph (en bleu) et du $p\text{CO}_2$ (en rouge) sur la période 1995-2014 observés à la station ESTOC aux Iles Canaries (Espagne) (d'après [16], Source [5])

• *Façade Méditerranéenne*

Selon [17], les séries chronologiques côtières sur la chimie des carbonates océaniques sont essentielles pour comprendre comment les changements anthropiques globaux se manifestent dans les écosystèmes côtiers. Ils sont peu nombreux et ont une faible résolution temporelle [17].

Différents travaux en matière d'acidification/alcalinité en mer Méditerranée dont la mer Méditerranée occidentale et le détroit de Gibraltar y sont mentionnés [17].

Pour le détroit de Gibraltar, le taux « $\Delta\text{ph}/\text{année} (\pm \text{SE})$ » serait de $-0.0044 (\pm 0.00006)$ sur la période 2012-2015 ([18] cité par [17]).

3. Changements climatiques, risques et conséquences: perspectives à l'échelle du globe (Source [1])

Selon [1], «si elles se poursuivent, les émissions de gaz à effet de serre provoqueront un réchauffement supplémentaire et une modification durable de toutes les composantes du système climatique, ce qui augmentera la probabilité de conséquences graves, généralisées et irréversibles pour les populations et les écosystèmes. Pour limiter l'ampleur des changements climatiques, il faudrait réduire fortement et durablement les émissions de gaz à effet de serre, ce qui, avec l'adaptation, est susceptible de limiter les risques liés à ces changements».

3.1. Principaux facteurs déterminants du climat futur (Source [1])

«Les émissions cumulées de CO₂ détermineront dans une large mesure la moyenne mondiale du réchauffement en surface vers la fin du XXI^e siècle et au-delà. Les projections relatives aux émissions de gaz à effet de serre varient sur une large fourchette en fonction du développement socio-économique et de la politique climatique [1].

Les facteurs déterminants des émissions anthropiques de GES sont principalement la taille de la population, l'activité économique, le mode de vie, la consommation d'énergie, le mode d'utilisation des terres, la technologie et la politique climatique. Les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP), utilisés pour établir des projections fondées sur ces facteurs, décrivent quatre voies de développement différentes pour le XXI^e siècle concernant les émissions et les concentrations atmosphériques de GES, les émissions de polluants atmosphériques et l'affectation des terres. Les RCPs comprennent un scénario strict d'atténuation (RCP2,6), deux scénarios intermédiaires (RCP4,5 et RCP6,0) et un scénario d'émissions très élevées de GES (RCP8,5). Les scénarios ne prévoyant aucun effort destiné à limiter les émissions (scénarios de référence) conduisent à des trajectoires se situant entre le RCP6,0 et le RCP8,5 (Figure 8a). Le RCP2,6 est représentatif d'un scénario visant un réchauffement planétaire qui demeurerait probablement inférieur à 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels. Les RCP sont cohérents par rapport au vaste ensemble de scénarios décrits dans la documentation évaluée par le Groupe de Travail III [1]

De multiples faisceaux de preuve mettent en évidence une forte relation quasi linéaire entre les émissions cumulées de CO₂ et les changements de la température à la surface du globe jusqu'en 2100, à la fois dans les RCP et dans l'ensemble plus vaste des scénarios d'atténuation analysés par le Groupe de travail III (Figure 8b). À tout niveau de réchauffement correspond une plage d'émissions de CO₂; ainsi des émissions importantes pendant les premières décennies impliqueraient des émissions plus faibles ensuite [1].

Vers la fin du XXI^e siècle (2081–2100), le réchauffement moyen à la surface du globe par rapport à la période 1986–2005 aura atteint *probablement* entre 0,3 °C et 1,7 °C selon le RCP2,6, entre 1,1 °C et 2,6 °C selon le RCP4,5, entre 1,4 °C et 3,1 °C selon le RCP6,0 et entre 2,6 °C et 4,8 °C selon le RCP8,5. L'Arctique continuera de se réchauffer plus rapidement que l'ensemble du globe [1] (Figure 8a, Figure 9a).

Il est *quasiment certain* que, dans la plupart des régions continentales, les extrêmes chauds seront plus nombreux et les extrêmes froids moins nombreux aux échelles quotidienne et saisonnière, à mesure que la température moyenne à la surface du globe augmentera. Il est *très probable* que les vagues de chaleur seront plus fréquentes et dureront plus longtemps. Toutefois, des extrêmes froids pourront continuer de se produire occasionnellement en hiver [1].

Les changements de précipitations ne seront pas uniformes. La moyenne annuelle des précipitations augmentera *probablement* dans les hautes latitudes et l'océan Pacifique équatorial dans le cas du RCP8,5. Dans de nombreuses régions des latitudes moyennes et dans les régions subtropicales arides, les précipitations moyennes diminueront *probablement*, tandis que dans de nombreuses régions humides des latitudes moyennes, elles augmenteront probablement dans le cas du RCP8,5. Les épisodes de précipitations extrêmes deviendront très *probablement* plus intenses et fréquents sur une grande partie des continents des latitudes moyennes et dans les régions tropicales humides [1] (Figure 10b).

À l'échelle mondiale, l'océan continuera à se réchauffer au cours du XXI^e siècle. D'après les projections, le signal de réchauffement le plus fort concernera l'océan superficiel des régions tropicales et des régions subtropicales de l'hémisphère Nord (Figure 10a)» [1].

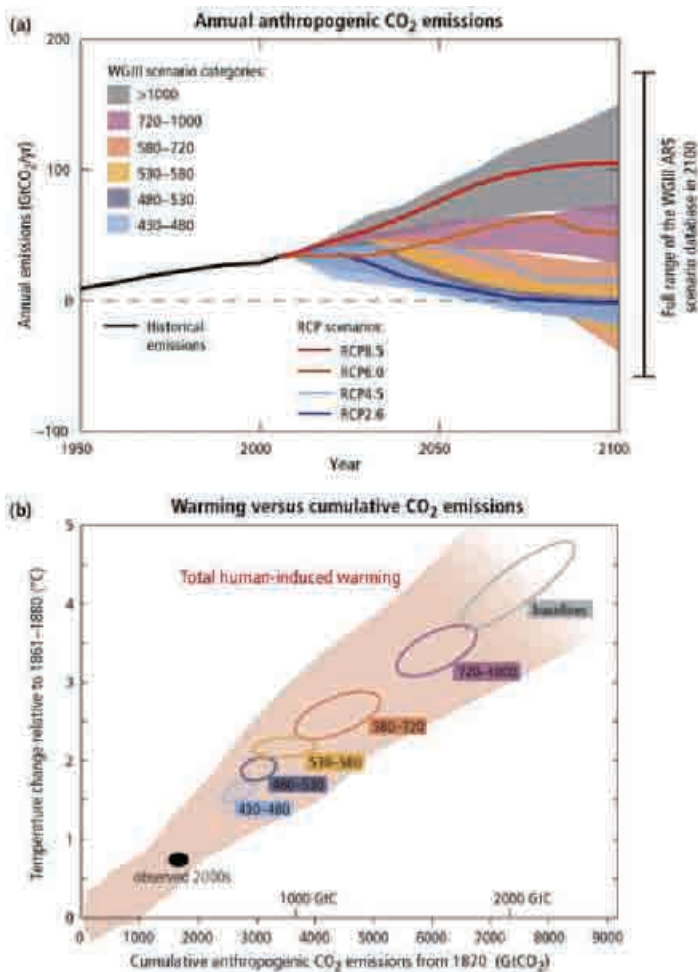


Figure 8a) Émissions de dioxyde de carbone (CO₂) selon les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) uniquement (traits de couleur) et catégories de scénarios associées utilisées par le GTIII (ombrages en couleur représentant la fourchette de 5 à 95%). Les catégories de scénarios utilisées par le GTIII condensent le vaste ensemble de scénarios d'émissions décrits dans les publications scientifiques; leurs définitions se basent sur les niveaux de concentration en équivalent

CO₂ (en ppm) en 2100. b) Augmentation de la température moyenne à la surface du globe à l'époque à laquelle les émissions mondiales de CO₂ atteignent un cumul net donné, tracée en fonction de ce cumul, obtenue à partir de plusieurs sources de données. La zone en couleur représente la dispersion des projections passées et futures obtenues grâce à différents modèles de climat et cycle du carbone prenant en compte les séries historiques d'émissions et les quatre RCP pour toute la période jusqu'à 2100; elle s'estompe à mesure que le nombre de modèles disponibles diminue. Les ellipses représentent le rapport entre le réchauffement anthropique total en 2100 et le cumul des émissions de CO₂ de 1870 à 2100, obtenu à l'aide d'un modèle climatique simple (réponse climatique médiane) suivant les catégories de scénarios utilisées par le GTIII. En ce qui concerne la température, le petit axe des ellipses correspond à l'impact de différents scénarios pour les facteurs climatiques différents du CO₂. L'ellipse noire pleine représente les émissions observées jusqu'à 2005 et les températures observées au cours de la décennie 2000–2009 avec les incertitudes correspondantes (d'après [1]).

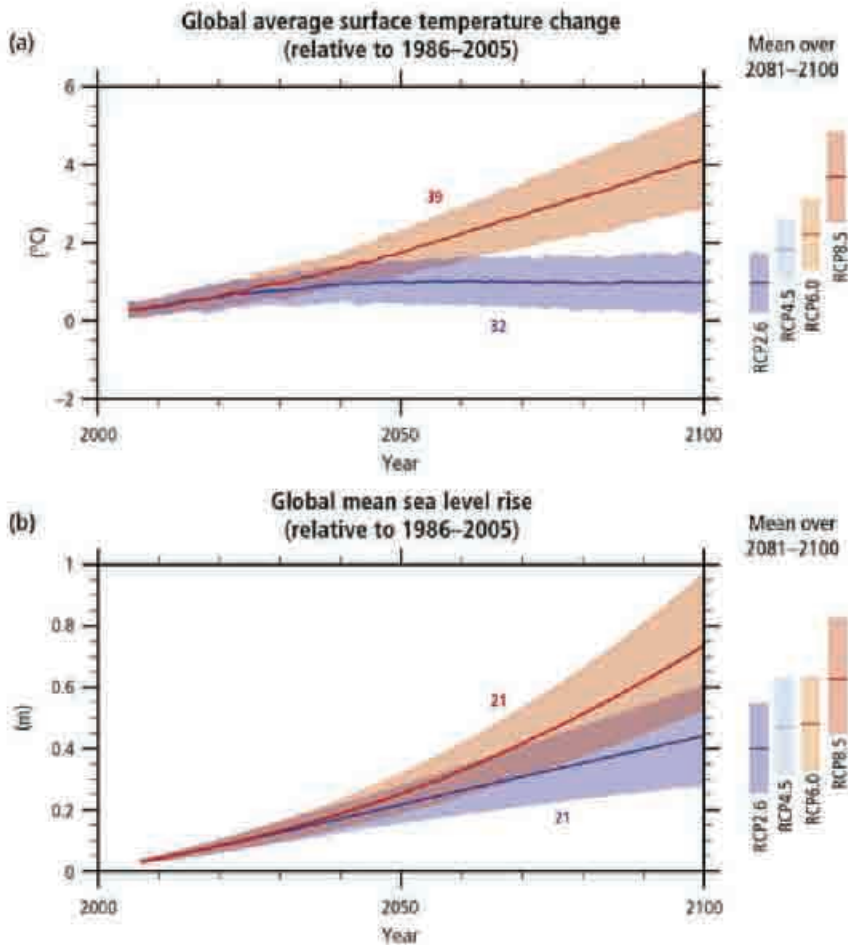


Figure 9: Évolution de la température moyenne à la surface du globe (a) et élévation du niveau moyen des mers (b) entre 2006 et 2100, déterminés par des simulations multimodèles, par rapport à la période 1986–2005. Les séries chronologiques des projections et une mesure de l'incertitude (parties ombrées) sont présentées pour les scénarios RCP2,6 (en bleu) et RCP8,5 (en rouge). Les moyennes et incertitudes associées sur la période 2081–2100 sont fournies pour tous les scénarios RCP sous forme de bandes verticales de couleur à la droite des deux panneaux (d'après [1]).

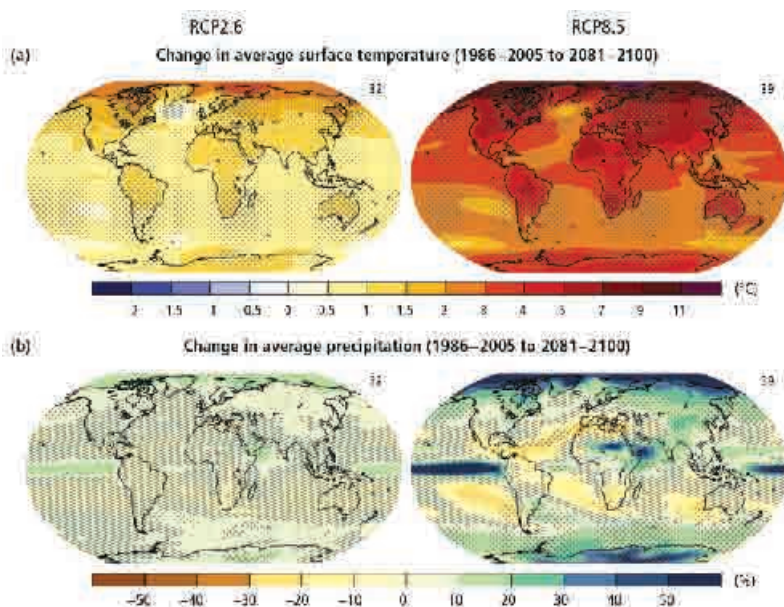


Figure 10. a) Évolution de la température moyenne en surface et b) évolution des précipitations moyennes, fondées sur des projections multimodèles moyennes pour la période 2081–2100 par rapport à la période 1986–2005, selon les scénarios RCP2,6 (à gauche) et RCP8,5 (à droite).

Le nombre de modèles utilisés pour calculer la moyenne multimodèle figure dans l'angle supérieur droit de chaque image. Les pointillés signalent les régions dans lesquelles le changement projeté est grand par rapport à la variabilité naturelle interne et dans lesquelles 90% au moins des modèles s'accordent sur le signe du changement. Les hachures signalent les régions dans lesquelles le changement projeté est inférieur à un écart type de la variabilité naturelle interne (d'après [1]).

4. Changements projetés touchant le système climatique (Source [1])

«Les projections réalisées sur la base de tous les scénarios d'émissions considérés indiquent une augmentation de la température de surface au cours du XXI^e siècle. Il est très probable que la fréquence et la durée des vagues de chaleur augmenteront et que les précipitations extrêmes vont devenir plus intenses et plus fréquentes dans de nombreuses régions. Les océans vont continuer de se réchauffer et de s'acidifier et le niveau moyen de la mer de s'élever» [1].

Selon [1] et sauf indication contraire, les changements dont il est question dans cette section représentent des projections pour 2081–2100 par rapport à 1986–2005.

4.1. Futur

Selon [1], «l'évolution future du climat sera fonction de l'inertie du réchauffement dû aux émissions anthropiques passées, ainsi que des émissions anthropiques à venir et de la variabilité naturelle du climat. Le changement de la température moyenne à la surface du globe pour la période 2016–2035 relativement à 1986–2005, analogue pour les quatre RCP, sera *probablement* compris entre 0,3 °C et 0,7 °C (*degré de confiance moyen*). Cette conclusion prend pour hypothèse qu'aucune éruption volcanique intense ou changement touchant certaines sources naturelles (CH₄, N₂O, etc.) ou changement imprévu du rayonnement solaire n'aura lieu. Vers le milieu du XXI^e siècle, l'ampleur des changements projetés dépend fortement du choix du scénario d'émissions. Les projections de modèles de système Terre indiquent une augmentation de l'acidification des océans pour tous les RCP vers la fin du XXI^e siècle, avec un lent rétablissement après le milieu du siècle selon le RCP2,6» [1].

«Au sujet de la baisse du pH de l'océan de surface vers la fin du XXI^e siècle, les intervalles de valeurs sont les suivants: de 0,06 à 0,07 (augmentation de l'acidité de 15 à 17%) pour le RCP2,6, de 0,14 à 0,15 (augmentation de l'acidité de 38 à 41%) pour le RCP4,5, de 0,20 à 0,21 (augmentation de l'acidité de 58 à 62%) pour le RCP6,0 et de 0,30 à 0,32 (augmentation de l'acidité de 100 à 109%) pour le RCP8,5» [1] (Figure 11).

«La compréhension et la projection de l'évolution du niveau de la mer se sont beaucoup améliorées depuis la parution du Quatrième Rapport d'Evaluation (RE4). Le niveau moyen mondial des mers continuera à s'élever au cours du XXI^e siècle et il est très probable que cette élévation se produira à un rythme plus rapide que celui observé entre 1971 et 2010. Pour la période 2081–2100 par rapport à 1986–2005, l'élévation sera probablement comprise entre 0,26 et 0,55 m pour le RCP2,6 et entre 0,45 et 0,82 m pour le RCP8,5 (degré de confiance moyen)1 (Figure 10b)» [1].

L'élévation du niveau des mers ne sera pas uniforme entre les différentes régions. À la fin du XXI^e siècle, il est très probable que le niveau des mers augmentera sur plus de 95% environ de la surface des océans. Selon les projections, environ 70% des littoraux du monde vont connaître un changement du niveau des mers proche de l'élévation moyenne, à plus ou moins 20% près.

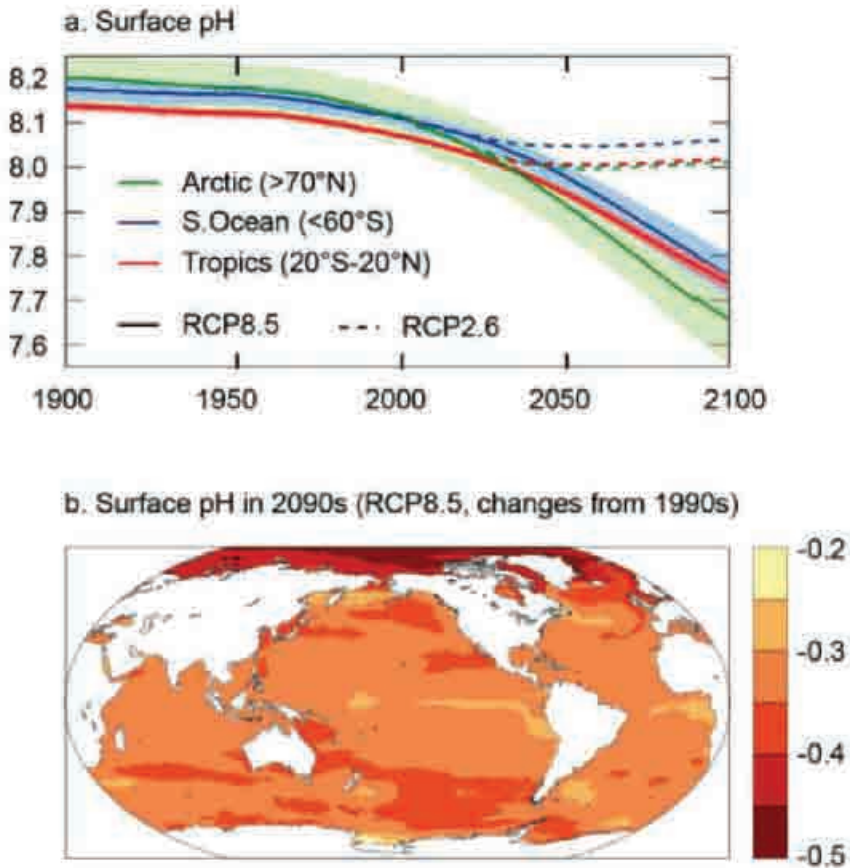


Figure 11: Projections du GIEC à l'horizon 2100 concernant le pH des eaux de surface selon les différents scénarios RCPs (d'après [1]).

4.2. Zones d'upwelling et projections du GIEC

En matière de projection du climat dans les zones d'upwelling (EUBEs) à travers le monde, ces dernières dont la zone du Courant des Canaries qui nous concerne sont présentées au chapitre 30 du dernier rapport d'évaluation (RE5) du GIEC ([1], [19], [20]).

Concernant les zones d'upwelling, plusieurs travaux prévoient un renforcement des activités de l'upwelling partant de l'hypothèse de Bakun [21] (Figure 12). En effet, suite à un éventuel «réchauffement» des températures terrestres selon les scénarios du GIEC, un gradient terre-mer sera créé avec une intensification des zones à basse pression à terre, représentées par le symbole «L» et des zones à haute pression en mer ouverte, représentées par le symbole «H» sur la figure 12, ce qui induirait des gradients de pression atmosphérique provoquant des circulations de vents favorables aux upwellings. Nonobstant d'autres processus climatiques qui entrent en jeu, l'intensification des phénomènes d'upwelling ne peut qu'avoir un effet bénéfique sur les activités de pêche. A

l'inverse et dans le cas de dysfonctionnement des processus du phénomène d'upwelling dans leurs zones de remontée liées aux circulations de vent, leurs effets auraient des conséquences inévitables sur les ressources halieutiques, notamment sur les ressources des petits pélagiques (Figure 12).

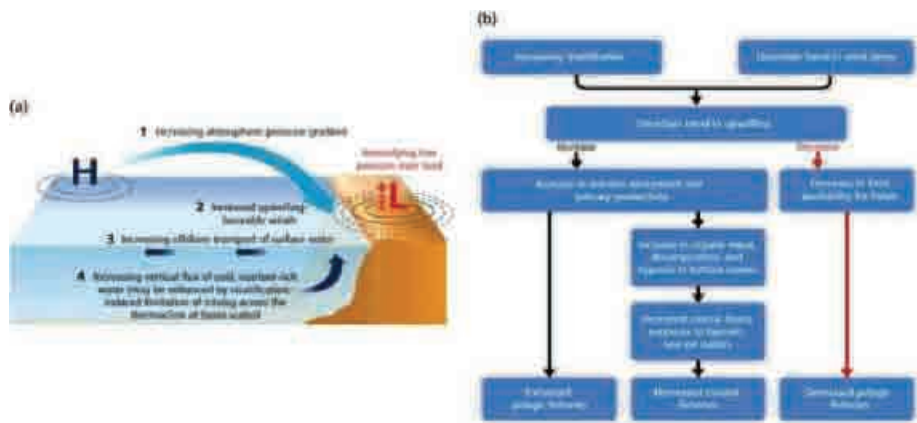


Figure 12: Hypothétique mécanisme d'intensification du phénomène d'upwelling dans les zones d'upwelling situées en bordures Est (EUBEs) (d'après [19], [20], [21], [22]).

L'hypothèse d'intensification de l'upwelling dans la zone du courant des Canaries semble aussi confortée par les récents travaux de [12]. Ces auteurs soulignent, en effet, que l'ensemble des modèles climatiques montrent que, à la fin du 21^{ème} siècle, les saisons d'upwelling vont être perturbées, en commençant avant et finir après et devenir plus intenses aux hautes latitudes mais pas aux basses latitudes. Ces projections des phénomènes d'upwelling en intensification et en durée aux hautes latitudes résulteraient d'une substantielle réduction de la variation latitudinale des upwellings côtiers. Ces modèles concerneraient les zones du courant de Canaries, du courant de Benguela et du courant de Humboldt mais pas celui de Californie. Pour ce dernier écosystème, l'absence de l'intensification de l'upwelling serait liée aux processus régionaux associés à la réponse atmosphérique au changement climatique [12].

Même si des incertitudes persistent dans ces projections, les différents scénarios du GIEC ([19] et [20]) sur la zone du CCLME estiment des projections d'augmentation de température situées entre 0.55°C (selon le scénario RCP 2.6) à 0.82°C (selon le scénario RCP 8.5) pour l'horizon 2010-2039. Elles seraient situées entre 0.97°C pour le scénario RCP2.6 à 1.83°C pour le scénario RCP 8.5, à l'horizon 2030-2039 (Tableau 1) ([19], [20]).

Selon ces projections, les écosystèmes du continent africain (Ecosystème du Courant des Canaries et Ecosystème du Courant du Benguela) serait les plus «affectés» en termes de changement et d'élévation de température océanique (Tableau 1) ([19], [20]).

Tableau 1 : Projections du GIEC (RE5) [1] sur les écosystèmes d'upwelling à travers le globe jusqu'à la fin du siècle (d'après [19],[20]):

S. Eastern Boundary Upwelling Ecosystems (EBUE)	Benguela Current	0.38	0.43	0.45	0.71	0.67	0.70	1.41	2.52	2.48
	California Current	0.62	0.71	0.84	0.93	1.62	1.86	2.46	3.51	2.49
	Cansary Current	0.58	0.62	0.58	0.82	0.97	1.36	1.88	3.18	2.21
	Humboldt Current	0.22	0.41	0.34	0.80	0.11	0.01	1.22	2.58	2.47

4.3. Acidification des océans et impacts socioéconomiques

Au cours des décennies et des siècles à venir, la santé de l'océan pâtira des effets croissants d'au moins trois facteurs en interaction. L'élévation de la température, l'augmentation de l'acidité et la diminution de la teneur en oxygène de l'eau de mer modifieront profondément la physique, la chimie et la biologie du milieu marin. Ces changements auront sur l'océan des incidences que nous commençons à peine à comprendre (Source Ocean Under Stress).

Selon des récents travaux menés par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA, 2015), les impacts de l'acidification des océans seront essentiellement négatifs au niveau économique, social et culturel (notamment sur le bien-être humain et la condition de la femme en modifiant la pratique des pêches artisanales). Relativement faibles encore aujourd'hui, ils augmenteront dans le futur. Les communautés côtières les plus vulnérables sont les plus pauvres, particulièrement dans les Pays en Développement et les petits États insulaires en développement (PEID) (Source AIEA, 2015).

Les communautés côtières dépendantes de la pêche pour leur subsistance, et celles qui dépendent du tourisme côtier pour leurs revenus et leurs emplois seront fortement impactées. Les aquacultures artisanales seront également les plus vulnérables, là encore, dans les pays en développement (Source AIEA, 2015).

Parmi les activités touristiques, les premières touchées seront les activités fondées sur les récifs coralliens, particulièrement sensibles à l'acidification des océans ainsi qu'aux changements climatiques. Cette activité, en forte croissance actuellement, est particulièrement importante puisque les revenus mondiaux issus de cette activité sont estimés pour 2010 à environ 10 milliards d'Euros (Source AIEA, 2015).

4.4. Changements climatiques au-delà de 2100, irréversibilité et changement brusque (Source [1])

Selon [1], «de nombreux aspects des changements climatiques et de leurs répercussions continueront de se manifester pendant des siècles, même si les émissions anthropiques de gaz à effet de serre sont stoppées. Les risques de changements abrupts ou irréversibles augmentent à mesure que le réchauffement s'amplifie» [1].

«Dans tous les RCPs envisagés à l'exception du RCP2,6, le réchauffement se poursuivra après 2100. Les températures en surface resteront à peu près constantes, mais à des niveaux

élevés pendant plusieurs siècles après la fin complète des émissions anthropiques de CO_2 . Une grande partie du réchauffement climatique d'origine anthropique lié aux émissions de CO_2 est irréversible sur des périodes de plusieurs siècles à plusieurs millénaires, sauf dans le cas d'une élimination nette considérable de CO_2 atmosphérique sur une longue période» [1] (Figure 13).

«La stabilisation de la température moyenne à la surface du globe n'implique pas la stabilisation de toutes les composantes du système climatique. Le déplacement des biomes, l'évolution du carbone dans le sol, la transformation des inlandsis, le réchauffement des océans et l'élévation concomitante du niveau de la mer possèdent leurs propres échelles temporelles longues, si bien que ces processus se traduiront par des changements durant des centaines voire des milliers d'années après la stabilisation de la température à la surface de la planète.

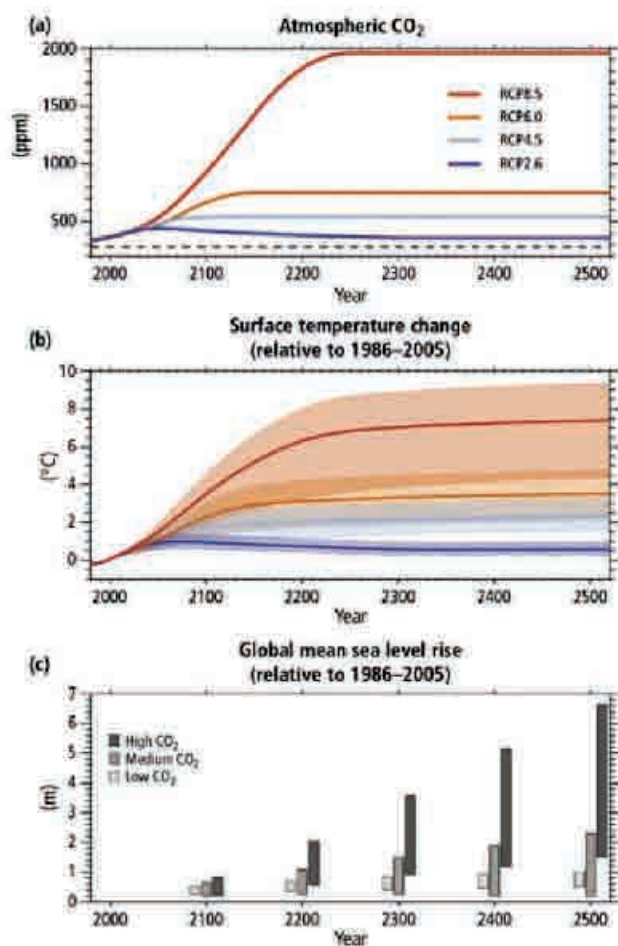


Figure 13: Projections du GIEC à l'horizon 2500 concernant a) le CO_2 atmosphérique, b) le changement de la température de surface relativement à 1986-2005 et c) l'élévation du niveau d'eau global relativement à 1986-2005 (d'après [1]).

«L'acidification des océans se poursuivra pendant des siècles si les émissions de CO₂ ne cessent pas (degré de confiance élevé) et les écosystèmes marins seront fortement touchés» [1].

«Il est quasiment certain que l'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe va se poursuivre durant de nombreux siècles au-delà de 2100, cette élévation étant fonction des émissions futures. Le seuil de réchauffement moyen du globe par rapport aux niveaux préindustriels pour lequel on assisterait à une disparition quasi complète de la calotte du Groenland en un millénaire ou plus, avec une hausse du niveau moyen des mers pouvant atteindre jusqu'à 7 m est supérieur à environ 1°C (degré de confiance faible), mais inférieur à environ 4 °C (degré de confiance moyen). Une perte de glace soudaine et irréversible de la calotte de l'Antarctique est possible, mais les éléments actuellement disponibles et le niveau de compréhension de ces phénomènes sont insuffisants pour qu'une estimation quantitative soit donnée» [1].

«L'ampleur et le rythme du changement climatique associés aux scénarios à émissions modérées à élevées présenteront un risque élevé de bouleversement brutal et irréversible, à l'échelle régionale, de la composition, la structure et les fonctions des écosystèmes marins, terrestres et dulçaquicoles, y compris les milieux humides (degré de confiance moyen). Il est quasiment certain que la poursuite du réchauffement planétaire provoquera une réduction de l'étendue du pergélisol» [1].

Conclusion

Selon [1], «l'adaptation et l'atténuation sont des stratégies complémentaires qui permettent de réduire et de maîtriser les risques liés aux changements climatiques. En limitant fortement les émissions au cours des prochaines décennies, on pourrait réduire les risques climatiques au XXI^e siècle et au-delà, améliorer les perspectives d'adaptation, réduire les coûts de l'atténuation sur le long terme et aplanir les difficultés afférentes, et privilégier des profils d'évolution favorisant la résilience face au changement climatique dans l'optique du développement durable.

Il est possible de prendre des décisions avisées pour limiter les changements climatiques et leurs effets en appliquant une vaste gamme d'outils d'analyse pour l'évaluation des risques et des avantages probables, qui prennent en compte la gouvernance, les questions d'éthique, l'équité, les jugements de valeur, les évaluations économiques et la diversité des perceptions et des réactions face aux risques et à l'incertitude.

Sans mesures d'atténuation autres que celles qui existent aujourd'hui, et même si des mesures d'adaptation sont prises, le risque de conséquences graves, généralisées et irréversibles à l'échelle du globe sera élevé à très élevé à la fin du XXI^e siècle en raison du réchauffement (degré de confiance élevé). L'atténuation s'accompagne de certains

co-avantages et risques dus à des effets secondaires néfastes, mais la probabilité de conséquences graves, généralisées et irréversibles est moindre que celle associée aux changements climatiques, d'où l'intérêt des mesures d'atténuation à court terme.

L'adaptation peut réduire les risques d'impacts liés aux changements climatiques, mais son efficacité a des limites, surtout lorsque l'ampleur et le rythme des changements climatiques augmentent. En adoptant une perspective à long terme, dans le contexte d'un développement durable, on augmente les chances que les mesures d'adaptation à plus court terme renforcent l'efficacité des options futures et améliorent la préparation.

En matière d'atténuation, il existe de nombreuses options susceptibles de limiter le réchauffement à moins de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels. Il faudrait pour cela réduire fortement les émissions au cours des prochaines décennies et faire en sorte que les émissions de dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre persistants soient presque nulles d'ici la fin du siècle. Or, cela pose d'importants problèmes techniques, économiques, sociaux et institutionnels, qui deviennent plus difficiles à surmonter si l'on tarde à prendre des mesures d'atténuation supplémentaires et que l'évolution technologique ne suit pas. Quelle que soit son ampleur, la limitation du réchauffement pose des problèmes semblables, mais à des échelles temporelles différentes.

L'efficacité de l'adaptation et de l'atténuation dépendra des politiques et des mesures adoptées à de multiples échelles : internationale, régionale, nationale et infranationale. Les politiques directement axées sur l'adaptation et l'atténuation seront d'autant plus efficaces qu'elles seront complétées par l'adoption, à toutes les échelles, de politiques qui favorisent le développement, la diffusion et le transfert de technologies, et par le financement des mesures visant à faire face aux changements climatiques.

Les changements climatiques représentent une menace pour le développement durable. Il existe néanmoins de nombreuses possibilités de lier l'atténuation et l'adaptation à la poursuite d'autres objectifs sociétaux dans le cadre d'approches globales (degré de confiance élevé).

Pour que les efforts déployés soient fructueux, il faut se doter d'outils appropriés et de structures de gouvernance adéquates, et renforcer nos capacités de réaction (degré de confiance moyen)» [1].

A l'échelle internationale et en matière d'adaptation et d'atténuation sur les océans, nous ferons notamment référence aux récents travaux de [23],[24], [25], [26].

En matière de lutte contre le réchauffement climatique, le récent classement établi par le Climate Change Performance Index (CCPI, 2018 - Source SEDD) montre que le Royaume du Maroc occupe la première place en Afrique, la première place dans le monde arabe et la sixième place dans le monde.

Références citées

- [1] GIEC/IPCC (2014). Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au Cinquième Rapport d'Evaluation (RE5 ou AR5) du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat- Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer, GIEC/IPCC, Genève, Suisse, 161 p.
- [2] CCLME (2016). Analyse diagnostique transfrontalière du grand écosystème marin du Courant des Canaries. CCLME, URC, DAKAR. 144p.
- [3] Sambe, B., Tandstad, M., Caramelo, A.M. and Brown, B.E. (2016). Variations in productivity of the Canary Current Large Marine Ecosystem and their effects on small pelagic fish stocks, *Environnemental Development*, Volume 17, Supplement 1, 105-117.
- [4] Hilmi, K., Faraj, A. et Kifani, S. (2016). Réchauffement climatique et acidification de la région Nord Ouest Africaine (Courant des Canaries et Mer d'Alboran), Actes d'atelier, 31 mai-01 juin 2016, Laboratoires Centraux de l'INRH à Casablanca.- Document «Travaux Techniques et Scientifiques» de l'INRH, N° ISSN 2421-8952, 160 pages + annexes.
- [5] IOC-UNESCO (2015). Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem, In: Valdés, L.1 and Déniz-González, I. (eds), IOC Technical Series, No. 115, 383 pp.
- [6] Vélez-Belchi, P., Gonzalez-Carballo, M., Pérez-Hernandez, M. and Hernandez-Guerra, A. (2015). Open Ocean temperature and salinity trends in the Canary Current Large Marine Ecosystem. pp 299-308, In: Valdés, L.1 and Déniz-González, I.1 (eds). 2015. Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. IOC-UNESCO, Paris. IOC Technical Series, No. 115, 383 p.
- [7] Benazzouz, A., Demarcq, H. and Gonzalez-Nuevo, G. (2015). Recent changes and trends of the upwelling intensity in the Canary Current Large Marine Ecosystems, pp 321-330, In: Valdés, L.1 and Déniz-González, I.1 (eds). 2015. Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. IOC-UNESCO, Paris. IOC Technical Series, No. 115, 383 p.
- [8] Benazzouz, A. and Demarcq, H. (2015). Trends in phytoplankton and primary productivity off Northwest Africa. pp 331-341, In: Valdés, L.1 and Déniz-González, I. (eds). 2015. Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. IOC-UNESCO, Paris. IOC Technical Series, No. 115, 383 pp
- [9] McGregor et al. (2007). Rapid 20th-century increase in coastal upwelling off northwest Africa. *Science* 315, 637–639.
- [10] Cropper et al. (2014). Spatial and temporal seasonal trends in coastal upwelling off Northwest Africa, 1981–2012. *Deep-Sea Res. I* 86, 94–111.

- [11] Narayan et al. (2010). Trends in coastal upwelling intensity during the late 20th century. *Ocean Sci.* 6, 815–823 (2010).
- [12] Wang et al. (2015). Intensification and spatial homogenization of coastal upwelling under climate change, Vol 518, *Nature*, 390, doi:10.1038/nature14235.
- [13] Vargas-Yáñez and al. (2010). Climate Change in the western Mediterranean sea 1900_2008, *Journal of Marine Systems* 82, 171–176.
- [14] Borghini et al. (2014). The Mediterranean is becoming saltier, *Ocean Sci.*, 10, 693–700.
- [15] Andral, B., Bouchoucha, M., Pairaud, I., Sartorett, S. et Reul, N. (2014). Bases scientifiques et techniques d'un observatoire du changement global en mer. Rapport IFREMER- RST.ODE/LER-PAC/14-09, 60 p.
- [16] GONZÁLEZ-DÁVILA, M. and SANTANA-CASIANO, J.M. (2015). Inorganic carbon, pH and Alkalinity in the Canary Current Large Marine System, p 143-150, In: Valdés, L.I and Déniz-González, I.I (eds). 2015. Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. IOC-UNESCO, Paris. IOC Technical Series, No. 115, 383 pp.
- [17] Kapsenberg, L., Alliouane, S., Gazeau, F., Mousseau, L., and Gattuso, J.-P. (2017). Coastal ocean acidification and increasing total alkalinity in the northwestern Mediterranean Sea, *Ocean Sci.*, 13, 411-426, <https://doi.org/10.5194/os-13-411-2017>.
- [18] Flecha, S., Pérez, F. F., García-Lafuente, J., Sammartino, S., Ríos, A. F., and Huertas, I. E. (2015). Trends of pH decrease in the Mediterranean Sea through high frequency observational data: indication of ocean acidification in the basin, *Sci. Rep.*, 5, 16770, doi:10.1038/srep16770.
- [19] Hoegh-Guldberg, O., Cai, R., Poloczanska, E.S., Brewer, P.G., Sundby, S., Hilmi, K., Fabry, V.J., and Jung, S. (2014a). The Ocean (Chapter 30), In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, 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. 1655-1731.
- [20] Hoegh-Guldberg, O., Cai, R., Poloczanska, E.S., Brewer, P.G., Sundby, S., Hilmi, K., Fabry, V.J., and Jung, S. (2014b). The ocean - Supplementary Material (Chapter 30), In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, 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.)].

- [21] Bakun, A. (1990). Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science* 247, 198–201.
- [22] Lluch-Cota, S.E., Hoegh-Guldberg, O., Karl, D., Pörtner, H.-O., Sundby, S., and Gattuso, J.-P. (2014) - Box CC-UP: Uncertain Trends in Major Upwelling Ecosystems Cross-chapter box on uncertain trends in major upwelling ecosystems. 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. 149-151.
- [23] Gattuso, J.-P. et al. (2015). Contrasting futures for oceans and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios *Sciences* 349 (2015), DOI: 10.1125/science.aac4722.
- [24] Magnan, A. et al. (2016). Implications of the Paris agreement for the Oceans. *Nature Climate Change* (Commentary).doi: 10.1038/nclimate3038..
- [25] Magnan, A.(2016). Global Adaptation after Paris. *Science* 10, Juin 2016, Vol. 352, Issue 6291, pp. 1280-1282 DOI: 10.1126/science.aaf5002.
- [26] Magnan, A. et al. (2016), Metrics needed to track adaptation. 160, *NATURE*, VOL 530, (11 FEBRUARY 2016 © 2016 Macmillan Publishers Limited).

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci M. HILMI pour cette belle contribution, à notre session, qui va susciter certainement des questions et des réactions. Nous avons une vingtaine de minutes pour la discussion. La parole est à la salle. J'inviterai juste nos invités de bien vouloir se présenter en prenant la parole avant de poser des questions. Merci.

DISCUSSION

- **M. EL MOUMNI** (Docteur en océanologie, Délégué du Royaume du Maroc à la Commission Internationale d'Explorations Scientifiques de la Mer Méditerranée et Doyen de la Faculté Polydisciplinaire de Larache à l'Université Abdelmalek Essaâdi)

Je remercie l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, à travers son Secrétaire Perpétuel et son Chancelier, d'avoir choisi le thème de cette session plénière. Nos sociétés africaines les plus vulnérables attendent de nous des solutions, la COP22 tenue à Marrakech a fait des recommandations et il y a eu des conclusions. Nos sociétés vulnérables attendent toujours parce qu'il y a une influence du changement climatique à la fois sur les ressources en matière de pêche et d'aquaculture (érosion côtière, élévation du niveau de la mer, attaque des monuments et des constructions sur le littoral, élévation de l'acidité des eaux marines, invasion d'espèces exogènes) et tout cela impacte le quotidien de nos sociétés.

Je pense qu'il est temps que la communauté scientifique nationale et internationale se penche sur la proposition de solutions concrètes qui vont aider nos sociétés à mieux s'adapter et à mieux éviter les catastrophes ou les conséquences fâcheuses qui peuvent résulter du changement climatique. A notre petite échelle à nous, nous avons participé à un projet qui s'appelait MEDINA et il y a eu des recommandations sur le site de l'Union Européenne et là on vient de démarrer un ERASMUS-Plus qui s'appelle SCOLAMAR et qui vise justement la formation de compétences qui peuvent accompagner ce changement.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Nous allons regrouper les questions. Merci de bien vouloir préciser à quel conférencier vous adressez votre question.

- **Pr. Naima HAMMOUMI** (Université Mohammed V de Rabat et coordinatrice nationale du Réseau Marocain des Sciences et Ingénierie de la Mer)

Merci Monsieur le Directeur des Séances. J'aimerais tout d'abord remercier Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques pour m'avoir invitée à cet important événement. J'aimerais également saluer le choix de la thématique de cette session plénière qui met l'accent sur le rôle et l'importance des océans. Les différentes conférences que nous avons suivies ont démontré les évolutions climatiques, leur instabilité, leurs causes et leurs impacts. J'aimerais saisir cette opportunité pour apporter des éléments supplémentaires qui laissent craindre les risques d'amplification et d'accélération du réchauffement climatique. En effet, les modèles prévisionnels d'augmentation de la température pourraient être en deçà de la réalité; et pour cause, en plus du réchauffement climatique, lié à l'augmentation des gaz à effet de serre, qui est bien admis et bien documenté maintenant, notre planète une période de réchauffement climatique naturel qui a démarré il y a 11.700 ans c'est-à-dire à la dernière phase de la glaciation quaternaire.

Par ailleurs, l'albédo a diminué du fait que la fonte des glaciers a triplé ces dernières décennies. Le dernier facteur, et qui n'est pas des moindres, c'est l'existence des gisements d'hydrates de méthane dans les fonds océaniques. Ces hydrates de méthane, qui sont stables à 600 m de profondeur et à des températures de 7°C, il suffit d'une augmentation de 1°C pour que ce méthane soit libéré dans l'hydrosphère et ensuite dans l'atmosphère et donc multiplier le réchauffement. Selon les auteurs, ces gisements comporteraient deux fois plus de carbone que tous les gisements de pétrole, de charbon et de gaz connus à travers le monde. Donc, ceci va permettre d'altérer le rôle régulateur des océans, et il faudrait en tenir compte. Sur cette question, je voudrais signaler que les marges marocaines, aussi bien atlantiques que de la méditerranée comportent des provinces de volcans liées à des hydrates de méthane dont le relâchement pourrait entraîner des instabilités des marges dont il faudrait en tenir compte dans les plans d'aménagement et les actions d'adaptation.

Enfin, j'ai une dernière recommandation, concernant les modèles d'inondations, qui existent actuellement pour la marge méditerranéenne marocaine, devraient être refaits en tenant compte du facteur tectonique. En effet, c'est une marge qui est active, à la limite des plaques africaine et européenne, et ceci est démontré par les séismes qui existent et qu'on continue d'enregistrer. Il y'en a une mine durant les quatre dernières années, et donc on ne peut pas ignorer ce facteur dans la modélisation des variations ou des inondations et des cartes de vulnérabilité. Je vous remercie.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci Mme HAMMOUMI. Nous avons 20 mn pour toute la discussion et je vous invite à être plus courts dans vos commentaires et questions.

- **M. Abdelwahid MELLOUKI** (CNRS, Orléans, France)

Je travaille sur la chimie atmosphérique, le changement climatique, qualité de l'air, etc. Je connais par ailleurs, à travers ses papiers, ma collègue Valérie MASSON-DELMOTTE, à laquelle je m'adresse. Ma question concerne les échanges océan-atmosphère, vous n'avez pas beaucoup abordé ce point mais il me semble très important d'y revenir. L'océan est puits source de pas mal de substances chimiques, gazeuses, particulières, etc. Quel est l'impact que pourrait avoir les modifications de ces substances. Sur un autre registre, il y a de plus en plus de programmes de recherche développées sur les zones côtières, associés à l'impact du changement climatique, notamment l'industrialisation de ces zones et l'impact sur le climat en général et sur les océans en particulier, donc la production d'ozone qui est un gaz à effet de serre important, on n'en parle beaucoup, les particules, les aérosols qui sont formés suite à des émissions soit anthropogéniques ou biogéniques. Là aussi ma collègue pourra en dire un peu plus pour éclaircir la situation et merci.

- **Acteur associatif dans le domaine de l'environnement**

Merci Monsieur le Directeur des Séances. Je commencerai par remercier Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques de m'avoir permis d'assister à cette manifestation.

Je voudrais demander à Madame Valérie MASSON-DELMOTTE si elle peut nous dire quelques mots sur les arguments scientifiques de ces climato-sceptiques et comment peut-on réagir à ça avec des arguments scientifiques?

Je voudrais également demander à Monsieur MOKSSIT ce qu'il pense des rapports établis par certains scientifiques (cf. Rapport de Madame SNOUSSI sur le relèvement du niveau de la mer sur les villes côtières). Je me fais des soucis quant à l'opérationnalisation des résultats de la recherche et je souhaite que les chercheurs apportent leur éclairage aux politiques pour la prise de décisions opportunes en matière d'aménagement des zones côtières.

- **M. Ahmed ARAFA** (Ingénieur agronome, ancien responsable au Ministère de l'Intérieur)

Je voudrais à mon tour féliciter et remercier l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et à sa tête Monsieur le Secrétaire Perpétuel et remercier tous les intervenants qui nous ont fait voler autour de cette grande problématique. Je voudrais me situer autour, si vous le permettez, à l'aval de ce qui peut être considéré comme l'observation ou l'analyse pour voir ce qui peut être apporté comme éléments d'aide à la prise de décision, puisque dans tous les exposés que nous avons entendu il a été question de la nécessité de prise en compte aussi bien du changement climatique que de ses conséquences. Donc les éléments d'aide à la prise de décision pour adapter les politiques sectorielles et en particulier l'agriculture qui représente 18 à 20% du PIB du Maroc et qui pèse d'un poids énorme dans l'économie nationale.

Face à ces changements climatiques, face à la compétition qui apparaît entre l'eau et la production, l'utilisation des sols et surtout le contexte qui a été avancé par M. MOKSSIT (la variabilité des problématiques qui se posent sur le terrain). Ces problématiques peuvent se poser de façon encore plus grave. Le périmètre de la Moulouya fait plus de 70.000 hectares et qui à un moment donné a représenté le fer de lance de tout ce qui était agrumiculture et horticulture, et qui se trouve actuellement à l'aval du double complexe de barrages (Mechraâ Klila et Mechraâ Hammadi) dont les capacités sont aujourd'hui réduites de moitié. Quel devenir pour cette région?

Nous avons une autre région, le Tadla, et à l'aval du Tadla la région de la Tassaout-aval, qui est irriguée par le premier barrage construit au Maroc: le Bin Elouidane, dont l'alimentation est essentiellement neigeuse. M. MOKSSIT nous montré quelle a été la chute de l'enneigement. Il s'agit de plusieurs centaines de milliers d'hectares. Dans tout ce contexte là, nous sommes dans la perspective d'un stress hydrique à partir de 2025-2030.

Que peut-on faire pour, qu'à la veille du AAA qui a été faite à la COP22, adapter uniquement notre agriculture au Maroc? Comment peut-on gérer la ressource eau entre l'agriculture (qui était à un certain moment à 25-90% prioritaire et qui devrait être maintenant relativisée), la demande urbaine et le tourisme? Toutes ces problématiques sont de très court terme qui me semblent poser le problème de l'incompatibilité entre le court terme que gèrent les décideurs -responsables de terrain- et la recherche. Je vous remercie.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci. Je crois que chacun des orateurs a reconnu les questions qui lui sont destinées. Je donne la parole à Mme MASSON-DELMOTTE.

- **Pr. Valérie MASSON-DELMOTTE** (Université de Paris-Saclay, co-présidente de l'IPCC)

En fait, ce sera des réponses assez succinctes parce que chacune de ces questions est très profonde et mérite un développement approfondi.

Sur la première question par rapport aux sociétés les plus vulnérables, je pense que c'est une dimension extrêmement importante qu'on va aborder dans chacun des rapports spéciaux du GIEC puisque la spécificité c'est qu'on ne va pas séparer la partie compréhension des bases physiques, identification des vulnérabilités, impacts sur les sociétés, atténuation etc., mais on va aborder ces rapports de manière intégrée. Justement, je pense que c'est une opportunité dans cette démarche pour travailler davantage sur le croisement entre les vulnérabilités qui sont identifiées, l'analyse des risques et les solutions qui permettent de réduire les expositions aux risques. Je pense que ce qui est important de ce point de vue là c'est qu'il y a à la fois les systèmes d'urgence (systèmes d'alerte à très court terme) mais aussi la dimension à différentes échelles de temps (à horizon 2030 et au delà) par rapport aux stratégies de plus long terme, qui sont nécessaires, et ça fait écho à la dernière question également.

Il y a eu également des commentaires par rapport à un certain nombre de points que je n'ai pas abordés. Par exemple par rapport au contexte climatique de long terme, donc de la période interglaciaire actuelle, ce que je veux souligner là c'est l'émergence de plus en plus fine sur les derniers dominants y compris l'état des océans dans le cadre d'un programme international qui s'appelle «Past global changes», qui permet de mieux comprendre les mécanismes de variabilité naturelle qui agissent relativement à long terme.

Il y a également la question des rétractions liées à des hydrates de méthane. Depuis le dernier rapport du GIEC, il y a eu un certain nombre de publications récentes sur un article de revue qui a été publié en 2016 sur cette question et je pense que cela va mériter d'être évalué vraiment de manière intégrée en termes de stocks, de flux et de processus dans l'océan qui peuvent empêcher les émissions de rejoindre l'atmosphère. Il y a vraiment besoin de refaire le point de manière approfondie.

Quant à la question au-delà de l'énergie, de l'eau, de la qualité de l'air où il y a beaucoup de dimensions liées à des interactions continent-océan-atmosphère. On peut parler de la production des aérosols dans les systèmes marins et leurs interactions avec la qualité de l'air. C'est là une dimension, extrêmement importante et qu'on veut renforcer pour le groupe 1 dans le 6ième rapport du GIEC, que je n'ai pas abordée dans la faible durée de la présentation, mais qui est importante en termes de coûts-bénéfices pour ce qui est de la qualité de l'air en relation avec le changement climatique et les émissions des gaz à effet de serre dans les régions de grand trafic maritime important.

Il y avait aussi la question de la réponse aux arguments des climato-sceptiques, on peut répondre sans franc par la mise en cause des données d'observation, la mise en cause de

la crédibilité des modèles de climat. Je pense que c'est extrêmement important d'apporter une réponse circonstanciée où justement on montre ce qu'on attend des climats passés et de l'évaluation aujourd'hui, ce qui permet de répondre sur le fait que cette approche là n'est pas crédible. Voilà, je pense que ces éléments requièrent des réponses approfondies mais qui soient compréhensibles par le grand public.

Pour terminer, je dirai que les points qui ont été mentionnés c'est également l'aspect formation, l'aspect éducation et c'est quelque chose qui me tient vraiment à cœur par rapport en particulier aux rapports du GIEC : faire en sorte que l'état des connaissances que l'on va produire sur cet ensemble de rapports, sur l'océan des glaces, sur l'usage des terres pour l'agriculture et la sécurité alimentaire et puis des enjeux liés à différentes amplitudes de réchauffement qu'on puisse également fabriquer à partir de ça du matériel pédagogique pour que très vite ces connaissances percolent largement dans la société en particulier dans le système d'éducation.

Je pense que les académies des sciences ont vraiment un rôle à jouer pour nous aider à diffuser ces connaissances rapidement vers l'ensemble de la société. Désolée pour ces réponses partielles mais que j'ai essayé de faire rapides.

- Pr. Abdallah MOKSSIT (CITIT)

Merci à toutes les personnes qui ont posé des questions fort intéressantes. D'ores et déjà ça donne une idée sur les soucis. On avait des questions scientifiques très précises et des questions de différentes catégories d'acteurs (ONG, politiques publiques, coopération sud-sud). Pour répondre à ces questions, je crois qu'il faut adopter une approche intégrée.

La question sur le changement climatique, telle qu'elle a été posée, pose un risque et nous sommes aujourd'hui face à la gestion de la connaissance du risque par différence à une gestion de crise. Je crois que ce qui est important à travers vos questions c'est votre préparation à anticiper.

Concernant la composante scientifique, je crois qu'il y a deux dimensions :

- renforcer la science pour diminuer l'incertitude, c'est un axe directeur.
- être ouvert, on aura tout le temps des gens qui vont poser des questions, qui vont fouiner dans des rapports mais la meilleure façon c'est la transparence. A titre d'exemple, un protocole de gestion des erreurs a été installé au niveau du secrétariat du GIEC. En quelque sorte nous avons ouvert les portes et appelé les gens intéressés à venir discuter de la science. En d'autres termes, renforcer ce que nous savons et proposer des plans d'action pour élucider ce que nous ne savons pas.

Le deuxième domaine c'est la coopération sud-sud, lors de la COP22 il y avait une attention manifeste vers l'Afrique, pas uniquement à travers l'initiative 3A mais aussi à travers l'initiative de ceinture bleue. Il faut se leurrer quand on a affaire à une coopération sud-sud, il faut maintenant s'assurer de mettre en place des plans de mise en œuvre. Pour la gestion du changement climatique, il y a des plans de mise en œuvre de l'adaptation, une adaptation aussi bien réactive (maintenant) que planifiée (prochaines décades). Mais sans pour autant être précis, chaque pays, chaque zone d'un pays est spécifique et possède des caractéristiques particulières.

Maintenant, je suis vraiment très réjoui par l'intervention de M. ARAFA qui me rappelle déjà des questions posées au sein du Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat il y a deux décennies. Il faut jeter le pont entre la recherche scientifique et la recherche finalisée, et cette approche a déjà trouvé un espace au sein de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques pour s'intéresser à : «Comment bâtir une stratégie de politique publique sur la base des dernières connaissances».

La dernière chose sur laquelle je voudrais insister c'est qu'il faut adopter une gestion du risque basée sur l'anticipation et la vigilance. La vigilance repose sur une tryptique:

- un axe du savoir.
- un axe développement des capacités de réaction.
- un axe développement des capacités d'anticipation ou de prévention.

Je vous remercie.

- **M. Karim HILMI** (Directeur de recherches à l'Institut National de Recherche Halieutiques)

Je voudrais juste apporter un complément d'information par rapport à ce qu'ont dit mes collègues, pour dire comment fournir l'information nécessaire aux décideurs. J'ose prendre l'exemple des rapports du GIEC qui sont basés sur des publications scientifiques nationales ou internationales. Un constat alarmant a été fait au niveau du groupe 2, c'est le manque de publications pour l'Afrique. Le problème s'est posé, comment prendre des décisions parce que les rapports du GIEC sont destinés aux décideurs publics et comment fournir l'information nécessaire pour ces décideurs. Depuis la COP21, les océans sont maintenant inclus dans les négociations, ce qui n'était pas le cas auparavant.

Je vous remercie.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

La parole est à Monsieur le Secrétaire Perpétuel de notre Académie.

- **Pr. Omar FASSI-FEHRI** (Secrétaire Perpétuel)

Je voudrais signaler à tous les collègues, à tous les présents, que dans le Hall, il y a une exposition Océan et Climat qui nous a été gracieusement prêtée par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD, France) à l'occasion de cette session. Je saisis l'occasion pour remercier l'IRD pour ce prêt et signaler que la première convention bilatérale signée par l'Académie depuis sa création l'a été avec l'IRD du temps de la présidence de Monsieur GIRARD. Merci à l'IRD et bonne visite de cette exposition.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Nous arrivons au terme de cette première séance. Il me reste à remercier et féliciter nos brillants conférenciers de leurs présentations.

Séance II
NIVEAUX DES MERS ET ÉVÉNEMENTS
CLIMATIQUES EXTRÊMES

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Chers collègues, nous allons reprendre le programme de la journée par cette deuxième séance intitulée «Niveaux des mers et événements climatiques extrêmes». Je donne la parole au Pr. Anny CAZENAVE, de l'Académie des Sciences de France, qui va nous parler du «**La hausse du niveau de la mer : observations et causes**».

A vous la parole Pr. Cazenave.

LA HAUSSE DU NIVEAU DE LA MER : OBSERVATIONS ET CAUSES

Anny CAZENAVE

*Laboratoire d'études en géophysique
et océanographie spatiales (LEGOS), Toulouse*

Académie des Sciences, France



Le niveau de la mer et ses variations constituent un des meilleurs indicateurs du changement climatique global. En effet le niveau de la mer intègre les variations de plusieurs composantes du système climatique en réponse au réchauffement d'origine anthropique et à la variabilité naturelle et interne du climat. Depuis quelques décennies, la Terre est en état de déséquilibre énergétique : elle réémet moins d'énergie vers l'espace qu'elle n'en reçoit du soleil. C'est une des conséquences majeures de l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre, résultat de l'utilisation des combustibles fossiles par les activités humaines. Cet excès d'énergie –essentiellement sous forme de chaleur– s'accumule majoritairement dans l'océan, à hauteur de 93% en moyenne sur les 40 dernières années. Les 7% restants servent à réchauffer l'atmosphère et les surfaces continentales, et à faire fondre les glaces (banquise, glaciers et calottes polaires) (von Schuckmann et al., 2016). L'augmentation du contenu en chaleur de l'océan ainsi que la fonte des glaces continentales (glaciers et calottes polaires) contribuent à leur tour à la hausse du niveau moyen des océans observée depuis un peu plus d'un siècle (IPCC, 2013).

L'observation directe des variations du niveau de la mer a débuté avec l'ère industrielle et l'installation systématique de marégraphes dans quelques ports de l'Europe du nord, puis progressivement dans d'autres régions du globe. Bien que peu nombreux et mal répartis sur la planète, les séries marégraphiques 'historiques' nous indiquent que depuis le début du 20^{ème} siècle, la mer est montée globalement à une vitesse moyenne comprise entre 1.2 et 1.9 mm par an (Fig.1). Depuis le début des années 1990, on mesure en routine

la hausse de la mer depuis l'espace, grâce aux satellites altimétriques de haute précision, tels que Topex/Poseidon et ses successeurs Jason-1, Jason-2 et Jason-3, ainsi que les satellites ERS-1/2 et Envisat, et depuis peu SARAL/Altika, Cryosat et Sentinel-3. On dispose aujourd'hui d'une série d'observations depuis l'espace longue de près de 25 ans. Celle-ci montre que le niveau moyen de la mer s'est élevé à la vitesse de 3 mm par an entre 1993 et 2016 (Fig.1).

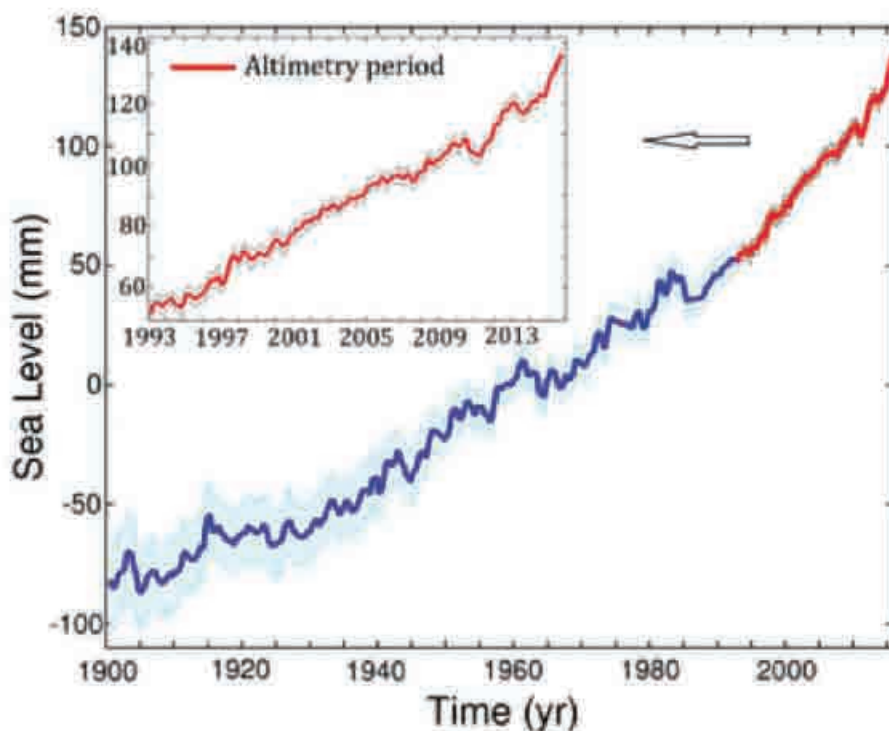


Figure 1 : Evolution du niveau moyen de la mer au cours du 20^{ème} siècle basée sur les mesures marégraphiques (reconstruction de Church and White, 2011; courbe bleue). En rouge : niveau moyen global de la mer mesuré par altimétrie (d'après Dieng et al., 2017). Les zones ombrées représentent les erreurs des données.

Grâce à leur couverture quasi globale du domaine océanique, les satellites altimétriques ont aussi révélé que la hausse du niveau de la mer présente d'importantes disparités régionales. Dans certaines régions, comme le Pacifique tropical ouest, la hausse de la mer a atteint 12 mm/an depuis 1993, soit une hausse 3 fois plus grande que la moyenne globale (Fig.2).

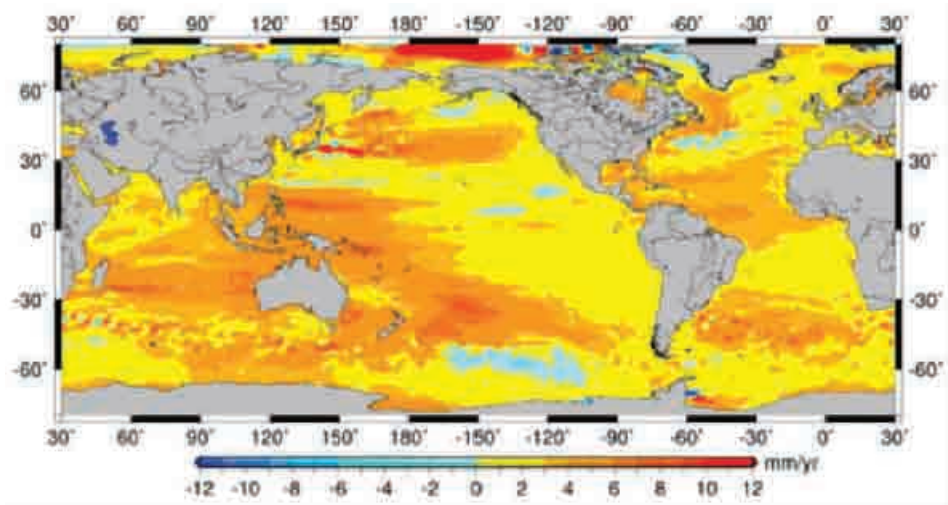


Figure 2 : Variabilité régionale des vitesses de variation du niveau de la mer observée par l'altimétrie spatiale entre 1993 et 2015. Données AVISO (www.aviso.altimetry.fr)

Les contributions principales de la hausse actuelle du niveau moyen global de la mer sont le réchauffement de l'océan (qui se dilate), la fonte des glaciers continentaux et des calottes polaires, enfin les échanges d'eau avec les terres émergées. À l'échelle régionale, l'expansion thermique non uniforme des océans est la cause dominante des disparités régionales de la hausse de la mer (Stammer et al., 2013). Mais dans certaines régions, les variations de la salinité de l'océan peuvent jouer un rôle non négligeable. D'autres phénomènes, par exemple les déformations des bassins océaniques en réponse à la fonte passée et actuelle des glaces continentales, ont également un impact sur le niveau de la mer régional.

Depuis plusieurs années, on dispose de divers systèmes d'observation spatiaux et in situ permettant d'estimer à la fois les variations globales et régionales du niveau de la mer (l'altimétrie spatiale de haute précision et la marégraphie) ainsi que les principales contributions à ces variations. Il s'agit notamment du système mondial de flotteurs automatiques Argo assurant la mesure des variations de température et de salinité de l'océan avec une couverture quasi globale, la gravimétrie spatiale GRACE pour estimer les variations de masse de l'océan et des stocks d'eaux continentales, l'altimétrie laser et radar, GRACE et l'interférométrie radar pour quantifier le bilan de masse des calottes polaires, l'imagerie spatiale haute résolution et des mesures de terrain pour estimer la fonte des glaciers. Utilisées conjointement avec la modélisation, ces observations permettent d'étudier le « bilan » du niveau de la mer aux échelles globale et régionale, et donc de mieux comprendre les processus en jeu. Par ailleurs, la confrontation entre modèles et observations contribue à la validation et l'amélioration des modèles climatiques utilisés pour simuler les variations de la mer dans le futur, et en particulier dans les régions côtières.

La figure 3 montre l'évolution du niveau moyen global de la mer entre 1993 et 2015 mesurée par altimétrie spatiale, ainsi que différentes contributions (d'après Dieng et al., 2017). La somme des contributions est superposée à la hausse de la mer. On note que les deux courbes sont en très bon accord, ce qui indique la fermeture du bilan sur cette période.

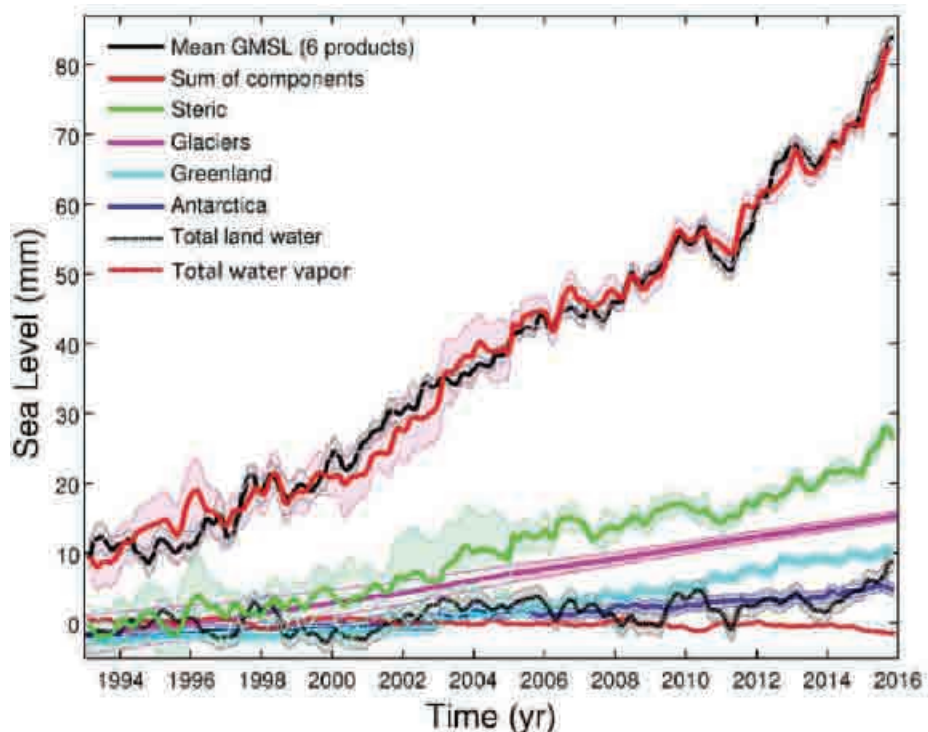


Figure 3 : Niveau moyen global de la mer observé (en noir) et contributions individuelles (en couleur) entre 1993 et 2015. La courbe rouge superposée au niveau de la mer observé représente la somme des contributions (adapté de Dieng et al., 2017).

L'ensemble des glaces continentales –glaciers et calottes polaires– ont contribué pour 56% à la hausse de la mer observée entre 1993 et 2015. La dilatation thermique de l'océan a contribué pour environ 38 %. Le reste est attribué à une diminution des stocks d'eau sur les continents, en particulier à cause du pompage de l'eau dans les nappes souterraines pour l'irrigation des cultures. A l'échelle régionale, comme mentionné plus haut, la cause principale de la variabilité observée résulte de l'expansion thermique non uniforme de l'océan : dans certaines régions, il y a plus de chaleur stockée dans l'océan donc plus de dilatation. Il en résulte une hausse de la mer non uniforme. Les tendances régionales du niveau de la mer observées par altimétrie satellitaire et celles résultant de l'expansion thermique de l'océan montrent un accord remarquable.

Avec la poursuite du réchauffement climatique en réponse aux émissions passées et futures de gaz à effet de serre, la hausse du niveau marin va se poursuivre au cours des prochaines décennies, et même des prochains siècles. Comme aujourd'hui, les deux contributions principales seront la fonte des glaces continentales et l'expansion thermique des océans, et aussi comme aujourd'hui, l'élévation future de la mer présentera d'importantes variations régionales (Church et al., 2013). La cause principale de cette variabilité régionale est la distribution non uniforme de la température de l'océan et de la salinité (en lien avec la fonte de la banquise et des glaces continentales, et avec les variations du cycle hydrologique). Les variations géographiques de la pression atmosphérique jouent aussi un rôle, mais faible. La fonte actuelle (et future) des glaces continentales (glaciers de montagne et calottes polaires) génèrent aussi de manière indirecte une part de la variabilité régionale du niveau de la mer : sous l'effet des redistributions de masse de glace et d'eau, la croûte terrestre (élastique) se déforme, ce qui modifie légèrement le contour et la profondeur des bassins océaniques, donc le niveau de la mer à l'échelle régionale. De plus, la Terre continue de se déformer de façon visco-élastique en réponse à la dernière déglaciation (phénomène appelé 'rebond post-glaciaire'), ce qui induit une autre contribution à la variabilité régionale de la mer. Ainsi, la fonte future des calottes polaires causera une amplification de l'élévation de la mer dans les océans tropicaux de 20 à 30% par rapport à la hausse moyenne globale. Le phénomène de rebond post glaciaire a quant à lui un impact important dans les régions des hautes latitudes. Le long de la côte est de l'Amérique du Nord, ce phénomène combiné au ralentissement de la circulation thermohaline induite par les changements de la dynamique océanique, devrait donner lieu à une hausse locale de la mer très supérieure à la moyenne globale.

Les conséquences de la hausse future de la mer dans les régions côtières sont multiples: submersions temporaires et inondations permanentes, érosion du littoral, salinisation des aquifères, disparition des zones humides, etc. Si la hausse de la mer causée par le réchauffement climatique global reste un phénomène lent, il est néanmoins inexorable et à très longue durée de vie (même si les émissions de gaz à effet de serre s'arrêtaient immédiatement, la mer continuerait à monter pendant plusieurs siècles en raison de la très grande inertie thermique de l'océan et de la longue durée de vie du dioxyde de carbone dans l'atmosphère). Avec les événements extrêmes et les ressources en eau, la hausse du niveau de la mer est un des phénomènes les plus préoccupants causés par les changements globaux affectant la planète. Assurer la continuité des observations spatiales et in situ de façon à disposer de séries longues et précises des paramètres climatiques, améliorer les projections de la hausse future de la mer aux échelles globale, régionale et locale, et amplifier les recherches sur les impacts côtiers de la hausse du niveau marin tenant compte de la complexité des systèmes littoraux constituent des défis importants pour la communauté scientifique internationale, qu'il s'agit de relever.

Références citées :

- Church, J. A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M. A., Milne, G. A., Nerem, R. S., Nunn, P. D., Payne, A. J., Pfeffer, W. T., Stammer, D., and Unnikrishnan, A. S.: Sea level change, in: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M., Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2013.
- Dieng H., Cazenave A., Meyssignac B. and Ablain M., New estimate of the current rate of sea level rise from a sea level budget approach, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL073308, 2017.
- Church, J. A., and N. J. White, Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century, *Surveys in Geophysics*, 32(4-5), 585-602, doi:10.1007/s10712-011-9119-1, 2011.
- IPCC, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M., Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2013.
- Stammer D., Cazenave A., Ponte R. and Tamisiea M., Contemporary regional sea level changes, *Annual Review Marine Sciences*, 5, 21–46, 2013.
- von Schuckmann K., Palmer M.D., Trenberth K.E., Cazenave A., D. Chambers, Champollion N. et al., Earth's energy imbalance: an imperative for monitoring, *Nature Climate Change*, 26, 138-144, 2016.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci Pr. CAZENAVE de nous avoir éclairés sur les conséquences du changement climatique.

Parmi les conséquences du changement climatique, ce sont les sécheresses récurrentes et pour faire le focus sur ce sujet, nous avons avec nous Mme Fatima DRIQUECH de la Direction de la Météorologie Nationale.

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SÉCHERESSES RÉCURRENTES AVEC FOCUS SUR LE CAS DU MAROC

Fatima DRIQUECH

*Centre National du Climat,
Direction de la Météorologie Nationale,
Casablanca, Maroc*

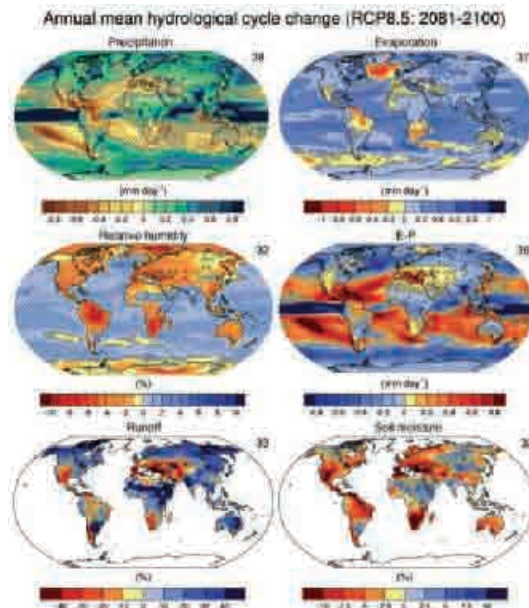


Le réchauffement planétaire est maintenant une réalité révolue et sans équivoque. Selon le 5ème rapport du GIEC, les dernières décennies ont été successivement plus chaudes l'une que l'autre et dans l'hémisphère nord la période 1983-2012 a été la plus chaude depuis 1400 années. Ce réchauffement exceptionnel relevé sur terre et en mer est accompagné d'une fonte des masses de glace et de différents changements des caractéristiques climatiques à différentes échelles. Il se manifeste au niveau de l'Afrique du nord avec des tendances à la hausse généralement supérieures à la moyenne globale (de 0.5°C à 2°C sur la période 1900-2012 (Niang et al, 2014) et y est accompagné d'évolutions d'extrêmes thermiques versant dans le sens de son accentuation et de réductions des cumuls pluviométriques. Soit des évolutions témoignant de perturbations du cycle hydrologique et de nature à favoriser l'assèchement des sols et la diminution des ressources en eau. Quant aux changements futurs, il est certes que leur intensité et ampleur dépendent des trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre qui seront empruntées par la communauté internationale, mais dans tous les cas un réchauffement additionnel est à attendre et un grand consensus entre les modèles de climat est bien affiché pour la diminution des cumuls de précipitations à différents horizons notamment au nord-ouest de la région. En combinant les évolutions futures de différents aspects du cycle hydrologique comme les précipitations, l'évaporation, l'humidité du sol, ruissèlement, le stress hydrique serait

plutôt accentué dans cette région d'ici la fin du siècle courant et particulièrement sous le scénario d'émission RCP8.5¹ (Stocker et al. (2013), Schleussner et al (2016)).

Cas du Maroc :

Le Maroc, pays méditerranéen situé au nord-ouest du continent Africain, se trouve de point de vue météorologique au niveau de la branche descendante de la circulation de Hadley et au sud de la trajectoire des perturbations du nord. Avec son extension latitudinale et sa diversité géographique, il se caractérise par un climat allant du type semi-humide au nord à aride à désertique au sud et une pluviométrie modeste ne dépassant pas les 400mm en total annuel dans la plupart des cas. Outre la forte variabilité interannuelle avec un coefficient de variation de 30% à 40% au nord-ouest à plus de 70% au sud, les précipitations au Maroc ont toujours enregistré de temps à autre des déficits ou excédents avec des répercussions parfois non négligeables (Driouech, 2010; Driouech et al., 2009). A titre d'exemple, les années de sécheresse comme celles de 1980-1984 ont eu un impact négatif sur l'agriculture et même le PIB national. Les périodes humides comme celle de novembre 2009 à février 2010, alimentent certes les stocks d'eau dans les barrages et les nappes phréatiques mais des vies et des infrastructures peuvent être détruites par les inondations en découlant. Les températures, sont généralement clémentes en hiver et élevée en été notamment à l'intérieur des terres. Les événements extrêmes de fortes chaleur et de vague de froid ne sont pas inexistants.



Changements futurs de paramètres du cycle hydrologiques à l'horizon 2081-2100 sous le scénario RCP8.5. (Source : 5^{ème} rapport du GIEC)

- 1- Les scénarios RCP (Radiative concentration pathway) sont les nouveaux scénarios d'émissions définis par le GIEC et qui ont remplacé les scénarios SRES. Au nombre de quatre, ils ont été sélectionnés par les scientifiques sur la base de 300 scénarios publiés dans la littérature. Chacun de ces quatre scénarios RCP est étiqueté en fonction du forçage radiatif qu'il atteint en 2100 : 2.6 W/m², 4.5 W/m², 6 W/m² et 8.5 W/m². Le RCP 8.5, le plus pessimiste (pour le changement climatique).

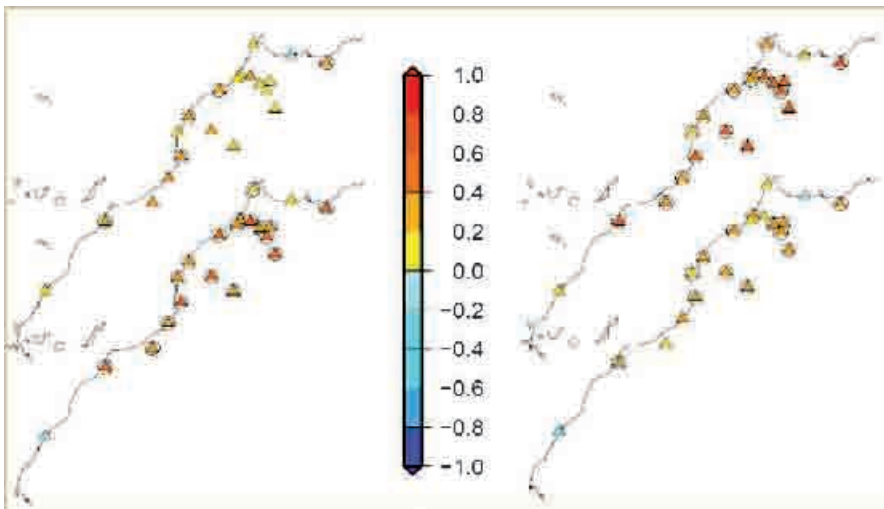
En termes d'évolution, la quantification des changements observés et prévus du climat du Maroc effectuée à la Direction de la Météorologie Nationale (DMN), en utilisant des indices climatiques appropriés ² et les modèles de climat à haute résolution, fait ressortir un ensemble de résultats et conclusions tous compatibles avec ce qui est cité plus haut.

En effet, les observations mettent en exergue pour les températures des tendances à la hausse aux échelles annuelles et saisonnières généralisées pratiquement à l'ensemble du Royaume et s'accroissant durant les dernières décennies. Ces hausses atteignent ou dépassent 0.2°C par décennie au niveau de plusieurs régions et notamment en été et sont accompagnées d'augmentation des nombres de jours chauds et de jours vagues de chaleurs (notamment estivales). Dans le même sens du réchauffement, une baisse du nombre de jours frais et du nombre de jours de vague de froids avec des intensités variables d'une région à l'autre sont détectés.

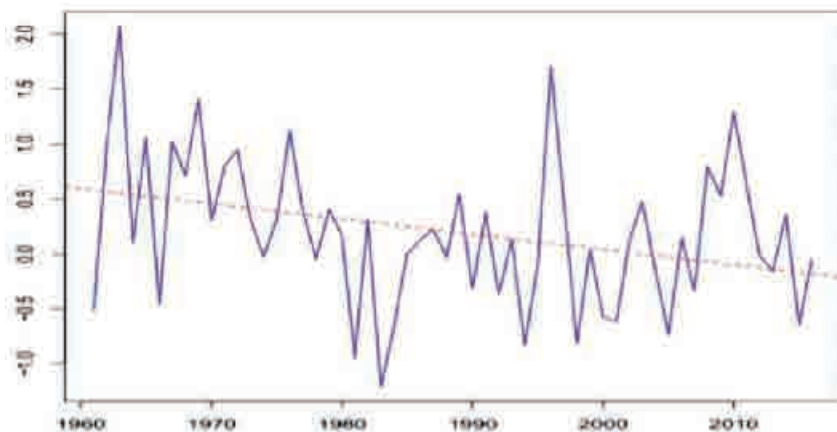
Les perturbations ont concerné aussi la pluviométrie à travers une réduction des cumuls annuels et printaniers et une accentuation de l'aspect sécheresse. En effet, que ça soit une considérant un classement des années des plus humides au plus déficitaires, en utilisant des indices de sécheresse spécifiques comme le SPI (Standardized precipitation index)³ ou en ciblant l'aspect extrême de la ce phénomène, il en sort que le climat du Maroc semble enregistrer de plus en plus d'années sèches qu'auparavant et que la sécheresse gagne en sévérité puisque sa persistance temporelle s'accroît du moins pour la période sèche la plus longue de l'année. Néanmoins, même si les années les plus déficitaires sont enregistrées durant les trente dernières années, il convient de noter que les tendances à l'accroissement de la sécheresse sont variables d'une région à l'autre et d'une saison à l'autre.

2- La détection, évaluation et suivi des changements climatique est effectuée à l'aide du calcul d'indice dit de changement climatique défini par la communauté scientifique internationale et notamment les équipes d'experts de l'Organisation Mondiale de la Météorologie. Ces indices multiples, tels que définis permettent de rendre compte d'un bon nombre d'aspects y compris les extrêmes (vagues de chaleurs et de froids, sécheresse, fortes précipitations, période de croissance,...) (Peterson, 2005).

3- Le SPI a été défini en 1993 par McKee, Doesken et Kleist («The relationship of drought frequency and duration to time scales»). C'est un indice de sécheresse est calculé à l'aide des précipitations et se base sur leur probabilités. Il peut être calculé à différentes échelles temporelle et permet la détection et alerte à la sécheresse ainsi que la quantification de sa sévérité. Il est utilisé dans plusieurs pays et même recommandé par l'OMM.



Tendances des températures moyennes saisonnières au Maroc en hiver (haut-gauche), au printemps (bas-gauche), en été (haut-droite) et en automne (bas-droite)

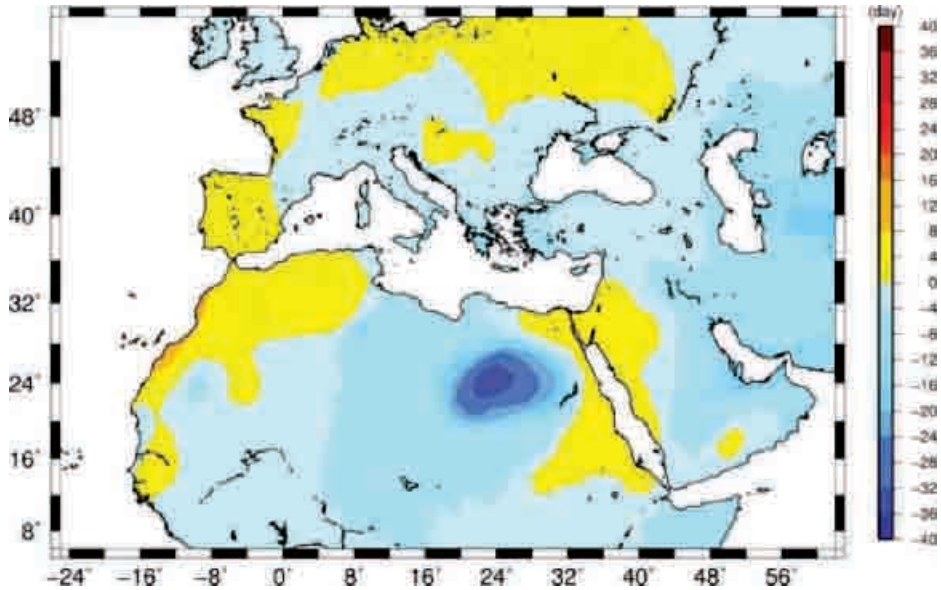


Evolution de la sécheresse au Maroc à travers l'indice de sécheresse SPI

Pour le futur, le Maroc est projeté connaître des changements climatiques additionnels qui intensifieraient l'évolution actuelle notamment sous le scénario d'émission RCP8.5. Sous ce scénario et selon le modèle dynamique ALADIN-Climat ⁴ (Radu et al., 2008;

4- Le modèle numérique ALADIN (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational) est un modèle bi-spectral à aire limitée. Historiquement, il a été développé depuis le début des années 90 au sein d'un large consortium regroupant de nombreux centres météorologiques en Europe et Afrique du nord (Maroc). ALADIN-Climat est l'un des modèles qui ont participé à l'exercice international CORDEX où il a été utilisé avec différents domaines (Méditerranée (Med-CORDEX), Europe (Euro-CORDEX), Afrique (CORDEX Africa) et Amérique du Nord (CORDEX North-America) et avec des résolutions. Il a aussi fait objet de différents travaux et études d'évaluations du climat et de ses évolutions.

Déqué et Somot, 2008; Farda et al., 2010; Nabat et al. 2014), il se réchaufferait de 1.2 à 2.4° à l'horizon 2050 (2036-2065) selon les régions et ses nombres de jours de vagues de chaleur augmenteraient de façon générale et particulièrement à l'est (+8 à +10 jours). Des réductions des cumuls pluviométriques annuels de 5 à 25% comparativement à la période 1971-2000 sont aussi projetées conjointement avec une augmentation de la sécheresse.



Changement futur, issu du modèle ALADIN-Climat, du nombre de jours consécutifs secs annuels à l'horizon 2050 sous le scénario RCP8.5

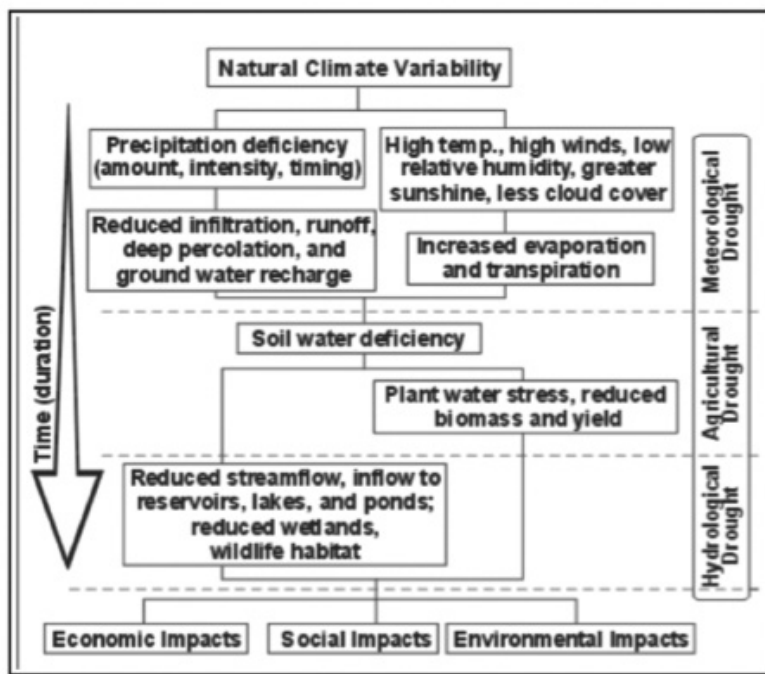
Le défi de la sécheresse :

A travers les temps, les phénomènes climatiques extrêmes tels que la sécheresse ont toujours constitué un défi et induits des contraintes et problèmes à anticiper, subir et surpasser par les humains. Avec son influence sur les ressources en eau, l'agriculture et la sécurité alimentaire en général, la sécheresse a focalisé un grand intérêt des communautés scientifiques, économiques, sociales et politiques. C'est un phénomène naturel à évolution lente et qui peut être dangereux de par les répercussions qu'il peut avoir sur les sociétés et l'environnement. Quel que soit le type de la sécheresse (météorologique, agricole, hydrologique) il convient de noter que son origine revient à un déficit ou insuffisance des précipitations par rapport aux valeurs prévues ou normales (WMO, 2006). L'augmentation des températures en est un facteur amplifiant.

La sécheresse a, certes toujours concerné différentes régions du monde comme le Maroc et différentes actions ont été menées dans le but de réduire ses effets, mais avec le changement climatique le caractère primordiale de tels actions et stratégies est maintenant révélés. Ceci vient à la fois des expériences déjà vécues et des menaces futures. Différentes études

d'évaluation d'impacts montrent les risques potentiels qu'engendrerait une réduction des quantités de précipitation et par là l'accentuation de la sécheresse. A titre d'exemple, l'étude menée conjointement par le Ministère de l'agriculture du Maroc, la Banque Mondiale et la FAO (Gomez et al., 2009) a fourni des estimations des réductions potentielles des rendements agricoles qu'enregistrerait le Maroc dans le futur selon les scénarios d'émissions. Soit des réductions de l'ordre de 17 à 25% à l'horizon 2050 dans le cas du blé dur à titre d'exemple. Elle a aussi mis en relief l'importance et l'apport de l'adaptation comme moyen de réduction de ces impacts. L'effet négatif sur les ressources en eau, dans le cadre du changement climatique, a aussi été évalué par différentes études (exemple : Driouech et al., 2010) ; IRD, 2016).

Les risques et impacts liés à la sécheresse font ainsi de la réduction de la vulnérabilité à ce phénomène des objectifs à atteindre à court, moyen et long terme usant de tous les moyens possibles et œuvrant sur tous les plans (planification, prévision, suivi, gestion, renforcement institutionnel, technologie, ...). Dans ce cadre, des outils d'aide à la gestion comme les systèmes d'alertes à la sécheresse intégrés constituent un maillon difficilement contournable. C'est un moyen reconnu d'adaptation au changement climatique qui doit bien évidemment être complétés par les autres mesures d'atténuation des effets de la sécheresse.



Succession des types de sécheresse communément acceptés et leurs impacts. (Source: Centre national de lutte contre la sécheresse, Université du Nebraska-Lincoln, États-Unis d'Amérique)

Bibliographie :

- Colin J, Déqué M, Radu R, Somot S (2010) Sensitivity study of heavy precipitation in limited area model climate simulations: influence of the size of the domain and the use of the spectral nudging technique. *Tellus* 62A:591-604.
- Déqué, M. and Somot S. (2008) Analysis of heavy precipitation for France using high resolution ALADIN RCM simulations. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* Vol. 112, No. 3-4, July-December 2008, pp. 179–190.
- Driouech F., Déqué M., Mokssit A. (2009) Numerical simulation of the probability distribution function of precipitation over Morocco, *Clim. Dyn.*, 32, 1055-1063. DOI 10.1007/s00382-008-04310-6.
- Driouech F. (2010): Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique : descente d'échelle et incertitudes, Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Fatima Driouech, Gil Mahe, Michel Deque, Claudine Dieulin, Tarik El Heirech, Marianne Milan, Abdelhamid Benabdelfadel, Nathalie Rouche (2010). Evaluation d'impacts potentiels de changements climatiques sur l'hydrologie du bassin versant de la Moulouya au Maroc. *Global Change : Facing Risks and Threats to Water Resources (Proc . of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco , October 2010) . IAHS Publ.* 340, 2010.
- Farda A., Déqué M., Somot S, Horanyi A, Spiridonov V, Toth H (2010) Model aladin as regional climate model for central and eastern europe. *Studia Geophysica et Geodaetica* 54:313–332. doi:10.1007/s11200-010-0017-7.
- IRD (2016) *The Mediterranean Region under Climate Change: A Scientific Update*. IRD Editions, Institut de recherche pour le Développement, Marseille, 2016.
- Nabat P., Somot S., Mallet M., Sevault F., Chiacchio M. and Wild M. 2010. Direct and semi-direct aerosol radiative effect on the Mediterranean climate variability using a coupled regional climate system model. *Clim Dyn* (2015) 44:1127–1155 DOI 10.1007/s00382-014-2205-6.
- Niang, I., O.C. Ruppel, M.A. Abdrabo, A. Essel, C. Lennard, J. Padgham, and P. Urquhart, 2014: Africa. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, 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. 1199-1265.
- Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, L.V. Alexander, S.K. Allen, N.L. Bindoff, F.-M. Breon, J.A. Church, U. Cubasch, S. Emori, P. Forster, P. Friedlingstein, N. Gillett, J.M. Gregory, D.L. Hartmann, E. Jansen, B. Kirtman, R. Knutti, K. Krishna Kumar, P. Lemke,

- J. Marotzke, V. Masson-Delmotte, G.A. Meehl, I.I. Mokhov, S. Piao, V. Ramaswamy, D. Randall, M. Rhein, M. Rojas, C. Sabine, D. Shindell, L.D. Talley, D.G. Vaughan et S.-P. Xie, 2013: Résumé technique. In: Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Stocker,T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley (dir. pub.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (NY), Etats-Unis d'Amérique.
- Peterson TC. 2005. Climate change indices. WMO Bulletin 54:83–86.
 - Carl-Friedrich Schleussner, Joeri Rogelj, Michiel Schaeffer, Tabea Lissner, Rachel Licker, Erich M. Fischer, Reto Knutti, Anders Levermann, Katja Frieler and William Hare (2016) Science and policy characteristics of the Paris Agreement temperature goal. Nature climate change. DOI: 10.1038/NCLIMATE3096.
 - WMO (2006) Suivi de la sécheresse et alerte précoce: principes, progrès et enjeux futurs (OMM-N° 1006).
 - Gommès R., El Hairech T., Rosillon D., Balaghi R., 2009. Impact of climate change on agricultural yields in Morocco. World Bank - Morocco study on the impact of climate change on the agricultural sector. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Roma, Italy. 105p.http://extftp.fao.org/SD/Reserved/Agromet/WB_FAO_morocco_CC_yield_impact/report/WB_Morocco_20091013.pdf.105p.
-
- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)
- Merci Mme DRIOUECH pour cette présentation riche en données marocaines pour un phénomène auquel, malheureusement, on commence à s'habituer.
- La parole est à la salle et on a le temps pour 3 ou 4 questions.

DISCUSSION

- **M. Karim HILMI** (Directeur de recherches à l'Institut National de Recherche Halieutique)

Merci M. le Directeur des Séances. Je remercie les deux collègues pour leurs excellentes présentations. Je poserai la question, principalement à Mme CAZENAVE, parce que dans sa présentation elle avait parlé des mesures marégraphiques classiques de 1900 à 1990 dont la tendance était de l'ordre 1.2-1.9. Avec l'utilisation de l'altimétrie, on se retrouve à 3.1 à partir de 1993. Pourquoi ce changement aussi brusque en un temps record (1990-1993)? Comment pouvez-vous expliquer cette différence en passant d'une moyenne de 1.9 à 3.1? Deuxième question toujours à Mme CAZENAVE : vous avez effectivement parlé du problème des données marégraphiques, comment on peut avoir recours à l'altimétrie pour faire face à ce manque de données marégraphiques? Merci.

- **Pr. Naima HAMMOUMI** (Université Mohammed V de Rabat et coordinatrice nationale du Réseau Marocain des Sciences et Ingénierie de la Mer)

Je tiens à remercier les deux conférencières pour la qualité de leurs présentations tellement riches en enseignements et j'aurais une question pour Mme Cazenave. J'aimerais savoir pourquoi les informations et les résultats obtenus des études des archives géologiques des glaciations anciennes, et j'entends par là uniquement la glaciation quaternaire, ne sont pas utilisées dans la modélisation de la prévision des climats? A titre d'exemple, au Maroc, nous avons des séries géologiques qui se sont développées durant la glaciation ordovicienne qui s'étendent depuis la région de Benslimane jusque dans l'Anti-Atlas. Les études sur des témoins de ce climat glaciaire nous ont permis d'établir une courbe statique qui montre des variations du niveau marin, qui sont en relation avec les phases de retraits et d'avancées des glaciers. Ces phases concordent également avec la dynamique qui s'est passée au cours de la glaciation quaternaire. Je vous remercie.

- **Pr. Mohammed ZENNOUN** (Ecole Hassania des Travaux Publics, Casablanca)

Comme nous avons tous vu que toutes les projections indiquent des impacts très négatifs sur la région méditerranéenne et notamment sur notre pays le Maroc. Tous les modèles confirment l'augmentation de température à des degrés plus ou moins importants, la baisse des précipitations, la remontée des niveaux des mers, la dégradation de la qualité des eaux, etc. C'est une situation vraiment très difficile pour le Maroc. Tout cela est constaté depuis au moins trois décennies. Depuis le début des années 80, nous avons enregistré une baisse du potentiel des ressources en eau du Maroc d'environ 30%. Auparavant, on parlait de 30 milliards de m³ de potentiel de ressources en eaux, maintenant on parle de 22 MM m³. Dans les années 60 on avait un capital d'eau par habitant/an d'environ 2600 m³, actuellement on est à 700 m³. La projection que nous avons effectuée indique que nous allons atteindre un seuil de 500 m³/habitant/an dans une dizaine d'années.

La baisse des pressions dans les nappes en charge, due à la surexploitation et conséquence de la baisse des précipitations, induit des problèmes d'instabilité pour les bâtiments. Pour les nappes côtières, c'est aussi l'objet de ma discussion, le phénomène d'infiltration des eaux salées ou l'invasion des aquifères côtiers par les eaux marines est bien répandu au Maroc. Plusieurs nappes ont été envahies sur une distance plus ou moins importante et ainsi on perd des ressources en eau surtout que le phénomène va s'accroître.

Je saisis l'occasion pour lancer un appel, puisque l'économie marocaine dépend beaucoup de l'agriculture et donc de l'eau, pour encourager et renforcer les efforts de recherche sur l'impact des changements climatiques et chercher des solutions innovantes d'adaptation pour la préservation des ressources en eau destinées à l'usage agricole. Je vous remercie.

- Pr. Abdelkrim FILALI-MALTOUF (CSTV)

Merci M. le Directeur des Séances. Je rends hommage et je félicite les deux conférencières pour leurs présentations très riches, et je voudrais m'adresser à ma compatriote Mme DRIOUCH. Vous vous êtes adressée aux chercheurs universitaires en leur demandant de publier, je partage tout à fait votre point de vue. Aussi voudrais-je prendre la défense de ces universitaires. Vos données climatiques sont très importantes et donc aussi pour la programmation de recherches, que ce soit pour l'améliorateur généticien des végétaux ou quelqu'un qui s'intéresse aux aspects épidémiologiques ou impacts sur la santé. Quand on veut chercher ces données pour programmer une recherche, on n'a pas d'accessibilité. Je voudrais savoir comment faire pour que, concrètement, le chercheur universitaire n'ait pas recours à des amis pour avoir quelques bribes d'informations mais plutôt avoir cette disponibilité à ces données très intéressantes? Merci.

- Pr. Anny CAZENAVE (Académie des Sciences de France)

Je vais répondre aux trois premières questions parce que je pense que les ressources en eau concernent ma collègue.

La première question a trait au changement brusque depuis les années 90. Il ne s'agit pas du tout d'une rupture dans la courbe mais plutôt d'une manière de présenter qui était maladroite. C'est un changement graduel, et si on regardait, par exemple les 25 ans précédents, on aura des estimations de la hausse des niveaux des mers qui seront de plus en plus faibles. Ce qu'on peut dire aussi c'est qu'il y a un accord entre les données marégraphiques et les estimations des satellites altimétriques. Ce n'est pas le changement technique des mesures qui est responsable de cela, c'est vraiment une accélération graduelle de la hausse de la mer. Ce qui est dommage, c'est que, malheureusement, avant les années 90, on ne dispose que de ces données marégraphiques qui peuvent être très précises en elles-mêmes mais dont la couverture est insuffisante.

La deuxième question : pour pallier à ce manque de données marégraphiques dans certaines zones du globe, est-ce qu'on pouvait utiliser l'altimétrie? L'altimétrie a été conçue pour avoir cette vision globale, mais on fait aussi des études régionales.

Malheureusement lorsqu'on arrive près des côtes, les données sont de qualité médiocre. La réponse à ce problème c'est que le satellite émet à faisceau radar vers le navire et la taille faisceau radar est de plusieurs kilomètres. Lorsqu'on arrive près des côtes, on a des réflexions parasites des terres immergées qui nous handicapent pour interpréter le signal lié à la mer. Aujourd'hui, il y a beaucoup de travaux pour essayer de pallier ce problème et d'aller aussi près qu'on peut des côtes. Avec l'altimétrie classique, on va jusqu'à peu près 20 km des côtes, et aujourd'hui on est capable avec des retraitements particuliers d'aller jusqu'à moins de 5 km des côtes. C'est un énorme progrès, et puis il y a de nouveaux satellites qui équipent de nouveaux types de radars, notamment des satellites de l'Agence Spatiale Européenne comme CryoSat, qui sont basés sur une technologie différente et qui permettent d'aller vraiment très près des côtes. Ces satellites ont été lancés récemment, CryoSat a été lancé en 2010, mais il y a beaucoup d'espoirs pour utiliser l'altimétrie aussi près que possible de la côte et donc avoir cette information qu'on n'a pas aujourd'hui.

Pour la troisième question, qui a trait à l'utilisation des informations paléo-climatiques sur les glaciations passées pour comprendre des modèles de climat, je suis désolée de ne pas pouvoir répondre. Je pense que c'est une question qui s'adressera à Valérie MASSON-DELMOTTE.

- **Mme Fatima DRIOUCH** (Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca)

Par rapport aux deux dernières questions, il y a des études qui montrent qu'il y a des impacts qui sont négatifs avec des amplitudes bien sûr variables, mais il y a aussi l'aspect interprétation et le Maroc a accompli des efforts dans ce domaine et c'est sûr qu'il en fera davantage dans le futur. D'ailleurs le changement climatique montre une certaine intensification, mais je sais qu'il y a des études sur les ressources en eau, sur l'agriculture et sur les zones côtières

Merci.

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

Pour répondre à Mme CAZENAVE, il y a bien sûr des marégraphes sur les côtes marocaines, en particulier près des ports. L'Agence Nationale des Ports détient des données historiques qui remontent à très loin et qui sont essentielles pour la construction des ports.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Il me reste à remercier nos conférencières. J'ai juste une information concernant l'organisation du reste de la journée. Je viens d'apprendre que, malheureusement, le Pr. Daniel NAHON ne pourra pas être parmi tout à l'heure en raison de contraintes familiales majeures et il a offert de nous délivrer sa présentation par visioconférence. Merci de votre compréhension.

Séance III

**THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE DES
OCÉANS ET IMPACTS SUR LES RESSOURCES**

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Nous allons écouter les premiers conférenciers avant de nouer contact avec le Pr. Daniel NAHON. Ensuite, ce sera le tour de M. Abdelmalek FARAJ et du Pr. ASSOBBHEI de faire leurs exposés et on laissera la discussion de l'ensemble des présentations à la fin de la séance.

Nous commençons cette séance sur «**Thermodynamique et chimie des océans et impacts sur les ressources**» et je donne tout de suite la parole au Pr. Laurent BOPP de l'Institut Pierre Simon LAPLACE (Paris, France) pour nous parler de «**Le puits de carbon océanique, aujourd'hui et demain – ce que nous savons et ce que nous ne savons pas**».

LE Puits DE CARBONE OCEANIQUE, AUJOURD'HUI ET DEMAIN : CE QUE NOUS SAVONS ET CE QUE NOUS NE SAVONS PAS

Laurent BOPP

*Directeur de Recherche au CNRS
Professeur Attaché à l'Ecole Normale Supérieure
Institut Pierre Simon Laplace, Guyancourt, France*



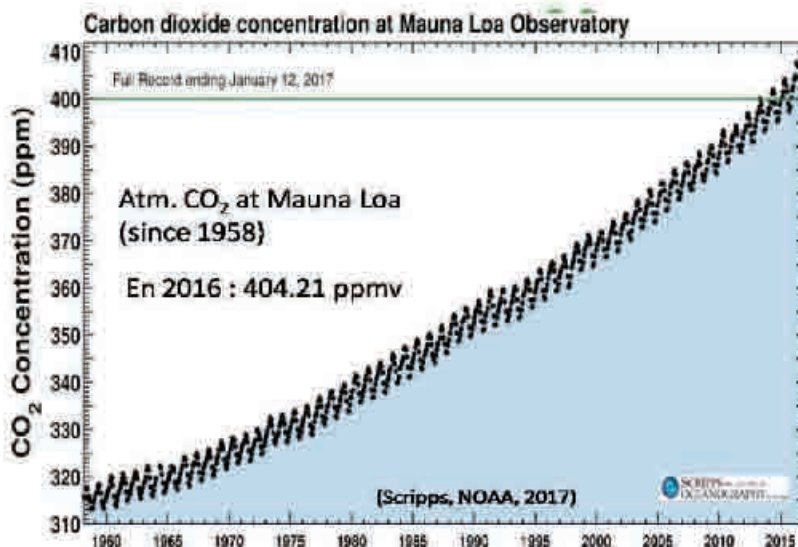
Monsieur le Directeur des Séances,

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

Mesdames et messieurs les académiciens,

Chers collègues,

Invité ici aujourd'hui, c'est un grand honneur que de pouvoir m'adresser à vous. Je vais revenir sur une des notions dont nous avons déjà commencé à parler, celle du rôle crucial joué par l'océan dans le système climatique grâce à sa capacité à absorber une part importante du carbone que nous émettons.



Courbe de Keeling : +30% depuis 1958.

(Source : Scripps, NOAA, 2017)

Charles Keeling a le premier mis en place cette station de mesure à Mauna Loa sur l'archipel d'Hawaï depuis la fin des années 50. C'est la plus longue série temporelle du CO₂ atmosphérique dont nous disposons : elle démarre en 1958 et va ici jusqu'au début 2017. Elle dénote une croissance importante de cette concentration dans l'atmosphère, de 315 ppmv (parties par million en volume) à la fin des années 50 pour atteindre 405 ppmv en 2016. Cette courbe, qui paraît toute simple, cache en fait une importante complexité - et il faudra faire intervenir l'océan et les échanges de CO₂ entre atmosphère et océan pour «décoder» cette courbe, je vais vous le montrer par la suite.

On s'intéresse au CO₂ dans l'atmosphère pour plusieurs raisons qui ont été largement discutées par nos collègues. On s'intéresse d'abord au CO₂ parce que c'est le premier agent du changement climatique - on ne pourra régler le problème du changement climatique sans s'attaquer aux émissions de CO₂. Mais on s'intéresse aussi au CO₂ atmosphérique parce qu'il est responsable de l'acidification des océans – nous reviendrons sur cette notion.

Pour mieux aborder ces deux problématiques liées au CO₂, nous avons besoin d'établir un bilan de carbone et d'évoquer le rôle des deux principaux puits de carbone : continental et océanique. Les émissions anthropiques sont responsables de l'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère, mais nous devons tenir compte de deux acteurs qui sont très importants :

La végétation continentale responsable du puits de carbone terrestre : en deux mots, quand le CO₂ augmente, les écosystèmes continentaux absorbent du carbone par effet de fertilisation de la photosynthèse.

L'océan responsable du puits océanique : quand le CO_2 est en excès dans l'atmosphère, une partie est absorbée par l'océan par un processus purement chimique de dissolution dans l'eau de mer de cet excès de CO_2 .

L'équation sur laquelle nous allons partir aujourd'hui s'exprime ainsi :

$$\text{DCO}_2 = \text{Emissions} - \text{F}_{\text{ocean}} - \text{F}_{\text{land}}$$

L'augmentation du CO_2 dans l'atmosphère (DCO_2) s'explique par les émissions de carbone anthropique (Emissions), auxquelles il faut retrancher les puits océanique et continental.

Des méthodes pour boucler le bilan de carbone

Pour parvenir à estimer les termes de ce bilan, plusieurs méthodes ont été proposées au cours des dernières années.

Les émissions anthropiques sont connues avec une assez grande précision. Les consommations énergétiques dans chacun des pays, bien connues, sont converties en quantités de CO_2 émises. L'augmentation du CO_2 dans l'atmosphère est également bien connue – c'est ce que nous montre la courbe de Keeling discutée précédemment. Il reste à déterminer l'absorption par les deux puits océanique et terrestre, donc résoudre l'équation précédente à deux inconnues.

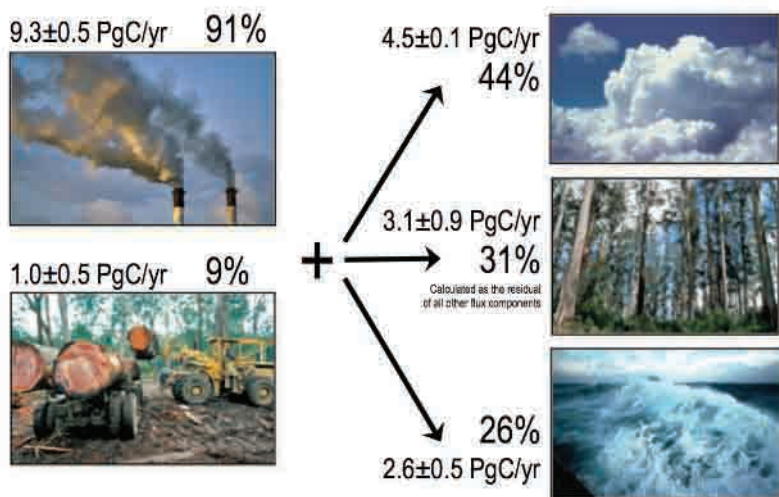
Pour ce faire, une méthode élégante proposée au début des années 90, propose d'utiliser le couple O_2 / CO_2 pour distinguer les puits océanique et continentaux de carbone. Il y a effectivement un lien très étroit entre le cycle de carbone et celui de l'oxygène, ce qui va nous permettre d'utiliser la mesure de la concentration du di-oxygène dans l'atmosphère pour séparer le puits de carbone vers l'océan du puits de carbone vers la biosphère continentale.

Sur la période 2006-2015, les termes obtenus nous permettent de montrer que 91% des émissions anthropiques proviennent de la combustion des réserves fossiles et 9% proviennent des activités de déforestation. Le devenir de ces émissions est le suivant :

44% s'accumulent dans l'atmosphère,

31% sont absorbées par la biosphère continentale,

et 26% par l'océan.



Source: CDIAC; NOAA-ESRL; Houghton et al 2012; Giglio et al 2013; Le Quéré et al 2016; Global Carbon Budget 2016

Budget global de carbone.

L'incertitude forte sur l'estimation du puits continental est liée à notre difficulté à évaluer proprement le terme de déforestation.

Je reviens maintenant sur certains des chiffres que le Pr. Duarte nous a présentés hier après-midi : pour la décennie 2006-2015, ce bilan nous ont permis de montrer que 2,6 milliards de tonnes de carbone par an sont absorbées par l'océan. Cela représente à peu près 26% de toutes les émissions anthropiques de carbone. Donc l'océan est un acteur significatif dans le bilan de carbone dressé précédemment. Quand on intègre cette absorption de carbone sur toute la période dite historique depuis la perturbation par les émissions anthropiques, depuis 1750, l'absorption cumulée de carbone avoisinerait 155 milliards de tonnes. Cette quantité est très proche du tiers des émissions anthropiques cumulées sur la même période.

Maintenant, si nous voulons comprendre l'évolution à venir de ce puits de carbone, il faut se pencher sur les mécanismes à l'origine de ce puits.

Mécanisme et régions qui contribuent à l'augmentation d'absorption du CO₂ par l'océan

Le mécanisme de 1^{er} ordre est un mécanisme très simple : il est lié au déséquilibre des pressions partielles de CO₂ de part et d'autre de l'interface air-mer. Un CO₂ qui augmente plus vite dans l'atmosphère que dans la couche de surface océanique va conduire à un flux net de CO₂ de l'atmosphère vers l'océan

Les deux régions qui contribuent le plus à l'absorption de CO_2 par l'océan sont l'Atlantique nord et de l'océan austral qui tous deux sont responsables de plus de la moitié du puits de carbone océanique. Ce sont les régions où l'océan de surface est en connexion avec l'océan profond. Le carbone en excès au niveau de l'interface air-mer va être transféré, par advection, vers la couche profonde sans saturer cette couche de surface de l'océan qui est finalement limitante pour la capacité de l'océan à absorber du carbone.

Les océanographes s'intéressent à la façon dont le CO_2 , non seulement, passe de l'atmosphère vers l'océan de surface mais ensuite à la façon dont ce CO_2 va passer l'océan de surface à l'océan profond. C'est cela le principal élément limitant dans l'absorption de carbone par l'océan.

La côte ouest-africaine est une région très dynamique où on observe une absorption relativement élevée de carbone anthropique.

Evolution sur les prochaines décennies

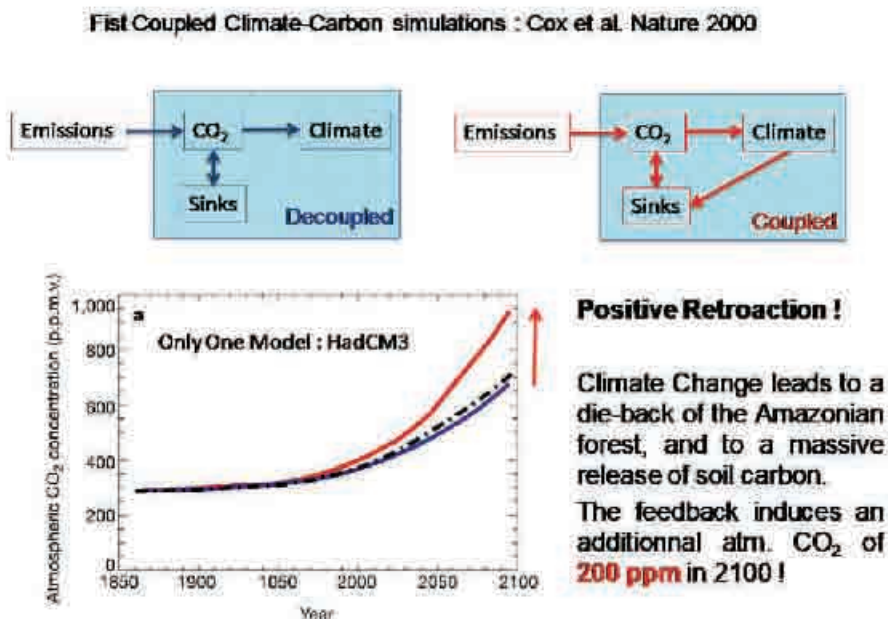
On a une connaissance relativement complète du bilan et des estimations que je viens d'évoquer. Pour les prochaines décennies, nous avons quelques certitudes mais encore beaucoup de questions dont je vais exposer ici la teneur.

Jusqu'à 2100, on a pu tester avec des modèles de climat l'évolution du puits de carbone océanique en réponse à différents scénarios climatiques. L'océan va continuer à absorber du carbone de façon très différente entre les différents scénarios mais la principale information, c'est que ce puits de carbone augmente parce que le CO_2 continue à augmenter dans la plupart des scénarios.

Il y a un deuxième effet dont il faut tenir compte, c'est le fait que le changement climatique va perturber la capacité de l'océan à absorber du carbone. Il y a lieu de mentionner que dans un océan plus chaud la solubilité du gaz est plus faible et donc l'efficacité ou la capacité de l'océan à absorber du carbone est évidemment amoindrie. Par conséquent, il faut tenir compte de ces effets là quand on veut projeter l'évolution du carbone océanique (la réponse de l'océan, du climat aux émissions de carbone anthropique).

Les projections futures du cycle de carbone font intervenir, en plus de l'augmentation du CO_2 atmosphérique et de l'absorption de l'excès de CO_2 par les puits terrestre et océanique, ce qu'on appelle la rétroaction climat. Le CO_2 atmosphérique perturbe le climat, et les puits de carbone (terrestre et océanique) sont sensibles à ce changement climatique. Il en résulte une boucle de rétroaction positive qui va conduire à une amplification du réchauffement : puisque le CO_2 atmosphérique augmente, le climat change et parce que le climat change les puits de carbone à la fois dans la biosphère continentale et dans l'océan sont moins efficaces et donc le CO_2 augmente plus vite que si on ne tient pas compte de ce changement climatique.

Cette rétroaction positive est étudiée à l'aide de modèles climatiques couplant océan et atmosphère et des modèles représentant le cycle du carbone dans l'océan et dans la biosphère continentale.



Modèles d'étude de la rétroaction positive.

En effet, on commence à introduire, dans des modèles qui sont basés sur des principes physiques, et discutés ce matin par Valérie Masson-Delmotte, des processus chimiques et biologiques ! Côté continental, il faut représenter les différents types de végétation, leur croissance, le carbone qui va être stocké dans le sol, la respiration des organismes du sol et qui vont relarguer une partie du CO₂ sous forme gazeuse dans l'atmosphère. Dans l'océan, nous avons besoin non seulement de tenir compte des courants océaniques, de la chimie du carbone mais aussi de la biologie, du phytoplancton et du zooplancton.

Je voudrais, avant de revenir au puits de carbone océanique, maintenant mentionner ce papier assez célèbre, publié dans Nature en 2000 par Peter Cox et collaborateurs, dans lequel les auteurs ont essayé de quantifier et d'estimer le rôle de cette rétroaction climat-carbone dans l'évolution future du CO₂ atmosphérique. La façon dont ont été faites les projections climatiques auparavant était assez simpliste, on partait du principe qu'un pourcentage assez constant du CO₂ émis par l'homme s'accumulait dans l'atmosphère sans tenir compte des rétroactions potentielles. Ce que montre l'équipe de P. Cox c'est que si vous tenez compte de la rétroaction climat-carbone, l'effet du changement climatique sur le puits de carbone se traduit par une augmentation très rapide de CO₂ dans

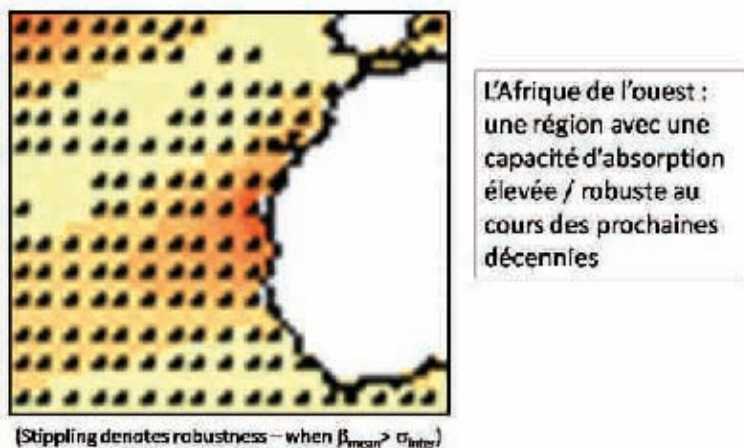
l'atmosphère (de 200 ppm de plus en 2100 si on ne tient pas compte de cette rétroaction climat-carbone). La réponse très spécifique de ce modèle, utilisé au début des années 2000, était lié au comportement de la biosphère continentale. Avec le changement climatique, la forêt amazonienne disparaissait et se mettait à libérer une grande partie de carbone stocké dans le sol. Evidemment si on ne tient pas compte de la rétroaction climat-carbone, on peut se tromper très lourdement sur notre estimation de l'évolution du CO_2 dans l'atmosphère.

Rétroaction géochimique

Au cours des prochaines décennies, les régions de l'Atlantique nord et l'océan austral vont continuer à absorber le plus de carbone, et ça c'est un fait sur lequel tous les modèles s'accordent. De même la zone de l'Afrique de l'ouest, qui est une zone d'upwelling, va absorber plus de carbone en raison de la remontée constante des eaux de l'océan profond qui sont pauvres en carbone anthropique.

Réponse géochimique très robuste à l'échelle régionale

(Roy et al. 2011, Ciais et al. 2013)

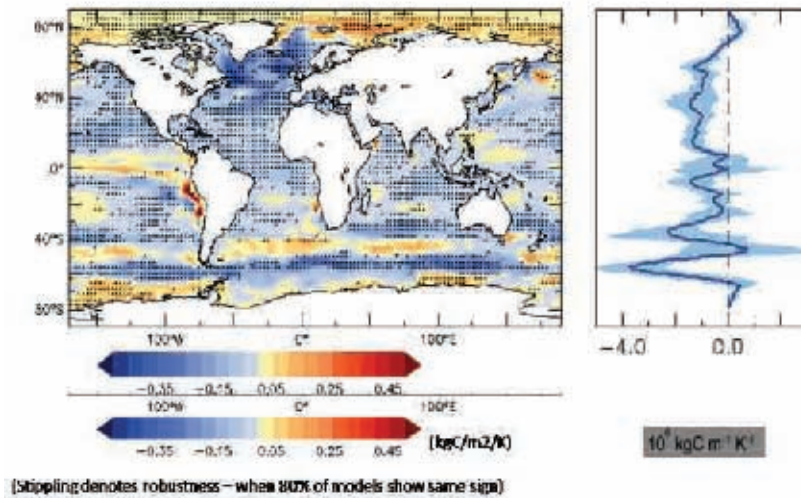


Rétroaction géochimique (dissolution de l'excès de CO_2)

Avec le changement climatique, l'océan de surface devient plus chaud et plutôt dans les zones tempérées devient moins salé, et donc moins dense au cours des prochaines décennies. On s'attend à une augmentation de la stratification et à une baisse de mélange entre l'océan de surface et l'océan profond. Cette augmentation de la stratification océanique va être responsable d'une moins bonne capacité de l'océan à capter du carbone anthropique parce que tout le carbone stocké en surface va être transféré moins facilement vers l'océan profond.

Effet négatif du climat (réduction de l'intensité d'absorption) Processus en jeu : réchauffement & stratification

(Roy et al. 2011, Ciais et al. 2013)



Rétroaction du climat sur le puits de carbone océanique.

La façon dont va évoluer la zone d'upwelling, au large du Royaume du Maroc, et sa capacité à absorber du carbone anthropique est très incertaine. C'est une zone où les modèles ne sont pas concordants, on ne sait pas si le changement climatique va favoriser ou ralentir l'absorption de carbone.

Le puits de carbone océanique: points manquants ou inconnues

Dans ce que je viens de vous décrire :

un puits de carbone assez bien quantifié : incertitude relativement faible.

des zones d'absorption bien identifiées : Atlantique nord et océan austral.

des processus assez simplistes : un déséquilibre partiel de part et d'autre de l'interface air-mer.

une évolution très complexe dans le futur en réponse à la fois à l'augmentation de CO_2 et au changement climatique.

Ce que je vais essayer de vous démontrer maintenant c'est qu'il y a beaucoup d'éléments que nous n'avons pas encore compris et des thématiques sur lesquelles nous avons besoin de travailler au cours des prochaines décennies pour affiner nos projections du cycle de carbone dans le futur.

Ainsi, je vais parler de trois points :

le continuum terre-mer

la variabilité décennale

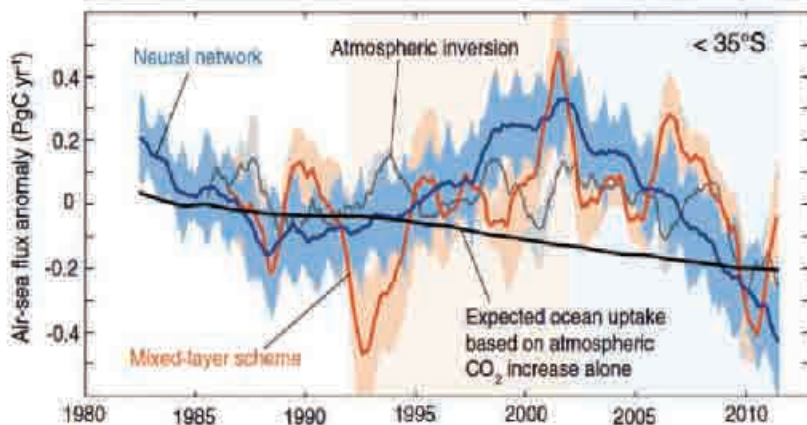
la biologie de l'océan et les ratios stœchiométriques de la matière organique

Le continuum terre-mer : dans le bilan très simple de carbone présenté en introduction de cette présentation, on parlait des émissions anthropiques (fossiles et déforestation), la partie qui s'accumule dans l'atmosphère et puis le carbone absorbé par l'océan ouvert et le carbone absorbé par les écosystèmes terrestres dits intacts ou naturels. Nous voyons bien quand on réalise ce schéma très simple que nous oublions une zone très dynamique et très importante dans le cycle du carbone, c'est la zone côtière (qui est chère à Carlos Duarte). Cette zone côtière représente le lien entre la partie continentale et la partie terrestre; elle est très mal représentée par les modèles climatiques à cause de leur résolution spatiale très grossière. On commence donc à s'intéresser à cette zone côtière, à essayer de comprendre le transport de carbone des systèmes continentaux vers les systèmes océaniques dans les estuaires, dans les deltas. L'évolution de ce carbone sous différentes formes dans la zone côtière, l'importance de la végétation côtière, des mangroves par exemple, va induire des modifications de cet océan côtier qui, si elles sont importantes, vont jouer sur les systèmes de carbone au cours des prochaines décennies. En tous cas ce sont des thématiques sur lesquelles il faut qu'on avance.

La variabilité décennale : on s'est aperçu récemment que les flux de carbone à l'interface air-mer montraient des variations décennales très importantes. Il y a plusieurs publications qui ont illustré ce fait au cours des dernières années, en particulier pour l'océan Austral (au sud de 35°S).

**Reinvigoration of the Southern Ocean Carbon Sink since 2002
(based on surface ocean CO₂ observations) (Landschützer et al. 2015)**

Ocean Carbon Sink more variable than previously thought.



Variation décennale du puits de carbone océanique au niveau dans l'océan austral.

En 2010, on s'est rendu compte que le puits océanique dans l'océan austral avait stagné entre 1990 et le début des années 2000. Cette découverte a fait l'objet d'un certain nombre de publications dans bon nombre de revues prestigieuses (Science et Nature).. Depuis le milieu des années 2000-2005, on a l'impression que le puits océanique dans l'océan austral re-démarre, ré-augmente. Il est essentiel pour comprendre le système climat-carbone, d'obtenir des séries temporelles longues pour caractériser cette variation décennale. Cela veut aussi dire que pour être capable de projeter l'évolution de CO₂ dans l'atmosphère en fonction de scénarios d'émission (pour 2020, 2030, 2040), il faut estimer précisément la quantité de carbone que l'océan a stocké et comprendre cette variabilité naturelle. Là, dans l'océan austral, cette variabilité est liée à des déplacements des vents et des courants marins qui modulent l'efficacité de l'océan à absorber ce carbone anthropique.

- Biologie marine et ratios stœchiométriques de la matière organique : tous les modèles qui nous permettent de projeter l'évolution du puits de carbone dans l'océan sont construits à partir de ce qu'on sait de la physique et de la chimie de l'océan, mais aussi de ce qu'on sait de la biologie de l'océan, mais ils sont construits sur des hypothèses très simples. Le phytoplancton utilise du carbone dissous dans l'eau pour fabriquer de la matière organique, et utilise en parallèle du phosphore et de l'azote mais à des ratios constants; c'est ce qu'on appelle en océanographie les ratios de Redfield qui sont basés sur cet axiome : pour chaque mole de carbone fixée par le phytoplancton la même quantité d'azote et de phosphore serait aussi fixée par le phytoplancton.

	C	N	P
Zooplancton	103	16.5	1
Phytoplancton	108	15.6	1
Moyenne	106	16	1

Ratios atomiques des principaux éléments présents dans le plancton (Redfield, 1963)

Nous sommes en train de nous rendre compte que ces rapports entre carbone-azote et carbone-phosphore sont très variables dans l'océan, que le phytoplancton est vraisemblablement beaucoup plus «plastique» que ce que l'on imaginait et qu'il va falloir tenir compte de cette physiologie complexe du plancton dans l'océan pour affiner nos projections climatiques.

Conclusions et implications

Il y a une relation quasi-linéaire entre les émissions cumulées de CO_2 et l'augmentation de température de l'océan. Cette relation linéaire nous permet assez facilement de passer de l'objectif de 2°C (objectif de Paris) à une limite sur les émissions de carbone. Il y a ici beaucoup d'incertitudes. Pour 2°C , on ne sait pas si la limite des émissions cumulées de CO_2 serait autour de 2000 milliards de tonnes ou bien autour de 4000 milliards de tonnes de CO_2 .

Parmi les processus responsables de l'incertitude beaucoup sont liés à notre représentation du cycle de carbone.

Si on veut stabiliser le climat autour de 2°C par rapport aux températures préindustrielles, il faudra pour cela stabiliser le CO_2 dans l'atmosphère et donc réduire les émissions jusqu'à ce qu'elles deviennent nulles voire négatives.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci Pr. Laurent BOPP de cette présentation, on reviendra certainement à la fin de la séance sur ce cycle de carbone et je donne la parole au Pr. David OSBORN (Laboratoire de l'environnement, AIEA) qui va nous parler du «changement de la chimie et de la température des océans et leurs impacts sur la biodiversité marine».

CHANGEMENT DE LA CHIMIE ET DE LA TEMPÉRATURE DES OCÉANS ET LEURS IMPACTS SUR LA BIODIVERSITÉ MARINE

David OSBORN

*Directeur, Laboratoires de l'environnement de l'AIEA,
Principauté de Monaco*



Abstract :

The impacts on coastal and marine ecosystems stemming from increased atmospheric concentrations of carbon dioxide go well beyond higher temperatures and rising sea levels. Stratification, the expansion of oxygen minimum zones, coastal eutrophication and ocean acidification all combine with rising temperatures to threaten the biodiversity of complex ecosystems and the services they provide. Coastal upwelling systems, such as the system off the coast of Mauritania and the Southern Province of Morocco, are hot spots for these cumulative pressures.

The International Atomic Energy Agency, through its Environment Laboratories in Monaco, uses nuclear applications for targeted observations and is leading global efforts to improve our understanding of how marine species respond to changes in temperature and ocean acidification – the other CO₂ problem.

Despite the large body of scientific information about ocean acidification rapidly generated in recent years, there are still many knowledge gaps. These include the potential modulating role of evolution and ecological interactions as well as the interaction between multiple global and local stressors. Understanding the effect of ocean

acidification on marine ecosystems requires the combination of different approaches and disciplines, including observational, experimental, palaeo and modelling studies – linking interactions that are physico-chemical, physiological/behavioural, genetic, ecological, biogeochemical and socio-economic. Importantly, if we are to truly understand this problem, and accurately predict its impacts, the scientific community must increasingly move from research focused on single species, single drivers and short time frames, to ecosystem scale research looking at multiple drivers over longer time frames.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Thank you very much Prof. OSBORN for this interesting talk.

On prend une pause et on se retrouve à 16h45.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Je donne la parole maintenant à M. Abdelmalek FARAJ, Directeur Général de l'Institut National de Recherche Halieutique à Casablanca.

OCEAN AS PROVIDER OF FOOD: BUILDING A GLOBAL APPROACH FOR SUSTAINABLE FISHERIES AND AQUACULTURE IN THE CONTEXT OF THE CLIMATE CHANGE, THE BLUE BELT INITIATIVE

Abdelmalek FARAJ

*Directeur Général, Institut National de Recherches
Halieutiques, Casablanca, Maroc*



Abstract :

The ocean covers two thirds of our planet and provides many ecosystem services to humans (Oxygen, Food, Drugs, Transport, Energy etc.). Among these services, fisheries and aquaculture sector is crucial to preserve for the world food security: more than 3.5 billion people depend on the ocean for their primary source of food. In 20 years, this number could double to 7 billion.

However, the combined effects of climate change (acidification, rising temperatures etc.) and polluting and/or extractive activities are increasingly affecting the ocean health that the deterioration accelerates for many decades. We have seen a 26% rise in ocean acidification since the beginning of the industrial revolution.

Despite its key role in the global climate machinery and its sensitivity to the impacts of climate change, the ocean had until recently very little attention in global climate change policy and has been relatively absent from discussions on climate change. During the CoP21 in Paris, a real awareness has emerged on the fate of the climate could not be discussed without the ocean and in particular on the importance of protecting the oceans for climate resilience. In other words, the fight against climate change makes no sense without the oceans, knowing that climate change is a major driver of ocean change. The common urgent need of an action for climate and oceans, have led Morocco with many

other partners as UN's Food and Agriculture Organization (FAO), to propose during the CoP22 in Marrakech, the Blue Belt Initiative (BBI), where fisheries and aquaculture can become a factor of sustainability based on the models of the green economy and the Blue economy. The BBI is stemmed from the Blue Growth concept, launched by the FAO in 2013 that aim at building the resilience of coastal communities and promoting sustainable fisheries and aquaculture in keeping with Sustainable Development Goal number 14 (SDG14) expectations.

The BBI target the Coastal areas and exclusive economic zones where concentrate the bulk of the fishery and aquaculture activities and are responsible for more than 85% of world catches and as one of the most sensitive ocean areas to climate change.

The BBI is built on priority solutions for adaptation in the fisheries and aquaculture sectors, which could contribute to mitigating climate change, as part of a global roadmap for the fight against the climate change and more specifically for the resilience of the oceans. To promote research and scientific knowledge, it will support the emergence of integrated coastal observing systems and their integration at the World level. In the current context of the degradation of fish stocks, the goal is to produce more by fishing less while protecting more. It will therefore be to encourage initiatives to promote sustainable fishing and for the enhancement of the ecosystem to consumer. And finally, knowing the many interactions between aquaculture, ecosystem and fisheries, to continue the growth of sustainable aquaculture, it will foster the emergence of sustainable aquaculture and seaweed farming in particular.

A collaborative platform is proposed for better integration of these fisheries sector smart climate actions in the priorities of the National Determined Contributions (NDCs) but also to support the implementation of solutions based on the necessary link and integration of all the components: research, innovation, expertise, state institutions, financial institutions and execution agencies.

The Blue Belt Initiative is meant to support other initiatives launched across Africa and the world to bolster the fisheries sector as a driver for growth, while enhancing resilience to climate change through collective effort. In this presentation, we will focus on presenting the initiative main objectives and we will discuss the potential implementation scenarios.

Key words: Blue Belt Initiative, Coastal, Fisheries, Aquaculture, Sustainable Development, Climate Change, Resilience, Blue Growth Initiative, Integrated Observing System, Monitoring, Algoculture.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci M. Abdelmalek FARAJ pour cette présentation qui nous a permis de classer la pêche comme activité principale de notre économie et, surtout, vous avez fait des propositions de faire contribuer cette activité au développement durable de notre pays.

DISCUSSION

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Nous ouvrons maintenant la discussion pour les trois présentations de Laurent BOPP, David OSBORN et Abdelmalek FARAJ.

- **Pr. Naima HAMMOUMI** (Université Mohammed V de Rabat et coordinatrice nationale du Réseau Marocain des Sciences et Ingénierie de la Mer)

Merci M. le Directeur des Séances. Je voudrais saisir l'occasion de cette session dédiée aux ressources vivantes pour attirer l'attention sur une biodiversité marine qui est gravement menacée par le réchauffement climatique et suis d'autant plus encouragée que M. Chafik a souligné l'intérêt des aires marines protégées. La mise en évidence de coraux d'eau froide constitue l'une des découvertes les plus marquantes de ces dernières décennies. Les marges marocaines de l'Atlantique, du détroit de Gibraltar et de la méditerranée font partie des zones biogéographiques, à coraux d'eau froide, répertoriées à travers le monde. Malheureusement, ces provinces de coraux ne sont connues que par quelques rares scientifiques qui travaillent dessus.

Les études que nous avons menées sur ces coraux dans le cadre du projet de liaison fixe pour les coraux qui se développent dans le détroit de Gibraltar, dans les années 90, et dans le cadre de programmes internationaux pour la marge atlantique (à partir de 2003) et la marge méditerranéenne (à partir de 2006), ont montré que ces coraux se sont mis en place durant la dernière phase glaciaire quaternaire et que leur évolution a été contrôlée par les variations en relation avec les avancées et le retrait des glaciers. Actuellement, la température des marges océaniques marocaines reste dans les seuils limites de 4°C à 13°C vitaux à la majorité des espèces de coraux. Toute augmentation de cette température donc intolérable pour ces organismes. Par ailleurs, selon les spécialistes l'augmentation de température de 3°C va tripler leur appétit et va donc entraîner leur mort si la nourriture est insuffisante. L'acidité océanique va induire une dégradation de leur squelette.

Face, donc, au réchauffement climatique, il se pose la question de la survie de ces provinces de coraux et ce d'autant plus que leur croissance est très lente (4 à 25 mm par an) et que leur disparition aurait des conséquences très graves sur la biodiversité, car ils servent de substrat de refuge et de nourriture à une faune diversifiée de vertébrés et de poissons. D'ailleurs, ces niches écologiques sont appelées, à juste titre, les oasis des océans. Il est donc vivement recommandé d'adopter une réglementation pour leur protection ou comme cela a été fait dans de nombreux pays (la Norvège, les Etats Unis, le Canada, l'Australie et la Nouvelle Zélande). Ces coraux sont, par ailleurs, classés comme des habitations cibles par la Convention OSPAR (Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est, entrée en vigueur le 25 mars 1998), alors que le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) a lancé un appel pour leur protection.

Je vous remercie.

- **Pr. Karima KHALIL** (EST-Essaouira, Université Cadi Ayyad)

Ma question s'adresse à Laurent BOPP. J'ai apprécié particulièrement quand vous avez parlé de l'importance des zones côtières qui est essentielle pour la compréhension et l'amélioration des modèles développés à l'échelle globale et aussi pour les prévisions futures. Je suis tout-à-fait consciente et sûre que si on n'arrive pas à bien comprendre et bien représenter et les processus et ce qui se passe dans ces zones côtières à petite échelle, ce sera d'autant plus difficile à l'échelle globale.

Est-ce que vous prenez en compte le compartiment sédiments ou comment vous faites?

Comment vous prenez en compte justement cette partie bio-géo-chimie?

- **M. M'Hamed SEDRATI** (ancien Directeur de l'IAV Hassan II et de l'INRH)

Merci M. le Directeur des Séances. Je voudrais également remercier Monsieur le Secrétaire Perpétuel de nous avoir fourni l'occasion de participer à cette session et le remercier pour la pertinence du choix de la thématique qui embrasse à la fois changement climatique et ressources halieutiques. C'est sur ce volet que je voudrais intervenir, tout d'abord en félicitant le Directeur Général de l'INRH pour son excellent exposé et lui dire que j'aimerais rappeler un peu l'histoire. Dans les années 90, je ne sais pas si certains s'en souviennent, le Maroc avait fortement négocié avec l'Union Européenne pour mettre fin à l'accord de pêche et la commission avait intervenue auprès de Feu Sa Majesté Hassan II, qui leur avait accordé une période de 4 années (1994-1998).

À l'arrivée du Gouvernement de l'alternance, feu Thami EL KHIARI qui avait maintenu l'accord de la Commission Européenne parce que le Maroc voulait d'une manière légitime valoriser comme vous l'avez souligné dans votre exposé l'importance de la valorisation locale de nos richesses. Donc, le Maroc avait tenu tête à la Commission Européenne et puis l'accord était suspendu puis repris quelques années plus tard. Bref, vous l'avez souligné à juste titre maintenant, le Maroc a besoin de valoriser et de créer plus d'emplois localement.

J'ai perdu le fil de la question depuis des années. Qu'en est-il aujourd'hui avec les problèmes que nous avons avec l'Union Européenne, déjà pour l'accord agricole, je ne sais pas pour ce qui est de l'accord de pêche?

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Une dernière question, sachant que nous avons demain une séance-débat.

- **M. Abdelhadi BENNIS** (Acteur associatif)

M. FARAJ a soulevé deux problèmes : les aires protégées marines et la valorisation. Je pense que ce sont les deux piliers du développement de la richesse halieutique. Est-ce que vous pouvez nous dire un petit peu comment vous évaluez le Plan Halieutis, quelques suggestions plus concrètes pour améliorer ce plan? Merci beaucoup.

- **Pr. Laurent BOPP** (Institut Pierre Simon LAPLACE, Paris, France)

Merci pour ces questions fort intéressantes; je vais me permettre de répondre aux deux premières questions et apporter quelques éléments d'information.

La première sur les coraux d'eaux froides (les coraux profonds) : c'est effectivement un des écosystèmes à risque en raison du réchauffement des eaux mais aussi en raison de l'acidification. Il y a des travaux très intéressants qui montrent, qu'aujourd'hui, vous avez à peu près 100% de ces écosystèmes qui se trouvent dans les eaux sursaturées vis-à-vis de l'aragonite, donc dans des eaux où a priori il n'y a pas de dissolution chimique du squelette de ces coraux. Si on projette l'évolution de la chimie de l'océan, il y a certaines publications qui montrent que 2/3 de ces écosystèmes se retrouveraient dans des eaux sous-saturées, donc dans des eaux où chimiquement la dissolution de l'aragonite aurait lieu. Au-delà du réchauffement, l'acidification de ces systèmes précis est à risque majeur. Ce risque majeur est lié au fait qu'avec l'acidification, on a une remontée très rapide de l'horizon de saturation.

Le deuxième point sur le rôle de la modélisation et le lien avec le sédiment: le réservoir sédimentaire est le parent pauvre des modèles bio-géo-chimiques. A l'échelle globale, on utilise des modèles sédimentaires très simples, on tient compte d'un flux vers le sédiment et une remise en suspension et un retour de certains éléments vers l'océan. Les flux intégrés à l'échelle globale sont relativement faibles. Par contre, si on s'intéresse à l'échelle locale ou régionale, et en particulier en zones côtières, le flux vers le sédiment et le flux du sédiment vers la colonne d'eau sont plus importants, et là on a besoin de représenter le réservoir sédimentaire de manière plus détaillée.

Enfin, un dernier point sur les apports fluviaux : un peu comme dans les bilans on sépare le continent et l'océan qui ne se parlent que via l'atmosphère pour le cycle du carbone. Donc, de façon simpliste, on ignore le continuum entre le continent et l'océan. Il commence à y avoir quelques groupes qui se focalisent et qui représentent de façon plus explicité ces flux de carbone et de nutriments entre le continent et l'océan.

- **M. Abdelmalek FARAJ** (Directeur Général, Institut National de Recherche Halieutique)

Les accords de pêche ont été définis par le calcul d'une certaine quantité de poisson allouée à des bateaux étrangers qui sont censés débarquer une partie de leurs captures au niveau des ports marocains. Déjà, c'est un préalable et cette quantité, qui a été calculée, l'a été de telle sorte que ça soit un surplus. C'est ce qui est censé ne pas être pêché par des marocains ou valorisé par le Maroc. Aujourd'hui, quelles sont les valorisations halieutiques? Il y a la conserve, la congélation, la consommation locale et la farine de poisson. Cette farine de poisson, qui est une valorisation discutable bien évidemment, devrait constituer un niveau variable en fonction du disponible. Donc pour répondre à la question, les accords de pêche n'impactent pas le niveau des capacités nationales de valorisation. Ce qui m'amène à la deuxième réponse, je trouve un peu sévères les questions par rapport à Halieutis dans le sens où ce plan a proposé une vision globale, c'est-à-dire de la ressource jusqu'au marché et jusqu'au consommateur. Ça ne sert à rien de mettre des mesures de durabilité, de gestion et d'aménagement si on ne réforme pas le

marché car le marché constitue également un appel d'air. Aujourd'hui, de nombreux pays subissent la surexploitation parce qu'il y a eu un appel d'air de la farine de poisson qui a explosé parce qu'il y a eu l'effondrement de l'anchois au Pérou à cause d'El Nino, alors que, initialement, ils n'allaient pas vers ce type de valorisation.

Halieutis a beaucoup travaillé sur la valorisation des produits halieutiques pour améliorer les performances, donc sur les aspects commercial et technologique. Il y a encore beaucoup de choses à faire, mais n'oublions pas d'où on part, il n'y avait pas de plan d'aménagement avant. Aujourd'hui, il y a de très nombreux plans d'aménagement. Bien évidemment, ils doivent être améliorés et renforcés parce qu'ils ont été définis en ciblant une espèce donnée. Le cadre mis en place aujourd'hui permet une production et une croissance de cette production malgré la variabilité naturelle. En plus de cette notion de croissance, nous avons les mécanismes pour faire face à cette variabilité naturelle et les pêcheurs ont pris conscience que les ressources halieutiques sont variables et fluctuent en fonction de la variabilité naturelle. Merci.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Je rappelle que nous pouvons continuer à débattre demain matin, après la présentation du Pr. ASSOBBEI, sur toutes ces problématiques. Il me reste à remercier les orateurs qui ont participé à l'animation des séances de cet après-midi et vous remercier tous pour votre participation.

Séance IV
LES IMPLICATIONS ÉCONOMIQUES

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Nous poursuivons le programme de la journée par l'intervention du Pr. Daniel NAHON, professeur émérite de l'Université Aix-Marseille (France). Auparavant, je donne la parole à Monsieur le Secrétaire Perpétuel pour introduire le conférencier.

- **Pr. Omar FASSI-FEHRI** (Secrétaire Perpétuel)

Chers collègues, je voudrais au nom de vous tous remercier le Pr. Daniel NAHON d'avoir bien voulu participer à notre session par une intervention importante concernant le volet des «implications économiques des changements climatiques».

Pr. Daniel NAHON, qui est Docteur es-Sciences de l'Université Aix-Marseille, a occupé plusieurs responsabilités en particulier Président du Directoire de la Recherche à l'Université Aix-Marseille, professeur à l'Institut d'études politiques d'Aix-en-Provence, professeur honoraire de l'Institut Universitaire de France, conseiller scientifique de l'Europol de l'Arbois, membre de l'Académie des Sciences du Brésil.

Ses domaines de recherche sont : la géochimie, la pétrologie, les sols, les altérations des pays chauds et notamment tropicaux. Il a montré toute la mesure de ses compétences et de son talent dans ces domaines lorsqu'il a dirigé le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD, France).

Merci encore Pr. NAHON d'avoir accepté de participer à notre session même à distance. En tout cas, je voudrais à cette occasion exprimer au nom de tous mes collègues notre sympathie, notre solidarité et vous présenter à vous et votre petite famille nos meilleurs vœux de santé et de réussite. Merci.

LES IMPLICATIONS ÉCONOMIQUES DU RÉCHAUFFEMENT GLOBAL

Daniel NAHON

*Professeur émérite, Aix-Marseille Université
France*



Introduction

Dans les décennies à venir, le réchauffement climatique global, en s'amplifiant, entraînera de grandes modifications physiques, géographiques, biologiques, sociales. Ses principaux effets attendus sont :

- (i) la modification du régime et de la répartition des précipitations;
- (ii) un réchauffement plus important des terres que celui des océans;
- (iii) une fonte partielle et peut-être à terme totale de la banquise;
- (iv) une montée du niveau des mers qui vient en corollaire;
- (v) une profonde modification des écosystèmes régionaux et globaux.

Et cela aura plusieurs implications qui contrôleront le développement économique des sociétés du XXI^e siècle.

Les implications que l'on peut déjà pressentir sont celles qui toucheront l'agriculture, la pêche, l'énergie et notamment les combustibles fossiles, les équipements des territoires (villes, routes, barrages,...), le tissu industriel, les minerais exploités pour l'économie verte qui s'ouvre au monde, les emplois, les flux migratoires de populations humaines et animales mais aussi, à terme, végétales, la santé humaine. Tous ces secteurs touchés auront entre-eux de nombreuses rétroactions qu'il paraît difficile de cerner de nos jours.

Mais les rendements agricoles seront touchés et il est urgent de «re-calibrer» l'agriculture pour faire face à la dérive économique qui en résultera. C'est le principal sujet de cette intervention et indirectement lié l'exploitation à venir des minerais qui seront nécessaires au lancement de l'économie verte qui prend le relais.

L'agriculture dépend avant tout d'une ressource naturelle qui n'est pas renouvelable à l'échelle humaine : le sol. Et le sol, support de toute l'agriculture, est un système global dont dépendent: la nutrition des humains, des animaux, des végétaux; la biodiversité qu'il contient; l'eau douce continentale; le climat; les paysans et le monde rural en général. Et *l'économie de l'agriculture n'a jamais su être évaluée à sa juste valeur car l'exploitation intensive et extensive des terres à des fins agricoles a un coût environnemental, un coût énergétique et un coût humain !*

Ce sont ces coûts qui sont déterminant sur l'impact économique et que nous allons passer en revue.

Le coût environnemental : le sol (argile et nutriments), l'eau douce (irrigation), la biodiversité, le climat.

1. Le sol arable

Sur les 14,84 milliards d'hectares de terres émergées, en tenant compte des surfaces recouvertes de glace, de sables vifs, de roches à nu, de lacs ou mers intérieures, les sols en eux mêmes ne couvrent qu'environ 11,5 milliards d'hectares (75%) dont seulement 2,5 milliards sont arables (Fig 1). Pas plus, pas moins! Les sols dans leur plus grande part ne sont donc pas cultivables car situés dans des zones trop en pente, dans des régions trop froides, voire glacées (permafrost), dans des aires trop arides, trop humides, ou tout simplement parce que les terres sont trop pauvres ou trop peu épaisses.

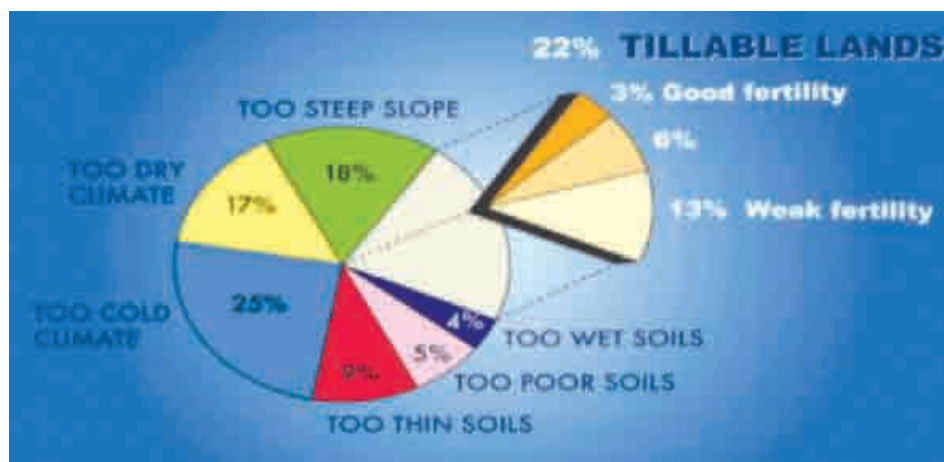


Fig 1 : 22% seulement des terres sont arables

2500 millions d'hectares, c'est peu : environ 50 fois le territoire français. Ajoutons 3500 millions d'hectares utilisés pour le pâturage mais dont les sols sont trop peu épais pour les livrer à la culture. Et déjà près de 1600 millions d'hectares sont cultivés, parmi lesquels 70 millions sont dévolus aux biocarburants, 300 millions d'hectares sont irrigués dont 50 millions devenus inexploitable par salinisation excessive.

Bien plus, ce sont chaque année pas moins de 8 millions d'hectares de terres arables qui sont soustraites par maltraitance, par destruction, par ignorance : 6 millions d'hectares sont ainsi abandonnés par perte de fertilité suite à la déforestation, à l'érosion et à la salinisation, et 2 millions sont perdus par urbanisation (Nahon, 2012). À l'évidence, le sol n'est pas une ressource renouvelable à l'échelle humaine : sa vitesse de formation se mesure en dizaines de millénaires et pour les plus épais, situés dans les zones humides tropicales, en centaines de milliers d'années, ce qui en fait les plus fragiles alors que les «réserves» en terres arables se situent dans ces régions. La terre féconde s'épuise sous nos yeux !

Les sols cultivés sont soumis à des dégradations qui sont l'œuvre de la négligence humaine dans leur utilisation. La pollution chimique (par métaux lourds, par déchets, par radionucléides...), la stérilisation (par salinisation excessive, par perte de la biodiversité) ou la destruction (par érosion ou par urbanisation) sont autant de problèmes qui affectent les terres arables au point de craindre que l'humanité manquera de sols pour nourrir les populations (Fig 2).

Nous ne verrons ici que trois aspects de ces problèmes : l'érosion, l'urbanisation, la perte de biodiversité. Car ce sont eux qui sont responsables de la baisse de la production.

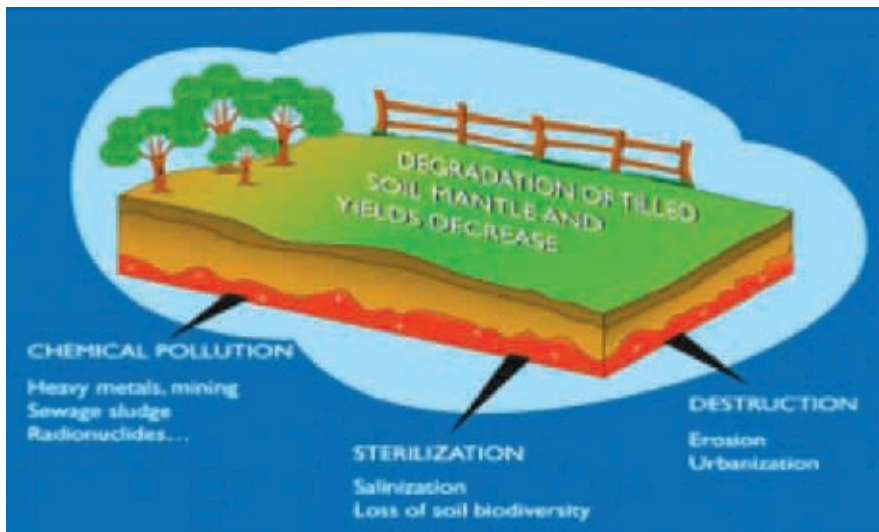


Fig 2 : Dégradation du manteau du sol labouré et diminution des rendements

L'érosion des terres arables

La structure du sol le protège de l'érosion par le vent et la pluie. Mais il suffit de labourer profondément un sol arable pour que cette structure soit détruite, livrant la partie supérieure du sol à l'érosion linéaire par ruissellement des eaux de pluie (Fig 3). Le labour est aidé en cela par les lourds engins de travail de la terre qui écrasent les petits agrégats argileux structurant le sol, compactent les premiers décimètres de surface et empêchent l'eau de pluie d'y pénétrer. Le ruissellement ainsi favorisé parcourt la surface du sol, prend de la vitesse et incise la terre en rigoles ou chenaux d'érosion.



Fig 3 : Erosion du sol par mauvaise exploitation agricole (labours)

Et si le labour est dans le sens de la pente, il accentue considérablement la vitesse d'érosion entraînant l'argile nourricière chargée de nutriments minéraux et de matière organique. Le sol se défait ainsi de sa fertilité naturelle qu'il faudra compenser par un apport considérable d'engrais chimiques. Ces derniers ne seront pas tous puisés par la végétation et une quantité non négligeable d'entre eux seront entraînés au prochain orage avec l'argile vers les rivières en les polluant et en remplissant leur lit de sédiments. Ce qui favorisera désormais les inondations catastrophiques qu'on connaît en milieu rural.

Les sols arables sont donc soumis, par leur mauvaise exploitation agricole (labours), à une érosion considérable. À titre d'exemple alors que l'érosion naturelle moyenne à la surface du globe est inférieure à 0,5 tonne par hectare et par an (0,5t/ha/an), on considère que les sols labourés ont une érosion comme suit : supérieure à 20t/ha/an pour 20% d'entre eux, entre 7,5t/ha/an et 20t/ha/an pour 50% des sols cultivés et inférieure à 7,5t/ha/an pour seulement 30% de ces sols (White, 2006). Et si on considère sur un paysage plat un sol convenablement exploité si bien que l'érosion le concernant n'est que de l'ordre de 3t/ha/an, cela correspond tout de même à un appauvrissement de la fertilité avec une perte de 25kg/ha/an de carbone organique, de 10kg/ha/an d'azote organique, de 3kg/ha/an de phosphore, de 10kg/ha/an d'ions échangeables (potassium, sodium, calcium, magnésium, oligoéléments, et si ce sol est amendé et traité, ce qui est le cas de la presque totalité des sols arables des régions tempérées, la perte en engrais est de 10 à 25%/ha/an et en pesticides de 30%. On considère que la perte globale annuelle des sols arables en carbone organique minéralisé en CO₂ est de deux milliards de tonnes (2Gt).

L'érosion n'intervient pas seulement pour diminuer la fertilité du sol, mais peut également conduire à sa destruction, en particulier dans les zones tropicales où les coupes à blanc des forêts pour servir l'extension des terres agricoles, l'érosion peut atteindre des chiffres records de 200t/ha/an (Fig 4).



Fig 4 : Déforestation dans les zones tropicales
qui peut entraîner la destruction du sol

D'une manière générale l'érosion entame la surface du sol (ce qu'on appelle le front d'érosion) de 0,5 à 5 m chaque millénaire, alors que l'approfondissement biogéochimique du sol au dépens de la roche sous jacente (roche mère), c'est-à-dire la formation du sol est de 0,05 m pour 1000 ans. Ce qui veut dire qu'en moyenne l'érosion actuelle des sols arables progresse de 10 à 100 fois plus vite que ne se régénère le sol (Fig 5). Le capital des terres arables se dégrade! Et il me semble que c'est là la toute première priorité de l'agriculture.

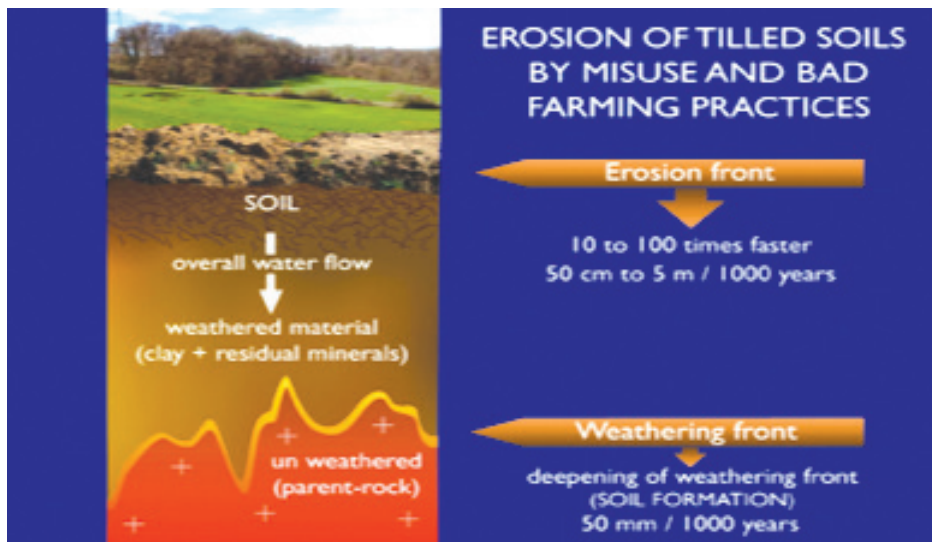


Fig 5 : L'érosion actuelle des sols arables progresse de 10 à 100 fois plus vite que ne se régénère le sol

L'urbanisation

De même l'urbanisation est responsable de la destruction de superficies considérables de sol arable. Au début du XX^e siècle, 14% de la population mondiale vivait dans les villes contre 54% au début du XXI^e siècle. Et la tendance est à l'augmentation rapide des citadins avec plus de 5 millions de nouvelles personnes qui s'installent chaque mois dans les espaces urbains d'Asie, d'Inde, d'Amérique centrale et du Sud, d'Afrique, cinquante fois plus que dans les villes des pays industrialisés. On estime que chaque seconde, ce sont 100 m² de terres cultivées qui disparaissent par urbanisation aux États-Unis d'Amérique (Genske, 2003) et 500 m² en Chine ou au Brésil. Chine et USA développent leur surface urbaine en consommant chaque année une superficie de terres arables équivalente à cinq fois celle du Danemark! Bien d'autres causes de réduction des surfaces arables existent ; nous renvoyons le lecteur à de nombreuses publications qui traitent cela en détails.

2- La biodiversité

Les conséquences directes de l'érosion mais aussi de la maltraitance des sols cultivés par l'utilisation souvent abusive et généralisée de pesticides et d'engrais sont une diminution importante de la biodiversité de «l'ombre», celle que l'argile du sol abrite.

La matière organique du sol est constituée à la fois par tous les organismes et microorganismes vivants animaux et végétaux et par leurs cadavres et leurs débris qui s'accumulent à leur mort, étant eux mêmes décomposés par des bactéries et des champignons qui s'en nourrissent tout en libérant le carbone, l'azote, le phosphore, le soufre et tous les autres éléments que contenaient végétaux et animaux de leur vivant (Fig 6). Une partie de ces éléments chimiques peut s'ancrer sur et dans les argiles. Une autre partie s'organise en molécules directement assimilables par les racines des plantes.



Fig 6 : Les vers de terre : 10 millions/ha dans le sol des prairies consomment 90 t de matières organiques/ha/an

La matière organique est plus labile. À l'origine de la litière, les végétaux qui, au fil des jours et des années, livrent d'énormes quantités de débris, feuilles, branches, tiges. Eux-mêmes, comme tout organisme vivant, viennent à mourir sur place. Et tout ce petit monde s'amoncelle sur le sol et y pourrit doucement pour disparaître de notre vue assez rapidement et constitue l'humus noir du sol. Mais à la saison suivante, tout recommence.

Qu'est-ce qui fait pourrir ces débris de plantes et comment sont-ils incorporés dans le sol? La diversité des créatures vivantes du sol est pour l'essentiel responsable de la fragmentation, de l'incorporation, de la dégradation de la matière organique. En quelque sorte un recyclage naturel et continu, indispensable pour que la vie elle-même, animale et végétale, puisse se perpétuer. On estime que le poids des organismes vivant dans le sol serait de l'ordre de 6 à 8 tonnes par hectare.

Bien des sols sont épuisés d'avoir été exploités sans retenue, à renfort d'engrais et de pesticides. Leur fertilité pourrait reprendre des couleurs grâce aux vers de terre, à en juger les résultats obtenus sur la production du thé de l'État de Tamil Nadu en Inde par des chercheurs de l'université Pierre et Marie Curie et de l'université de Sambalpur. «Depuis une dizaine d'années, la production des plantations de thé stagnait malgré l'utilisation croissante d'engrais et de pesticides. Après quatre-vingts ans de culture intensive, les sols étaient dégradés, ayant perdu une bonne partie de leur humus. En désespoir de cause, des vers de terre d'une espèce commune, très répandue dans les régions tropicales, ont été introduits sur plusieurs plantations avec leur nourriture : des résidus de la taille des théiers et du compost. Le résultat fut spectaculaire. Après trois ans seulement, la production des feuilles de thé a augmenté de 35% à 240%, et la rentabilité des exploitations s'est accrue de 28% à 260%».

En creusant la terre, qui se soucie de ce micro monde qui pullule et qui reçoit tous nos déchets, tous nos oublis? Il est ignoré de tous ou presque, je pense notamment aux scientifiques qui leur consacrent leur vie. Et pourtant, c'est la moindre des choses, car que serait la vie et sa diversité sans lui? Nous respirons et nous digérons grâce à lui, et les plantes aussi. La terre féconde regorge de bactéries, d'actinomycètes, de champignons, d'algues, de protozoaires, dont la taille de chaque individu est inférieure au micromètre (Fig 7). La plupart d'entre eux se tapissent dans les 30 cm supérieurs du sol, là où leur nourriture abonde, car ils s'alimentent du carbone des débris végétaux et animaux morts. Le carbone n'est pas perdu pour tous! Si ces microorganismes n'existaient pas, la terre serait jonchée de cadavres.



Fig 7 : Biomasse microbienne: bactéries, actinomycètes, champignons, algues, protozoaires...
Contrôle du cycle d'azote et de carbone

Parmi eux, les bactéries (auxquelles nous associons les actinomycètes) ont dans le sol une activité prépondérante. Bien sûr, nous verrons aussi que le rôle des champignons filamenteux, les pseudo-mycéliums, est comparable à celui d'une assistante sociale pour mettre en communication de bonne entente les végétaux entre eux.

Les bactéries s'adaptent aux variations de leur environnement de façon impressionnante. Elles existent depuis des milliards d'années et seront encore là bien après les hommes. Elles ont accompagné le développement de la vie sur notre planète. Certains organites des cellules des êtres vivants (animaux, végétaux et humains) qui nous permettent de respirer, ne sont rien d'autre que des restes de bactéries ingurgitées par les espèces vivantes et dont le matériel génétique a été mis en commun pour le plus grand bien de l'évolution.

Chaque gramme de sol contient plus d'un milliard de bactéries et ce chiffre est multiplié par 10 lorsqu'on se rapproche d'une racine de plante. Il existe de très nombreuses espèces de bactéries, des dizaines de milliers, vivant en colonies pour mieux résister, mieux s'adapter aux variations répétées, discontinues, des conditions de milieu; car l'union fait la force, ou autrement dit, le multiple n'est pas l'addition du simple, il est plus, il permet à d'autres forces nouvelles de s'individualiser, de se révéler. La mise en réunion de ces bactéries, leur permet de se nourrir et de se spécialiser aux produits fournis par la matière vivante : carbone, azote, phosphore, oxygène dans lesquels elles puisent leur énergie.

Certaines bactéries peuvent même, en émettant des substances acides, dissoudre des minéraux pour libérer leur phosphore, le rendant disponible pour les plantes; nous reviendrons sur les cycles de l'azote et du phosphore plus en détail par la suite, mais afin de bien souligner le rôle irremplaçable des bactéries, abordons en premier le devenir du carbone organique.

Les débris organiques végétaux qui s'accumulent dans la litière sont fragmentés par l'activité de la faune qui y réside, dont les lombrics. Les bactéries viennent y cueillir l'énergie et les nutriments dont elles ont besoin. Chaque molécule organique est un assemblage d'atomes de carbone, d'hydrogène, d'azote, d'oxygène liés entre eux par des liaisons énergétiques plus ou moins fortes. En brisant ces liaisons entre atomes, les bactéries récupèrent l'énergie qu'elles contenaient et l'utilisent pour vivre et se multiplier. Les molécules les moins complexes sont les sucres (glucose). Elles sont consommées en premier, et rapidement, par les microorganismes. Avec la complexité grandissante de l'assemblage des molécules, c'est-à-dire avec des cohésions de plus en plus fortes entre les atomes qui les composent, leur dégradation, leur «consommation», par les bactéries, requiert plus de temps. Après les sucres, elles s'attaquent aux autres glucides (saccharose, amidon, cellulose, poly-saccharides). Vient ensuite le tour des lipides, concentrés pour l'essentiel dans les cires et cuticules des feuilles et des aiguilles et, pour une faible part, dans les tissus de réserve, d'être dégradés par l'activité des microorganismes. Enfin les lignines, aux longues molécules donnant la rigidité aux végétaux, sont peu utilisées par les microorganismes comme source de carbone; elles perdurent plus longtemps dans les sols.

L'essentiel de la dégradation des cadavres organiques de végétaux (ou d'animaux) de la litière sont des bactéries appelées saprophytes. On peut comparer ces microorganismes à des petits mécaniciens démontant sans cesse les résidus de matière organique morte,

comme on défait un «mécano», à part qu'ici, chaque pièce démontée correspond à un carbone, à un atome d'azote, à de l'oxygène, de l'hydrogène, et à des tas d'autres petites pièces annexes, soufre, phosphore, silice, fer, manganèse, calcium, potassium, sodium, etc., pour les livrer à d'autres ouvriers plus spécialisés chacun dans son domaine. Le but final étant de se nourrir et de se multiplier en récupérant l'énergie libérée et une partie des atomes détachés. Le reste des atomes remis en circulation, se reconstruit en nouvelles petites molécules assimilables par les racines de plantes.

Carbone (C) et azote (N), une fois libérés de la matière organique, s'engagent dans différents processus.

Tout d'abord le carbone (Fig 8). Une partie est utilisée par les bactéries, 2 à 8%, qui s'en nourrissent. La plus grande partie, 60 à 80%, est recombinaison à l'oxygène, en petites molécules, si petites, si légères qu'elles s'envolent ! Elles sont volatiles, et constituent un gaz, le gaz carbonique ou CO_2 . Nous savons tous aujourd'hui, que ce gaz, qui diffuse depuis tous les pores du sol, est un gaz à effet de serre. Aussitôt émis, il se mêle à l'atmosphère dont il enrichit la concentration. Une petite partie de ce gaz reste dans la porosité du sol sous forme de gaz ou dissous dans l'eau qui y circule, si bien que la teneur en CO_2 contenu dans le sol reste 100 à 300 fois supérieure à celle contenue dans l'air que nous respirons. Mais imaginons un instant que cette fabuleuse histoire se déroule dans un sol qui a les pores bouchés, envahis par l'eau. L'oxygène ne peut que difficilement accéder aux atomes de carbone défaits. Ce n'est donc pas une oxydation qui se produit, mais une réduction, et le gaz émis n'est plus du CO_2 , mais bien du méthane CH_4 , accompagné de quelques uns de ses cousins germains, l'éthylène C_2H_4 et l'éthane C_2H_6 . Un tel cas existe dans les sols de rizières inondées ou dans les sols de marais. Et d'ailleurs, les rizières cultivées par les hommes contribuent à 20% des émissions anthropogéniques de méthane, dont l'effet de serre est trente fois supérieur à celui du gaz carbonique.

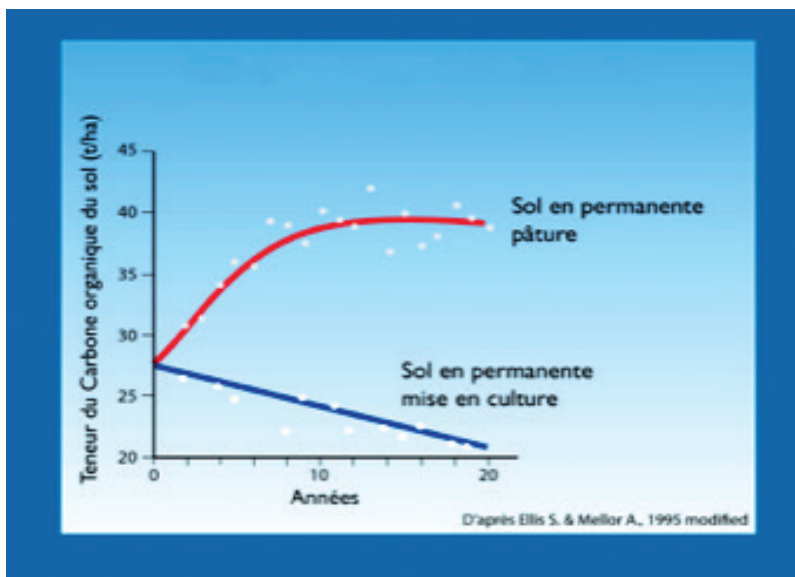


Fig 8 : Carbone organique du sol

Et l'azote, que devient-il? Une fois démonté dans la litière par les bactéries saprophytes, l'azote est livré sous forme d'ammonium (NH_4^+) à des ouvrières aux noms compliqués (Nitrobacter, Nitrosomonas, Nitrosospirra, Nitrosococcus, Nitrosolobus...) spécialisées dans le traitement de ces atomes. Là aussi, ces bactéries nitrifiantes ont pour rôle d'oxyder l'azote libéré. Cette oxydation est appelée la nitrification et conduit à fabriquer des nitrates (NO_3^-), forme très soluble de l'azote et assimilable par les plantes. Comme précédemment, si le sol cultivé est inondé et sa porosité pleine d'eau, des réactions de réduction apparaissent, ainsi que d'autres bactéries anaérobies (développées dans un milieu dépourvu d'oxygène). Celles-ci respirent l'oxygène contenu dans les nitrates (NO_3^-) qu'elles transforment en gaz, l'oxyde nitreux N_2O ou même en azote N qui diffusent vers l'atmosphère. Cette réaction est appelée la dénitrification. Elle montre combien l'utilisation d'engrais azoté dans les rizières inondées, lorsque la plante croît, doit être pensé et soupesé, la production d'oxyde nitreux risquant d'être importante. Et ce gaz a un effet de serre de 200 à 300 fois supérieur à celui du gaz carbonique.

Les cycles du carbone et de l'azote sont donc étroitement couplés. La décomposition des résidus végétaux, et notamment de culture, va dépendre des quantités relatives de carbone et d'azote, mais aussi, de l'humidité du sol et donc de sa teneur en argile. Carbone et azote sont au cœur de la fertilité des terres mais aussi de la pollution de l'air (avec le CO_2 et N_2O) et de l'eau (avec le nitrate NO_3^-).

Un sol est fertile s'il contient suffisamment de nutriments pour alimenter les végétaux qui y poussent, et si ce véritable garde-manger est régulièrement et naturellement renouvelé. Pour cela deux conditions sont requises qui sont à la source de tous les autres paramètres qui font qu'un sol est dit productif. Ce sont respectivement les argiles et la matière organique.

Les argiles sont ces minuscules minéraux de quelques milliardièmes de mètres disposés en feuillets (silicates en feuillets) empilés plus ou moins régulièrement et qui retiennent sur et entre leurs feuillets des atomes ou des petites molécules d'éléments dont les plantes ont besoin pour vivre et se développer : calcium, magnésium, potassium, fer, aluminium, oligoéléments, phosphore... tous étant entourés de molécules d'eau et solidement arrimés à l'argile. Avec tous ces nutriments accrochés de toutes parts, l'argile ressemble à des «cars rapides» qui sillonnent les routes et les pistes de terre rouge d'Afrique, débordant de passagers et de colis.

Les argiles sont issues de l'altération des roches sous-jacentes par réaction chimique de ses minéraux avec l'eau de pluie, tout comme le fait un morceau de sucre qui se dissout dans l'eau. La différence est que les minéraux ne se dissolvent comparativement que très lentement, de quelques millimètres à quelques centimètres par millénaire. Une fois mis en solution les éléments chimiques peuvent être soit entraînés par l'eau qui percole dans le sol soit se recombinaient sur place en nouveaux minéraux de très petites taille, les argiles. Il est clair que la formation d'un sol argileux de quelques mètres d'épaisseur nécessite quelques dizaines à quelques centaines de milliers d'années. L'argile est donc très précieuse à la fertilité d'une terre. À l'échelle humaine, une fois en place, l'argile est irremplaçable. Elle constitue un capital à épargner coûte que coûte. Sa richesse en nutriments dépend tout d'abord de la composition des roches qui l'ont enfantée, et aussi

du climat; car une pluie trop abondante aura tendance à entraîner avec son écoulement bien des éléments chimiques vers les rivières, çà de moins à récupérer entre les feuillets de l'argile.

3- L'eau d'irrigation et son coût

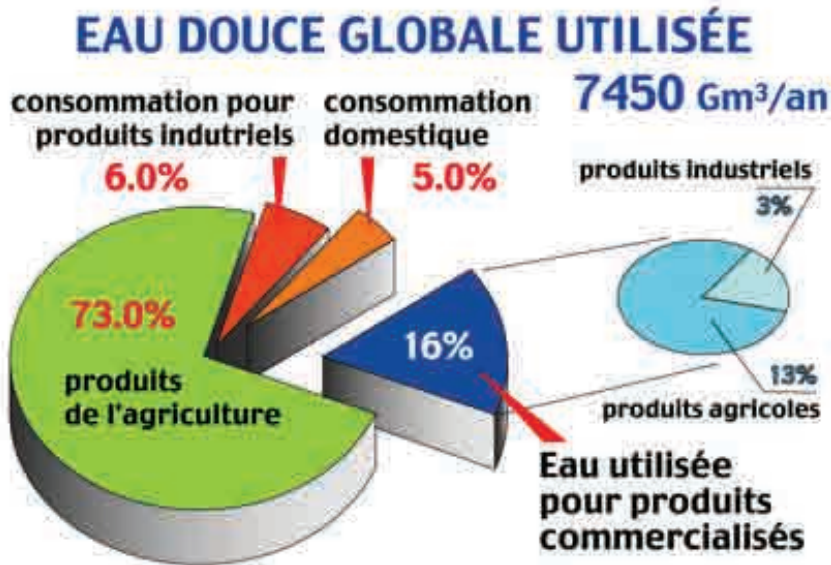


Fig 9 : Eau douce globale utilisée
AGRICULTURE= 6400 Gm³/an

L'eau verte, c'est ainsi que l'on nomme l'eau qui tombe sous forme de pluie avec une moyenne planétaire de 900 mm/an. Mais l'eau de pluie arrose différemment la surface des continents. Certaines parties du globe, comme les régions froides nordiques ou les régions chaudes équatoriales, sont particulièrement bien loties en précipitations. Elles viennent alimenter les nappes phréatiques souterraines et grossir rivières et fleuves qui abondent. La quantité d'eau charriée par tous les fleuves de monde est estimée à 36 750 km³/an ce qui correspond à environ 7% des pluies tombées à la surface du Globe pendant une année (525 000 km³) ou autrement dit presque 32% des précipitations reçues par les terres émergées. L'essentiel est le fait des grands fleuves des régions humides. Quant aux nappes d'eau souterraines continentales, elles constituent un réservoir estimé à 8.1 millions de km³. L'eau de ce réservoir est importante pour la vie des hommes mais ne représente que 0,6% de la masse d'eau planétaire. Elle est disponible et le plus souvent accessible tout comme peut l'être l'eau des fleuves et des rivières et constitue toutes ensembles ce que les spécialistes désignent par «eau bleue».

Bien que le principal réservoir d'eau douce de la planète corresponde à l'eau stockée sous forme de neiges «éternelles» ou de glace (glaciers, calottes polaires, eau gelée des pergélisols), c'est-à-dire 33 millions de km³ (environ 2.5% de l'eau totale de la Terre), elle reste peu accessible à une exploitation quotidienne nécessitée par le travail des hommes.

L'eau douce naturellement disponible pour les hommes est donc celle qui provient des précipitations sur les continents (en gros l'équivalent de 0,0085% de toute l'eau présente sur Terre), celle des cours d'eau (0,0027%) et celle des nappes souterraines (0,6%). L'eau des pluies et des fleuves est régulièrement et annuellement renouvelée et s'infiltre en partie pour charger les aquifères profonds.

De nombreux pays souffrent d'un déficit pluvial, car situés dans les zones climatiques arides ou semi-arides. Et pourtant ils n'en sont pas moins peuplés et nécessitent, pour le développement agricole de certaines de leurs régions, d'un aménagement important à des fins d'irrigation.

L'eau servant à irriguer est puisée directement dans les fleuves ou dans les réserves souterraines que constituent les nappes phréatiques.

L'eau est donc là, partout. D'ordinaire, les cultivateurs sont des gens de bon sens et mesurent les dépenses dans leur exploitation. Mais aujourd'hui, l'eau ne leur coûte presque rien. Bien plus, ils sont encouragés à aller chercher l'eau là où elle se trouve, au plus profond des couches géologiques qui galbent leur paysage, à 1000, 2000 ou 3000 mètres! Dans certains pays, les lois leurs permettent de déduire de leurs impôts le prix des équipements nécessaires pour tirer l'eau des fleuves ou des nappes. De quoi activer leur hardiesse d'irriguer.

En creusant des puits ou en réalisant des sondages, c'est pire: la difficulté à concevoir qu'une réserve se vide lorsqu'on ne la voit pas nous est consubstantiel et nous interdit de croire que cela peut nous arriver. Les exemples ne manquent pas.

Les fleuves d'abord. Le Niger est le troisième fleuve d'Afrique, il arrose une grande partie de l'Afrique occidentale et favorise la culture du riz, du coton, de la canne à sucre. Il s'épuise désormais dans sa traversée des plaines du Mali. En Chine, le Fleuve Jaune d'où a fleuri un des premiers foyers agricoles, est contraint à supporter l'extraordinaire développement rural du pays. Vidé d'une partie de son flux, il n'atteint la mer désormais que pendant les fortes crues. Il en est de même de l'Indus.

Les eaux du fleuve servent à irriguer les sols arables. Une partie de l'eau qui a pu percoler jusqu'à la nappe souterraine et regagner le fleuve n'est plus la même. Sa composition chimique s'est modifiée en se chargeant en sels arrachés à l'argile du sol en profondeur. C'est un effet de boucle : plus on irrigue à partir des fleuves et plus l'eau qui retourne au fleuve est salée. Pour un grand fleuve comme le Colorado aux États-Unis, tout au long de son cours, il voit ses eaux se saler (20 fois). À tel point que l'eau du fleuve devenait inutilisable pour servir l'agriculture du Mexique à l'aval. Il aura fallu construire à la fin du XXe siècle une usine de dessalement à Yuma, pour que l'eau puisse être utilisée à des fins agricoles au Mexique. La conscience du risque pour le devenir des eaux du fleuve Colorado n'était que conjoncturelle. Désormais l'eau tirée par le Mexique finit par épuiser le fleuve, qui se meurt sans atteindre son embouchure, sauf pendant les grandes crues. Et c'est tout l'écosystème marin du golfe de Californie qui se désorganise au grand malheur des artisans pêcheurs!

On ne saurait en effet modifier le débit des fleuves sans en subir à moyen terme les conséquences. L'évidence éclate lorsque ces fleuves aboutissent à des lacs ou mers intérieures. L'exemple de l'assèchement de la mer d'Aral. Autrefois plus étendue que la Suisse, la mer d'Aral figurait parmi les trois ou quatre plus grands lacs du monde : une mer intérieure qui a perdu aujourd'hui les deux cinquièmes de sa superficie parce que le débit des deux fleuves principaux qui l'alimentent est devenu insuffisant. L'eau puisée a servi pendant 30 ans à irriguer les champs de coton et de riz de l'Ouzbékistan et du Kazakhstan. Ce cas n'est pas unique. Le lac Chapala au Mexique a perdu la moitié de son volume et se réduit comme une peau de chagrin. L'irrigation, si utile aux hommes, devient pour les lacs, mers intérieures et fleuves des zones semi-arides, une plaie profonde d'où s'écoule l'eau nourricière. Certains fleuves jadis majestueux ne seront plus dans les décennies qui viennent que des ruisseaux égrotesques.

L'eau servant à irriguer est puisée directement dans les fleuves ou dans les réserves souterraines que constituent les nappes phréatiques.

Le volume global d'eau douce utilisé pour la production agricole est estimé, en moyenne annuelle, au début du XXI^e siècle, à 6400 milliards de m³ (6400 Gm³) (Fig 9). Si chaque nation devait fournir elle-même les produits agricoles de sa consommation intérieure, cette quantité d'eau douce globale serait portée à 6750 Gm³ par an. L'échange international de denrées alimentaires permet, à l'évidence, d'économiser un peu plus de 5% de la consommation d'eau douce à des fins agricoles. L'intérêt des nations est donc de favoriser le commerce de marchandises agricoles qui nécessitent beaucoup d'eau pour être produites, depuis un pays dont la ressource en eau douce abonde vers un pays à ressource en eau limitée. C'est, à n'en pas douter un bienfait de la globalisation.

Mais la ressource en eau douce n'est pas la seule à considérer. L'abondance des terres arables et leur fécondité sont tout aussi importantes. Le Canada ne compte pas la richesse de sa ressource en eau, en revanche il est limité par ses terres à usages agricoles. Ce pays est contraint à préserver la fertilité de ses sols et pour cela doit mettre en œuvre des pratiques de conservation de sa terre.

Une culture, pour croître, a besoin d'eau et de nutriments. L'eau est celle que la plante a dû mobiliser par ses racines depuis sa germination jusqu'à sa maturité, c'est-à-dire jusqu'à sa récolte. C'est en quelque sorte toute l'eau évaporée (on parle d'eau «évapo-transpirée») par chaque individu végétal tout au long de son existence. La plante a aussi sa propre eau de constitution comme toute espèce vivante. Mais cette quantité d'eau est infime lorsqu'on la compare à l'eau consommée tout au long de sa vie. Par exemple, l'eau contenue dans un kilogramme de blé est de un litre, en revanche pour produire ce même blé, il aura fallu utiliser entre 1000 et 1500 litres d'eau selon la qualité du sol sous-jacent. Les nutriments sont fournis à la plante par l'argile du sol et par la matière organique dégradée devenue assimilable. Pompée par les racines et transportée sous forme de sève montante, l'eau gorgée de nutriments est ensuite distribuée dans tous les tissus et toutes les cellules du végétal. Si le sol est déficient en nutriments, comme c'est désormais souvent le cas après une trop longue période d'exploitation du sol, on y rajoute des fertilisants, industriels le plus souvent.

L'eau virtuelle contenue dans les produits agricoles commercialisés entre nations est un moyen d'économiser sensiblement l'usage de l'eau douce mais aussi de préserver une partie des terres arables les plus fragiles à l'échelle de la planète. Et l'économie est d'autant plus substantielle que les denrées sont issues d'un pays à ressource en eau importante et riche en sols fertiles, et destinées à un pays dont ces deux ressources naturelles font défaut.

Plus qu'une simple question d'économie, il s'agit bien d'un fondement stratégique, dans la mesure où des conflits sociaux internes et des guerres entre états riverains peuvent être évités. Bien des pays, où les ressources en eau et en terre arable sont à la merci d'une fluctuation climatique décennale, sont concernés.

Le coût des produits issus de l'agriculture reflète le prix de l'eau, des traitements sanitaires, des fertilisants, des techniques de labourage et de fermage, du fioul consommé, etc. Cependant comment estimer l'utilisation et la dégradation des sols qui sont le soubassement de toute production agricole? Comment mesurer la vie qu'il contient et sa fertilité naturelle? Car ne nous y trompons pas à chaque usage, à chaque labour, le sol se dégrade et perd en fécondité, tout comme la déforestation, qui a permis de substituer aux arbres un sol agricole, a eu un prix dont nous nous sommes peu souciés, mais qui apparaît plus tard sous forme de modification de l'équilibre atmosphérique : changement du régime des pluies, du contenu de gaz à effet de serre...

Le prix de l'eau est-il lui même convenablement estimé? Sur les 6400 Gm³ d'eau douce utilisée chaque année par l'agriculture, 5330 Gm³/an est de l'eau verte (eau de pluie) et 1070 Gm³/an proviennent du prélèvement effectué par ou pour les agriculteurs dans les nappes phréatiques et les rivières. Heureusement, l'essentiel de l'eau nécessaire à l'agriculture est celle des précipitations naturelles. Est-ce pour autant qu'il ne faille donner aucune valeur à cette eau? Ce sont presque 5% de l'eau de pluie qui tombe sur les continents (115000 Gm³/an) et un peu moins de 3% du débit de tous les fleuves du monde qui servent à nous alimenter chaque année. Cela peut paraître dérisoire dans la mesure où la richesse est renouvelable. Et pourtant pour nourrir la population mondiale, nous avons vu qu'il faudra doubler les prélèvements d'eau bleue dans la prochaine décennie et les multiplier par cinq d'ici 2050. Prélever l'équivalent de 15% du débit mondial des fleuves en 2050 aura des conséquences sérieuses dont il faut se soucier dès à présent. Les exemples traités ci-dessus devraient nous y aider.

Le commerce global d'eau virtuelle permet de sauvegarder l'équivalent d'un tiers de l'eau dont nous nous servons pour irriguer chaque année, c'est aussi comparable au débit annuel de trois grands fleuves comme le Nil ou l'Orénoque.

Le concept d'eau virtuelle est souvent pris en dérision par les agronomes qui n'ont pas eu à travailler avec les petits paysans des régions arides. Et pourtant, il a aussi un autre avantage. Celui de faire prendre conscience au citoyen, mais aussi à l'agriculteur, de la quantité d'eau douce qu'il aura fallu utiliser pour produire notre alimentation.

L'apport de protéines est essentiel à notre régime alimentaire journalier. On les trouve dans les végétaux et les animaux que nous consommons. Produire 1kg de protéines

animales nécessite d'utiliser de 3 à 10 kg de protéines végétales et fabriquer 1kg de celles-ci requiert de consommer 1000 à 10 000 litres d'eau douce. À titre d'exemple «pour fabriquer 1kg de protéines de poulet, il faut 2,5 kg de protéines végétales; le rapport est de 1 à 6 pour le porc et de 1 à 8 pour le bœuf». Les produits carnés ont donc une plus haute valeur en eau virtuelle que les produits de culture à la base de notre alimentation ou de celle des animaux d'élevage. Plusieurs études ont calculé le prix de revient en eau virtuelle d'un kilogramme de viande de bœuf désossé en additionnant, sur les trois années d'élevage, le fourrage et les grains employés à son alimentation, l'eau utilisée pour les services et pour étancher sa soif. Bien sûr les résultats obtenus dépendent du terroir, du climat et des techniques de fermage, mais en moyenne, les chiffres acquis restent impressionnants : fabriquer 1 kg de viande de bœuf nécessite d'utiliser 16 000 litres d'eau douce, 5 000 litres pour le porc, 4 000 pour le poulet.

Parmi les produits de culture les plus consommés au monde figurent le riz pour 21%, le blé pour 12% et le maïs pour 9% et fabriquer 1kg de ces céréales revient à dépenser respectivement 3 000 litres, 1 500 l et 900 l.

Aujourd'hui, nous sommes en mesure de convertir en équivalent eau toute nourriture, tout produit confectionné, comme on le fait par ailleurs pour le gaz carbonique CO₂. N'y voyez aucun engouement à la mode, mais bien une donnée nécessaire à une prise de conscience des humains sur le prix de l'eau ou de l'air. Ainsi, ce petit déjeuner pris au Brésil, dans la quiétude d'un lever de soleil tropical, aura coûté pas moins de 2000 litres: trois tasses de café, 420 litres; un petit pot de lait, 200 litres; deux verres de jus d'orange, 340 litres; deux tomates, 6 litres; une pomme de terre, 25 litres; six tranches de pain, 240 litres; le beurre (25 g) et le fromage (50g), 375 litres; un peu de confiture et un fruit, 100 litres, une omelette de deux œufs, 270 litres !

Les données récemment publiées nous enseignent que le café est la culture qui consomme le plus d'eau, heureusement sous forme d'eau de pluie. En revanche la canne à sucre apparaît comme la culture la moins exigeante avec 142 litres par kilogramme produit. Tout l'intérêt de cette dernière culture pourra être saisi lors de la confection de biocarburants en la comparant aux autres produits employés : oléagineux ou aux autres céréales, maïs, blé, orge. Nous y reviendrons.

Construire des barrages et des retenues, forer des puits jusqu'aux nappes souterraines parfois très profondes, recueillir l'eau des fleuves, aménager des canaux ou des canalisations pour acheminer l'eau d'irrigation jusqu'au champ, tout cela nécessite des investissements financiers considérables. Comparés au prix de l'eau payée par l'agriculteur à l'arrivée, il faut bien reconnaître, quel que soit le pays, que le compte n'y est pas, même si les barrages sont aussi là pour fournir de l'énergie électrique et pour réguler le débit de cours d'eau qui peut s'avérer dévastateur en cas de crues.

Tout en considérant ces bénéfices secondaires, les économistes sont unanimes pour reconnaître que les gains financiers de l'irrigation sont marginaux ou négatifs. Ce qui signifie tout simplement qu'une part importante de nos impôts sert à subventionner l'irrigation. Ne peser l'activité de la ferme qu'à travers ses coûts et ses revenus, ne suffit pas à justifier le prix du litre d'eau d'irrigation.

4- Le climat

Entre 1850 et 2000, la contribution cumulée de l'agriculture en CO_2 atmosphérique est estimée à 264 milliards de tonnes (Gt) de carbone, alors que les émissions dues à l'utilisation des combustibles fossiles et à la fabrication de ciment seraient de 200Gt. D'autres auteurs inversent l'importance relative des contributions : de 81 à 191Gt de carbone pour l'agriculture et de 240 à 300Gt pour les autres (Fig 10).

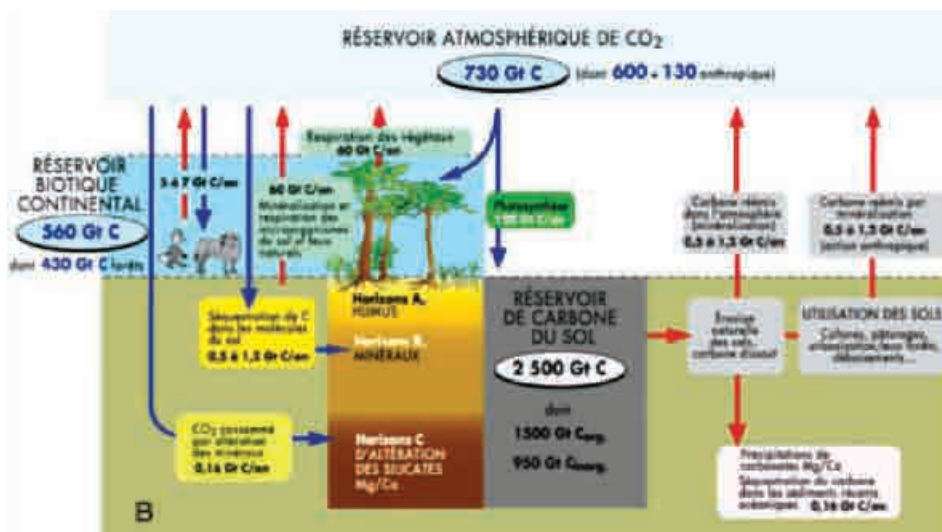


Fig 10 : Le rôle de l'agriculture dans la production de gaz à effet de serre a été minimisé

Peu importe les différences d'estimations, c'est la tendance qu'on doit considérer, surtout qu'il faudrait remonter au moins jusqu'à 1720 pour calculer pleinement la contribution cumulée de l'agriculture aux émissions de gaz à effet de serre. Ces différences d'estimations laissent également entrevoir les difficultés des hommes de sciences à cerner la réalité si complexe du devenir de la matière organique du sol. Les mécanismes biologiques et chimiques impliqués dans la séquestration du carbone ont de nombreuses implications secondaires qu'on cerne mal. La compréhension du stockage du carbone organique du sol repose très largement sur des expériences de laboratoire. Ce qui fait que les relations entre les processus de dégradation et la composition des communautés microbiennes du sol, ne sont pas bien prises en compte dans les modèles dynamiques traitant de la matière organique du sol.

Les émissions de gaz carbonique dues à l'usage du sol doivent rassembler celles provenant de la déforestation, qu'elle résulte de l'extension des champs, de l'exploitation du bois d'œuvre, ou des incendies de forêts mais aussi, celles dues à l'augmentation du bétail, à la conversion des terres, à la mise en labour, aux différentes cultures... et bien sûr, celles redevables à la diversité biologique qui œuvre dans l'obscurité, notamment les microorganismes. C'est la raison pour laquelle les modélisations numériques ou thermodynamiques, qui traitent du bilan carbone, aboutissent encore à des résultats bien insuffisants. Dans toutes les tentatives de modèles, la part attribuée au sol reste une inconnue de taille.

En comparaison, malgré la perte de matière organique due à l'exploitation du sol pendant trois siècles, la terre contient un stock de carbone impressionnant qui est 3,3 fois celui de l'atmosphère. Il constitue un réservoir de carbone estimé à 2500 Gt incluant 1500 Gt de carbone organique (inclus dans la matière vivante et morte) et 950 Gt de carbone inorganique (essentiellement sous forme de gaz, de minéraux).

Globalement, plus de 20% des terres arables sont aujourd'hui dégradées par érosion, et chaque année 0,5% de la couverture cultivable disparaît, perdue à tout jamais. Le carbone du sol qui est déplacé par érosion est estimé par an, entre 1 à 2 milliards de tonnes (Gigatonnes, Gt), soit de un à deux fois l'équivalent carbone de la production industrielle des États-Unis. L'homme est devenu le principal agent d'érosion en ayant multiplié par 2,4 les quantités de terre déplacée par l'érosion naturelle. Celle-ci, estimée à 11 milliards de tonnes de matière annuellement et naturellement transportée à l'océan, est passée désormais à 26 milliards de tonnes.

5- Quelles solutions pour une économie plus durable ?

Les Biocarburants

Aujourd'hui les sociétés industrialisées prennent conscience de la pénurie à venir des combustibles fossiles ou tout au moins de la nécessité d'exploiter des gisements de plus en plus profonds et des ressources à teneur en huiles carbonées réduites. Le coût des carburants fossiles devenant important, les pays tournent leur regard vers les plantes cultivées annuelles susceptibles d'être transformées en combustibles. On les appelle les biocarburants ou agro-carburants.

Pourquoi utilise-t-on des cultures à de telles fins? Est-ce justifié, alors que les denrées alimentaires semblent si précieuses pour assurer la sécurité alimentaire d'une population mondiale grandissante? Pour comprendre les nécessités énergétiques des pays et leur engouement pour les biocarburants, essayons de cerner comment se sont formées les combustibles fossiles et comment les plantes vivantes peuvent s'y substituer.

Le raisonnement est simple au départ. Ce que la nature a pu faire des végétaux en les transformant en combustibles fossiles, au cours de plusieurs dizaines de millions d'années, ne peut-il être fait à l'échelle de quelques jours ou semaines par les technologies humaines? La réponse est bien sûr oui, et les produits obtenus sont des biocarburants.

À partir de là, les pays qui sont, pour leur approvisionnement en pétrole, sous forte dépendance d'autres pays, peuvent palier, en partie, à leur besoin énergétique, en produisant leur biocarburants et en adaptant technologiquement les moteurs qui les utiliseront. Un double avantage pour leur économie. Le Brésil est, encore une fois, un bon exemple. Depuis la crise de 1929, ce pays travaillait sur le procédé de fabrication de carburant biologique pour équilibrer une balance commerciale compromise par les importations. Puis, avec les crises pétrolières des années 1970, la production de biocarburants s'est généralisée, grâce à la création, dans tout le pays, d'une infrastructure remarquablement efficace, avec des plantations dévolues, des usines de fabrication, des réseaux de distribution. Aujourd'hui, avec plus de 180 millions d'hectolitres, le Brésil est de loin le premier producteur mondial. Son industrie automobile a connu un développement insigne,

produisant à ce jour des véhicules pouvant indifféremment fonctionner à l'essence ou au biocarburant.

Deux biocarburants sont actuellement produits industriellement : les esters (composés organiques) issus d'huiles végétales et l'éthanol (alcool) issu des glucides (sucres) végétaux tels que le saccharose, l'amidon, la cellulose, tous trois produits par la photosynthèse.

Les esters d'huiles végétales sont obtenus à partir de graines d'oléagineux, colza, tournesol (dont on fait nos huiles domestiques), soja, palmier à huile. Ces extraits huileux ne peuvent pas être utilisés directement, ils sont transformés avec du méthanol (alcool obtenu à partir du bois d'arbre à croissance rapide comme l'eucalyptus, ou à partir de paille, de coque d'arachide, etc.). Le produit obtenu est un biodiesel appelé par les spécialistes EMHV (ester méthylique d'huile végétale).

L'éthanol est directement issu de la distillation de végétaux riches en sucres comme la canne à sucre, la betterave sucrière, le maïs, l'orge, le blé. Des pays, comme le Brésil ou les États-Unis, l'utilisent directement ou mélangé à l'essence. En Europe, il n'a pas été employé pur, mais sous forme ETBE (éthyl tertio butyl éther) afin d'éviter, en présence d'eau, une séparation entre alcool et essence lors des mélanges. Depuis 1998, l'Europe autorise les mélanges pour une vente à la pompe sans aucune indication pour le public.

Aujourd'hui, seuls les graines des plantes sont utilisées pour la fabrication de biocarburants dits de première génération. Et chaque plante n'a pas le même rendement énergétique à l'hectare. Le colza produit en moyenne 1200 litres d'équivalent pétrole à l'hectare (1200 l/ha) ou en gros 1,2 tep/ha, le blé 1700 l/ha; la betterave entre 2000 et 3000 l/ha; le maïs entre 3000 et 4000 l/ha; la canne à sucre 6800 l/ha. Chiffres éloquentes, montrant qu'il faudrait utiliser la canne à sucre qui, en plus, peut se contenter de sols dégradés, et consomme le moins d'eau douce (140 litres pour un kilogramme produit). Hélas, elle ne pousse pas sous tous les climats.

Les recherches sont activement menées dans de nombreux pays, pour augmenter le rendement en équivalent pétrole à l'hectare. Peu de solutions existent: ou bien, on trouve la plante rare dont le rendement serait miraculeux, et là peu d'espoir, ou bien on utilise la totalité du végétal et non plus qu'une partie des fruits ou des graines. Cette deuxième voie est celle qu'ont abordée la plupart des pays qui se destinent à la production de carburants d'origine végétale. Ces biocarburants sont dits de deuxième génération et ils permettraient de multiplier par un facteur 5 la productivité à l'hectare.

En 2006, un rapport de la commission européenne et de deux associations engagées auprès des industriels du pétrole et de l'automobile a été cité par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) pour évaluer l'intérêt des biocarburants. «L'éthanol, produit à partir des grains de blé, permet une réduction d'environ 30% de la consommation d'énergie fossile et 22% d'émission de gaz à effet de serre par rapport à une filière essence conventionnelle. La substitution du gazole par du biodiesel de colza, conduit à une réduction d'environ 64% de la consommation d'énergie fossile et de 53% des émissions des gaz à effet de serre. La substitution par des biocarburants de la deuxième génération, issus de résidus forestiers et agricoles et de déchets de papèterie, porterait ces

réductions aux alentours de 90%. Cette estimation se rapproche du bilan de l'éthanol de canne à sucre qui permet aujourd'hui les plus fortes économies d'énergie fossile (presque 100%) et de gaz à effet de serre émis (environ 85%), car les besoins énergétiques de la conversion du sucre en alcool sont (aussi) assurés par les résidus de canne.

Les biocarburants sont-ils, comme ce rapport le présente, la solution énergétique d'avenir en tant que carburants liquides? Une sorte de filon d'or vert ! Rien n'est moins sûr. Voyons pourquoi?

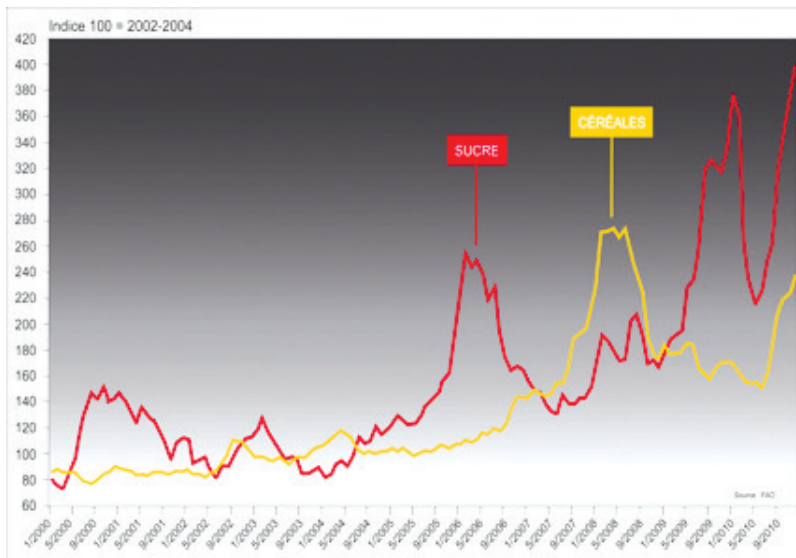


Fig 11 : Implication de la diminution des Gaz à effet de serre et de l'utilisation des biocarburants

L'engouement pour les biocarburants pousse de nombreux pays tropicaux à exploiter leur forêt. Ils y voient un nouvel Eldorado économique grâce aux débouchés offerts par les pays occidentaux. La demande de bois d'œuvre, de pâte à papier, avait permis d'entamer sérieusement les grandes forêts humides, et voilà que l'huile de palme s'en mêle! Prisée par l'industrie, cette huile végétale entre dans la composition de milliers de produits alimentaires, de savons, de cosmétiques et aujourd'hui les plantations de palmiers à huile permettent d'obtenir un carburant de meilleur rendement à l'hectare que le coprah, le colza ou le soja : deux à cinq fois plus! Et depuis une quinzaine d'années, les forêts tropicales humides s'effacent à toute allure de la carte de certains pays, pour faire face à d'immenses plantations, souvent illégales, de palmiers à huile. L'Indonésie, la Malaisie et désormais la Papouasie-Nouvelle-Guinée apparaissent comme les principaux pays producteurs d'huile de palme. Pour cela, ils auront sacrifié près de 100 millions d'hectares de forêt primaire.

L'exemple de ces trois pays laisse supposer que l'impact écologique de l'utilisation des biocarburants si souvent présenté comme bien meilleur que celui dû à l'usage des carburants fossiles, notamment au niveau du bilan carbone, n'est peut-être qu'une fausse

idée. Consommer pour les transports des biocarburants plutôt que des combustibles fossiles, permet sans aucun doute une économie de gaz à effet de serre rejeté dans l'air de 20 à 30%. Mais si on prend le temps de raisonner comme un scientifique et non plus comme un ingénieur, c'est-à-dire si l'on dresse un bilan écologique de chacune des étapes de fabrication des biocarburants et de ce qu'elles impliquent comme perte en carbone, en biodiversité, en eau d'irrigation, ou comme utilisation d'engrais ou de pesticides, on s'aperçoit que le résultat final ne plaide guère en faveur des biocarburants.

Des études récentes montrent au Brésil, en Asie du Sud est, aux États-Unis, que la conversion des terres de forêts tropicales, de savanes, de prairies ou tout simplement de cultures alimentaires, en terres à plantes destinées à la fabrication de biocarburants, entraîne un rejet annuel de gaz carbonique dans l'air de 20 à 400 fois plus important que celui libéré par les carburants fossiles qu'ils devraient remplacer ! Il faudrait des décennies, voire des siècles pour que le bilan carbone retrouve un équilibre en faveur des biocarburants (Fig 11). Prenons l'exemple des États-Unis qui projettent de produire, cinquante six milliards de litres d'éthanol à partir de cultures de maïs, ce qui équivaut en volume de biocarburants à 1/100^{ème} de la production pétrolière actuelle par an. Pour atteindre cet objectif, il faut convertir environ 13 millions d'hectares de forêts, et de terres à soja et à blé jusqu'alors utilisées à des fins de productions alimentaires. Les conséquences de cette conversion sont multiples. Tout d'abord les prix des denrées alimentaires, à en croire les modèles de calculs de scénarios proposés, vont connaître sur le marché national américain et sur les échanges mondiaux de fortes perturbations. On devrait voir augmenter le prix du maïs de 40%, celui du soja de 20% et celui du blé de 17%. Dans le même temps, les exportations des États-Unis déclineraient de 62% pour le maïs, de 31% pour le blé, de 28% pour le soja et par voie de conséquence une chute des exportations de la viande de porc de 18% et de 12% pour celle de poulet. Ensuite, cette conversion de terres produirait une augmentation de 25 à 50% de gaz carbonique au moins pour les trente années à venir. Soustraire environ 13 millions d'hectares de bonnes terres fertiles, «alimentaires», reviendrait à retirer 10% en poids de la production mondiale de grains à des fins de nourriture, 0,9% en poids de la consommation de viande et 0,6% de produits laitiers, et tout cela à une période où la croissance démographique exigerait une plus grande production de denrées alimentaires. Il faudrait donc que ces 13 millions d'hectares dévolus à la fabrication de biocarburants puissent être compensés par la mise en culture d'autant de terres, à condition qu'elles soient tout aussi fertiles que les terres nord-américaines. Dans le cas contraire, ce sont vraisemblablement de plus grandes surfaces de sols qu'il faudrait utiliser dans d'autres pays, avec toujours plus de labours, plus d'engrais, plus d'irrigation, plus de pesticides.

Et ces scénarios calculés ne prennent pas en compte bien sûr les changements importants que connaîtrait la biodiversité! Ni les incertitudes climatiques qui pourraient survenir brusquement, comme à l'été 2008 aux États-Unis, où les intempéries avaient conduit à inonder le grenier céréalier du pays, ou bien comme la sécheresse et les incendies qui ont décimé une partie de la production russe au cours de l'été 2010.

Si donc les biocarburants sont incontournables, il faut savoir quel en sera le prix à payer pour l'environnement. En revanche, il faudrait orienter leur fabrication à partir de plantes non utilisées pour nourrir les hommes et les animaux. En ce sens, avec les biocarburants,

on est en plein paradoxe. Les terres servant la chaîne alimentaire sont trop précieuses pour être détournées, surtout dans les pays qui en ont le plus besoin. Les pays pauvres subissent, plus que d'autres, le poids des factures pétrolières. Ils souhaitent pour s'en soulager, comme le fit le Brésil en son temps, développer une filière énergétique alternative à partir de la biomasse. Plusieurs nations africaines et asiatiques sont dans ce cas.

Le souci majeur pour les scientifiques est de résoudre ce problème et plusieurs solutions sont à l'étude. Des plantes pérennes de pays chaud comme le jatropha curcas avec un potentiel de production d'huile de 1800 litres à l'hectare sont sous les projecteurs de la recherche; et déjà la Chine et l'Inde encouragent sa culture en sachant que cette plante pourrait pousser dans toute une partie du continent africain et du Sud-Est asiatique. Au Japon, on se penche sur la valorisation des algues marines, sous le regard intéressé de plusieurs grandes compagnies aériennes. Mais n'oublions pas l'énorme potentiel de la canne à sucre capable de s'adapter à des sols dégradés et même à en stopper l'érosion. Pour l'instant, le Brésil reste le principal producteur d'éthanol, et a lancé, tout comme les États-Unis, plusieurs programmes de biotechnologie soit sur l'amélioration génétique de la canne, pour augmenter sa teneur en sucre, pour la rendre résistante à la sécheresse et tolérante au virus de la maladie dite de la mosaïque ; soit pour transformer la bagasse, ce résidu restant après en avoir extrait le jus, en éthanol par la modification d'enzymes impliquées dans la fermentation, cette réaction biochimique qui permet de transformer le sucre en alcool. Dans une poignée d'années, tous ces procédés seront lancés à une échelle industrielle.

Enfin, de très nombreuses publications scientifiques rapportent des résultats très prometteurs sur la transformation de la biomasse (résidus végétaux de tous ordres) et des déchets organiques domestiques ou animaux par procédés de pyrolyse ou microbiologique. L'intérêt se porte même sur un champignon (*Trichoderma reesei*) qui dégrade de façon complète les débris végétaux en sucres simples, offrant de nouvelles perspectives pour la fabrication de biocarburants de deuxième génération.

Cultiver autrement, c'est s'assurer d'une économie agricole durable.

Le labour aère la terre en la retournant, ce qui était son but, puisque la terre, ainsi «ameublie», permettrait aux racines des plans cultivés de mieux la pénétrer, tout en supprimant les mauvaises herbes. Aérer veut dire oxygéner! La matière organique qui était enfouie, prête à fertiliser les racines des végétaux, est subitement portée à l'air et s'oxyde en gaz carbonique qui s'échappe de la terre pour gagner l'atmosphère. Et avec lui, la fertilité part en fumée. Bien plus, l'eau liée à la fine porosité des argiles arrangée en agrégats, s'évapore et le sol, livré aux rayons du soleil, voit sa température de surface multipliée par deux ou trois, asséchant davantage la terre. Microorganismes, champignons filamenteux, vers de terre et bien d'autres créatures vivantes diminuent alors de façon marquante.

Après un tel constat ne pourrait-on pas cultiver sans labourer ou tout au moins en réduisant le travail du sol? Depuis des premières expériences concluantes menées à Rothamsted dans les années 1930, de nouvelles méthodes de mise en culture, mélangeant pratiques anciennes et modernes, furent proposées. En gros, trois méthodes de techniques culturales

simplifiées sont de nos jours utilisées dans de très nombreux pays où l'agriculture joue un rôle important. Il s'agit des cultures sous couvertures ou sous paillis («mulch tillage»), le non labour («no-tillage»), et le labour réduit («reduced till»). Bien que ces trois méthodes diffèrent, elles tendent toutes à préserver et développer un sol fertile, un milieu vivant, (et cela) requiert une attention quotidienne qui permet à terme d'assurer des niveaux de production équivalents voire supérieurs aux méthodes traditionnelles tout en autorisant des réductions d'intrants. Car il ne faut pas rêver, ces méthodes ne suppriment pas les pesticides, elles les limitent. Elles ne les emploient que spécifiquement avant le travail limité du sol ou avant le semis direct. Limiter le travail du sol ou encore mieux, le réduire à un simple sillon fendu par un disque ou un couteau, le temps d'y déposer le semis puis refermé aussitôt, reste une façon de préserver son intégrité naturelle. La technique du non labour ou du semis direct convainc de plus en plus de pays. Elle est la forme la plus accomplie de la simplification du travail du sol et de sa préservation. Aujourd'hui, près de 100 millions d'hectares à travers le monde y sont consacrés, quelque soit le type de sol et quel que soient les conditions climatiques. En Amérique du Nord (États-Unis et Canada), ce sont entre 20 et 25% des terres cultivées et environ 50% au Brésil, Paraguay et Argentine, mais déjà tout le reste de l'Amérique latine s'y est mis. L'Inde, la Chine, l'Afrique du Sud, l'Australie consacrent des millions d'hectares à ce procédé de culture... mais l'Europe reste drapée dans ses certitudes ancestrales : seulement 1,5% des terres sont dévolus au non labour ! Et lorsqu'on sait que la Grande-Bretagne à elle seule se sert de cette méthode pour un tiers de ses terres à céréales, on imagine la réticence majoritaire chez la plupart des autres européens. En France, seulement 0,7% des sols cultivés sont consacrés au semis direct.

Le semis planté sans retourner la terre, sous les résidus ou paille de la végétation précédente, conduit à une culture à bon rendement. Quel que soit le sol. Et en plus, l'évaporation de l'eau du sol est considérablement réduite, la température de surface chute d'un facteur deux, l'érosion est diminuée d'un facteur treize pour les champs dont la pente est de 5% et d'un facteur 23 pour un modelé avec une pente de 9%. Ce qui signifie tout simplement que l'érosion due au facteur humain disparaît tout simplement avec des valeurs de moins d'une tonne à l'hectare et par an. Le ruissellement minimisé, ce sont des tonnes de fertilisants à l'hectare qui ne sont plus entraînés avec l'argile vers les rivières et les fleuves diminuant leur pollution. Mais avec le non labour (ou le semis direct), la fertilité en matière organique se reconstitue dans les dix premiers centimètres et les populations de vers de terre se multiplient par deux ou trois, entraînant rapidement une meilleure infiltration des eaux de pluie, ce qui est particulièrement important pour les terres des pays frais et humides qui ont tendance à s'engorger sous les pluies fréquentes.

L'augmentation de la matière organique dans les premiers centimètres du sol s'accompagne d'une augmentation de potassium, de phosphore, d'azote, qui, protégés au sein des agrégats argileux, sont moins lessivés, moins entraînés en profondeur par les eaux de percolation. Et tant que le sol reste humide, leur disponibilité pour les plantes est totale. C'est une économie d'engrais potentielle. Mais les bactéries pullulant à nouveau, elles peuvent entraîner par leur action une dénitrification et libérer de l'oxyde nitreux vers l'atmosphère.

Tout est-il si merveilleux dans ces pratiques de semis direct? Non, mais c'est l'approche de travail qui préserve le mieux le sol et qui lui restitue ses fonctions naturelles. Si à cela s'ajoutent les économies d'énergie (fuels essentiellement) estimées entre 10 et 20% en moyenne (voire jusqu'à 50% dans des fermes expérimentales du Brésil), la moindre usure des outils et engins agricoles, et donc une économie du temps de travail, on peut dire sans hésiter que la pratique agricole du semis direct présente d'énormes avantages comparée au labourage moderne devenu, en un siècle seulement, une tradition avérée.

Les fertilisants chimiques tels que l'azote, le phosphate, la potasse, sont employés pour compenser le manque en nutriments d'un sol, soit parce que sa composition minérale et organique originelle est déficiente, soit parce que cette dernière s'épuise par excès d'exploitation agricole. Les produits servent à obtenir des plantes de qualité et des récoltes suffisantes.

Au début du XXI^e siècle, le monde agricole avait recours à près de 140 millions de tonnes de fertilisants par an. Avec un souci évident de diminuer leur impact sur la dégradation de l'environnement, de nouvelles formes de fertilisants apparaissent sur le marché. Ceux-ci présentent des dissolutions plus lentes et mieux contrôlées dans les horizons supérieurs du sol, rendant l'utilisation des nouvelles formes d'azote mieux adaptées à la sauvegarde des nappes, et des rivières. Mais leur prix plus élevé et la réponse des plantes cultivées, inférieure par kilogramme d'azote, limitent leur généralisation.

Il paraît impossible de se passer de fertilisants minéraux qui restent un facteur limitant de la production agricole. Car chaque récolte soustrait du sol une quantité donnée de nutriments minéraux qu'il faut connaître pour éviter les carences. Par exemple, en pays tempéré une production d'environ 8 tonnes de grain de blé à l'hectare ponctionne 25 kilogrammes de phosphore et autant de potassium. Cependant, un sol développé sur granite ne présentera pas les mêmes besoins qu'une terre sur calcaire. Le retour régulier de nutriments à la terre est une obligation.

Les ajouts d'engrais y pourvoient, car dès la première récolte, la terre perd de son contenu nutritionnel. Ils restent indispensables mais peuvent être considérablement réduits dans leur usage grâce à la connaissance que nous avons désormais de leur cycle chimique, de leur interaction avec l'argile du sol et les racines des végétaux, de leur actions sur la vie diversifiée de la terre. Leur diminution et leur usage plus précis s'ils s'accompagnent de techniques de conservation du sol que nous avons précédemment mentionnées, constitueraient à n'en pas douter une révolution dans la façon de traiter le sol arable pour nos besoins. Bien plus, certains engrais peuvent être remplacés s'ils devaient contenir trop de cadmium ou autres métaux toxiques, par de la farine de roches basaltiques, qui a prouvé son efficacité sur le rendement des cultures des sols brésiliens.

Réduire les pertes et les gaspillages

Les produits alimentaires entre le champ et l'assiette connaissent une grande perte. Il s'agit d'un tiers des aliments produits pour la consommation humaine soit 1,3 milliard de tonnes, ce qui est considérable (Fig 12). En gros ce sont 30% de céréales, 20% de viande, 45% des fruits et légumes, 45% de racines et tubercules. Les pertes sont de tous

ordres, mais dans les pays sous-développés, le stockage apparaît comme un facteur de pertes importantes (essentiellement par des bactéries et microchampignons) et il serait nécessaire d'envisager une politique massive de construction de silos métalliques.



Fig 12 : Ampleur des pertes et gaspillages : un tiers des aliments produits pour la consommation humaine, soit 1,3 milliards de tonnes (FAO, 2011)

Changer de paradigme économique

Les révolutions agricoles puis industrielles notamment au cours du XX^{ème} siècle avec une exploitation sans retenue des ressources naturelles a donné naissance à une croissance économique linéaire basée sur la consommation dont les coûts climatique, écologique et humain sont considérables (indicateurs de bien-être en décroissance depuis 50 ans). Récemment, les coûts énergétiques ont été en augmentation considérable après les accidents survenus à Fukushima pour le nucléaire et dans le Golfe du Mexique pour le pétrole, car désormais le coût du risque est venu s'ajouter à la simple exploitation du combustible. Et de plus, le modèle économique actuel détruit plus qu'il ne crée d'emplois (impact prévu sur le PIB: chute de 0,7% à 2,5% en 2060).

Il paraît urgent de changer de paradigme économique !

Le monde change et vite ! Les progrès en santé et en nouvelles technologies de la communication et de l'information remodelent notre économie. Les nouvelles énergies font fureur. C'est le monde de demain et il s'ouvre au débat car les sociétés s'y invitent.

À la croissance économique linéaire que nous connaissons depuis la fin du XIX^e siècle se substituent l'économie de la connaissance avec notamment le biomimétisme dont les OGM font évidemment partie, l'économie circulaire avec la chasse au gaspillage, la réutilisation et le recyclage des métaux, du plastique, des bois, du papier, du verre, des composants électroniques...; l'économie collaborative par l'échange au sein des sociétés et entre les sociétés; la mise en réseau de l'information, de la connaissance, des cultures et des libertés démocratiques; la prise de décision citoyenne, etc.; l'économie verte qui fait appel à une diminution drastique des gaz à effet de serre et qui cède la place à la préservation des sols, de l'eau douce, des mers, des lacs et des forêts à qui il faudra désormais donner un prix et non plus justifier de l'indice de performance sociale sur le seul indice de PIB.

Pour autant ces économies de substitution sont-elles dépourvues de danger ? Non bien sûr. Les énergies vertes consommeront de nombreux métaux stratégiques et l'accaparement des réserves à venir engendrera de nouveaux conflits. Le cas des terres rares est démonstratif par exemple.

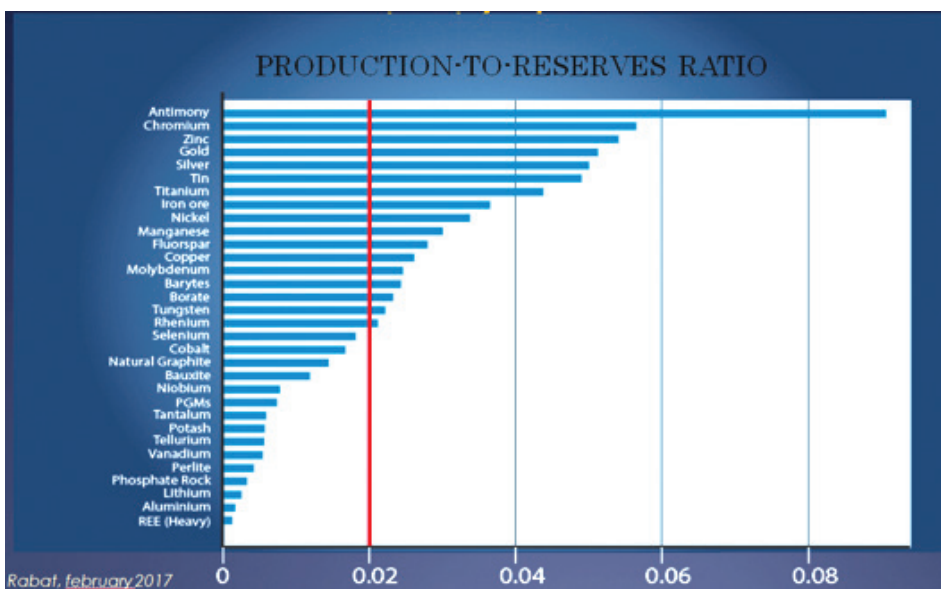


Fig 13 : L'économie verte ne sera pas rose : crise à venir des métaux

Pour qu'une éolienne soit performante, il faut y installer des générateurs contenant jusqu'à 600kg de néodyme qui, en soi, n'est pas radioactif, mais qui est extrait de roches qui le sont (Fig 14). Et les endroits où le néodyme est exploité ont une radioactivité de l'air bien supérieure à celle de Tchernobyl. Quant aux batteries électriques des véhicules, elles nécessitent dans leur fabrication des terres rares, dont le néodyme et le samarium. Le samarium a 7 isotopes naturels dont le Sm147 qui est radioactif.

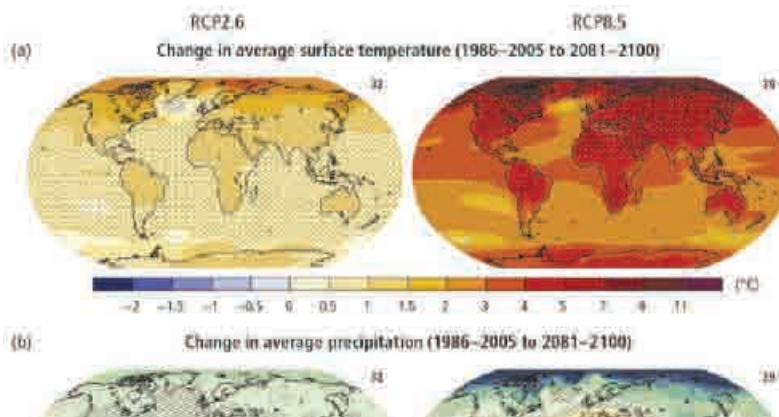


Fig 14 : L'énergie verte peut être polluante : éoliennes avec aimants de générateurs contenant 600 kg de néodyme

L'exploitation massive de ces minerais devrait jouer un rôle non négligeable sur l'économie de transition vers les énergies durables.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci Pr. NAHON de cette très belle présentation qui donne beaucoup à réfléchir. Merci d'avoir partagé avec nous votre expertise sur les conséquences économiques du changement climatique.

Je veux profiter de la liaison directe avec le Pr. NAHON pour demander à la salle s'il y a une ou deux questions pour lui.

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

Merci beaucoup. Excellente présentation et un contenu extraordinaire. Si vous pouvez nous dire un mot sur le concept de l'économie circulaire.

- **Pr. Nouredine EL AOUI** (CESDE)

Bonjour Pr. NAHON, j'ai une petite question à vous poser. Le paradigme dont vous avez donné la configuration est un paradigme de demain. Sur la base du diagnostic que vous avez fait, effectivement il n'y a pas d'autres solutions. Evidemment, quand on regarde un petit peu comment les choses se déroulent, en termes de transition énergétique, environnementale, etc. dans le monde, la tendance est plutôt pessimiste. Est-ce que vous ne pensez pas au cas de la Chine avec l'amorce d'une planification stratégique de cette transition écologique et environnementale; est-ce qu'il n'y a pas, vu la puissance potentielle de la Chine sur le plan économique, une lueur intéressante à entrevoir? Merci.

- **Pr. Daniel NAHON** (Université Aix-Marseille, France)

Je voulais vous dire que, effectivement, on ne se rend pas compte de ce qu'on mange ou de ce qu'on boit parce qu'il n'y a pas de normes aujourd'hui pour mesurer les produits radioactifs dans nos aliments ou dans notre eau. Comme pour les hormones, on boit des eaux avec un taux élevé d'hormones parce qu'il n'y a pas de normes pour mesurer ces hormones. Il faudrait un jour savoir pourquoi nous avons des problèmes de santé considérables actuellement et en particulier chez les jeunes.

La Chine, qui est un pays qui compte considérablement, a pris tout-à-fait conscience des pollutions qu'elle a engendrées. En tous les cas, en agriculture, la Chine est entrain de revoir complètement son plan agricole et à une vitesse beaucoup plus rapide que ne pouvaient le faire les pays européens.

En France, c'est un vrai problème, les gens ont une tradition et ils ne veulent pas changer la tradition. Quand on leur parle de non labour, ils vous disent que c'est bien ailleurs mais pas chez eux.

En Chine, tout est entrain de changer par suite de prise de conscience des pollutions et des drames que cela apporte sur le plan santé. Alors, ils changent carrément et en même temps ils sont à la recherche de minerais précieux. Ce sont eux qui sont les gardiens des terres rares et des minéraux stratégiques dont nous avons besoin pour nos lasers, pour notre

médecine, pour nos tubes cathodiques, pour notre industrie de demain, la Chine a réduit, et je crois qu'il y a un grand problème à l'OADC, ses quantités de métaux stratégiques qu'elle exploite et en particulier les terres rares.

Le Japon fait des découvertes en profondeur beaucoup très riches en terres rares. Si aujourd'hui vous voyez la Chine entrain de se disputer en Mer de Chine avec ses voisins pour essayer de créer des îlots et faire de véritables porte-avions, ça veut dire tout simplement qu'il y a des métaux stratégiques en profondeur. Ce qu'il y a à craindre pour l'exploitation de ces métaux, c'est une crise. Et quand vous regardez les autres crises, la première a été réduite par la guerre qui a duré dix ans, et l'économie de guerre qui a réduit le crash de 1929. Regardez la crise pétrolière ce qu'elle a amené comme conflits et il est à craindre que la grande crise commencée en 2008 ait un nouveau rebondissement avec ses métaux et ses richesses et ne termine par des conflits armés plus graves que ce que nous avons connus jusqu'à présent. Je ne suis pas très optimiste comme beaucoup de mes amis qui étudient ces économies de minerais. Espérons que les grands pays, comme la Chine, auront suffisamment de sang froid pour éviter cette crise qui s'annonce malheureusement. D'autres questions.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup Pr. NAHON et encore une fois, au nom de mes collègues, nous vous souhaitons une très bonne santé à vous et à votre petite famille. Merci.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Nous entamons nos travaux de ce matin par écouter le Pr. Assobhei, qui va nous parler de la Baisse de la pêche de poissons dans les mers et rôle de l'aquaculture.

BAISSE DE LA PÊCHE DE POISSONS DANS LES MERS ET RÔLE DE L'AQUACULTURE

Omar ASSOBBEI

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

***Président de l'Université Sidi Mohammed
Ben Abdallah, Fès, Maroc***



Résumé :

La pêche et l'aquaculture sont des secteurs stratégiques à l'échelle planétaire au regard de leurs impacts considérables sur l'économie, les sociétés, l'emploi et l'environnement, entre autres. Elles sont prometteuses de la sécurité alimentaire et de nombreux équilibres économiques. Cependant, elles font l'objet de mutations radicales, en raison du changement climatique, de la surexploitation et de pressions anthropiques croissantes.

D'après la FAO (2016), la production mondiale de la pêche de capture s'élevait à 93,4 millions de tonnes en 2014. La consommation mondiale de poissons par habitant dépasse les 20 kilos par an. Près de 57 millions de personnes travaillaient dans le secteur primaire de la production de poisson, dont un tiers dans l'aquaculture. La production globale de l'aquaculture a atteint les 73,8 millions de tonnes en 2014, dont un tiers de mollusques, crustacés et autres animaux hormis les poissons.

Actuellement, la surpêche prend des dimensions alarmantes et menace de nombreuses espèces de disparition. En 2013, quelque 31,4 pour cent des stocks de poissons commerciaux, régulièrement surveillés par la FAO, étaient surexploités. Les écosystèmes marins souffrent de menaces grandissantes qui posent de réelles problématiques de durabilité des ressources.

Le Maroc n'est pas écarté de ces tendances. Avec une zone économique exclusive de plus d'un million de Km² et un littoral de 3500 Km, il dispose d'importantes ressources halieutiques qu'il faut valoriser, sauvegarder et exploiter raisonnablement. Le Maroc a accordé, dans le cadre de ses politiques publiques et depuis longtemps une attention particulière au secteur de la pêche et a récemment créé une Agence Nationale de Développement de l'Aquaculture.

L'approche adoptée dans cette présentation consiste à analyser l'état des lieux en matière de ressources halieutiques aussi bien dans le Monde qu'au Maroc. Quelques réflexions sur les alternatives et perspectives de l'action pour développer le secteur ainsi que les opportunités de l'aquaculture seront mises en exergue. L'accent doit être mis sur la conservation des ressources marine et des activités de pêche responsable. Un travail international concerté doit être investi pour gérer les ressources transfrontières et les aires marines protégées sont à déterminer et convenablement traitées.

Au Maroc, les objectifs annoncés par la loi de finances et les programmes de développement en cours pour le secteur (Plan Halieutis par exemple) seront discutés, en mettant l'accent sur les défis, les orientations de durabilité qui s'imposent et le rôle de la recherche scientifique et technique pour la valorisation des ressources halieutiques et de l'aquaculture, en respect des équilibres en place et des exigences du marché en termes de qualité, de sécurité et de compétitivité des produits. Il est donc prioritaire de renforcer le potentiel de recherche en sciences marines (structurations, axes prioritaires, financement), et mettre en oeuvre des visions stratégiques viables dans ce secteur à court et à moyen terme.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci Pr. Assobhei de cette mise au point sur l'aquaculture au Maroc, un secteur très prometteur et qui pourrait encore se développer plus si on fait l'effort de le valoriser et par la recherche scientifique dans ce domaine.

Je vous propose qu'on ouvre le débat avec bien sûr s'il y a des questions pour le Pr. Assobhei, et avant de commencer le débat général j'aimerais vous donner deux informations. La première concerne le Pr. BOPP, qui s'excuse de ne pouvoir participer avec nous au débat de ce matin, il est rentré à Paris dans la précipitation pour des raisons familiales. La deuxième information, d'ordre pratique, concerne la photo qui immortalise la session plénière 2017 pour les membres de notre Académie sera juste après la fin de ce débat.

Séance V
DÉBAT GÉNÉRAL

DEBAT GENERAL

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

M. Le Directeur des Séances, M. le Secrétaire Perpétuel,

C'est la première fois que nous avons ménagé un moment pour pouvoir débattre ensemble de ce que nous avons entendu, de ce que nous pensons. Je voudrais, pour ma part, dire qu'ayant à peu près suivi le déroulement de la session, je pourrais d'ores et déjà dire que nous avons réussi à maintenir un certain équilibre entre ce qui était peut-être du domaine climatologique et du domaine des ressources de l'océan même si ce n'est pas essentiellement le nombre égal.

Sur la partie consacrée au climat, je pense que nous avons un peu atteint le but, mais ce qui m'a frappé personnellement c'est deux mots clés que j'ai entendu répéter par tous les conférenciers : complexité et incertitude. Tous ont réclamé plus d'études, plus de recherches pour affiner ce que nous savons déjà. Nous sommes sans aucun doute, selon les géologues, dans l'anthropocène, une petite ère géologique où c'est l'impact humain qui compte. Alors, je me disais qu'est-ce qu'on fait au Maroc? Nous allons le voir au niveau du panel. Il faudrait après la météorologie, qui s'est beaucoup développée et qui fait un travail remarquable, qu'il y ait maintenant des cellules qui se constituent pour essayer d'approfondir et de passer de la météo à la climatologie qui n'est pas la même chose.

Qu'est ce que le Maroc peut en tirer? Nous le verrons tout à l'heure, c'est clair qu'il y a de la vulnérabilité. Ce que je voulais dire est sur le positif. Evidemment, si on prend ces exposés les uns après les autres, la conclusion c'est d'être frustré et de dire que tout va mal. Si nous continuons à faire «business as usual», nous allons vers 4°, 5° qui sait mais le côté positif est que, effectivement, il y a quelques lueurs. Il y a que l'accord de Paris soit respecté, que les recommandations de la COP22 soient mises en œuvre. Dans le cas de notre pays, qui est très peu polluant (0,17% des émissions totales), nous avons une transition énergétique en route (42% d'énergie renouvelable en 2020 et 52% en 2030) et nous faisons de notre mieux pour réduire encore plus ces émissions. Comme l'a dit Mohamed AIT KADI, ici même, nous nous adaptons; nous adaptons notre agriculture au changement climatique.

Cet espace de débat me paraît important, qu'il faudrait conserver lors des sessions futures, et me paraît-il ce débat devrait être encourageant et engageant. L'Académie a un rôle à jouer, intellectuel, moral voire financier chaque fois que cela est possible.

Voilà ce que je voulais dire M. le Directeur des Séances pour lancer le débat.

- **Pr. Mohammed KABBAJ** (CESDE)

J'ai entendu depuis hier que l'aquaculture n'a pas marché au Maroc, mais je n'ai pas entendu d'explications précises. Il doit y avoir des raisons. Est-ce qu'il y a eu une analyse du passé comparativement aux autres pays qui ont réussi. Quelle est la nature des difficultés, est-ce d'ordre financier ou liée au marché. Si on ne découvre pas les raisons, on ne pourra pas progresser. Dans les années 80, ça marchait dans le nord et dans le sud puis tout s'est arrêté. Merci.

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

Je ne suis pas spécialiste du sujet, mais à ma connaissance il n'y a pas d'études non plus. Je pense dans les années 80, le problème de la ressource ne se posait pas au Maroc, il n'y avait pas de débouché localement et on n'était pas compétitif. De plus il n'y avait pas de maîtrise scientifique marocaine. A l'époque, les deux exemples phares de l'aquaculture étaient la société MAROST (Marchica, Nador) et la société d'ostréiculture d'Oualidia. Puis tout s'est effondré, MAROST a fermé en 2008-2009 pour des questions de salubrité du milieu et des coûts de production et à Oualidia pour des problèmes de salubrité de l'écosystème. Les responsables de l'Agence Nationale pour le Développement de l'Aquaculture (ANDA) sont parmi nous et sont plus habilités à apporter des éclaircissements sur cette question. Aujourd'hui, nous avons une stratégie et une vision et c'est une très bonne chose d'avoir une Agence Nationale pour le Développement de l'Aquaculture au Maroc.

- **Pr. Bendahhou ZOURARAH** (Enseignant chercheur à l'Université Chouaib Doukkali, coordonnateur national d'un pôle de compétences en sciences et techniques de la mer, Réseau REMER)

D'abord, je tiens à remercier l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques d'avoir organisé ce débat et nous donner l'occasion d'échanger et de débattre.

Il n'est plus à démontrer que les effets du changement climatique sur l'océan et le littoral. Tout le monde s'accorde sur leur réalité, ce qui montre en effet la certitude des risques qui sont liés à savoir la submersion, le recul du trait de côte, intrusion saline, etc. Aussi, il n'est plus à démontrer le rôle de la recherche scientifique dans la connaissance des changements globaux. Tous les pays qui avancent dans le domaine ont une recherche scientifique organisée et soutenue. Les chercheurs en océanographie ont besoin de la donnée soustraite et de l'observation en continu. Je rejoins le Pr. Albert SASSON lorsqu'il a évoqué deux mots : la complexité et les études complémentaires.

Quelle est la contribution de l'observation aux dispositifs d'adaptation au changement climatique mis en place au Maroc? Quelles sont les avancées récentes et futures au Maroc dans la capacité de prévision des effets du changement?

On est sûr que plusieurs études existent actuellement (les rapports du GIEC, rapports des différents départements ministériels, thèses de doctorat, publications scientifiques) et dans tous ces documents on parle de vulnérabilité, de risques, dégradation des côtes et de la biodiversité. La problématique qui se pose à nous au Maroc c'est la non disponibilité de sites de mesure et que l'existant est très faible. Donc, on est obligé d'utiliser des données

des sites éloignés ou approximatifs, d'où le risque d'atteindre la consistance de ces études en dépit de la qualité des chercheurs qui sont impliqués.

L'océan a pris sa place dans le cadre de la COP21 et l'observation du littoral marocain doit être une priorité. Le réseau REMER est entrain de monter une réflexion relative à la mise en place d'un observatoire et nous sommes, bien sûr, prêts à travailler en étroite collaboration avec tous les partenaires pour assurer la formation des jeunes dans le domaine de l'océanographie afin d'assurer la relève.

- **Pr. Naima HAMMOUMI** (Université Mohammed V de Rabat et coordinatrice nationale du Réseau Marocain des Sciences et Ingénierie de la Mer)

Merci M. Le Directeur des Séances. Certaines interventions qu'on a écoutées durant cette session ont mis l'accent sur le manque d'informations et des données au large du Maroc, j'ajouterai qu'il y a une méconnaissance du fonctionnement des espaces littoraux et marins. C'est vrai, il y a eu des études, mais c'est des études parfois sans suivi et sans monitoring. Il est temps d'adopter une stratégie pour développer la recherche scientifique et la formation en océnologie. Le Maroc, avec ses 3.600 km de côtes sur trois façades maritimes différentes (façade atlantique, façade méditerranéenne et détroit de Gibraltar) et avec une superficie de ses espaces marins (de plus d'un million de km² et supérieure à sa superficie continentale), a un atout très important dont les intérêts économiques ont été bien démontrés. Mais ces espaces constituent également un handicap, en particulier face au changement climatique. Ça a été dit, en cas d'inondations, il y aura des pertes de vie, des pertes de biens et de ressources naturelles et à long terme il y aura une migration des populations humaines. Il y a d'autres défis : la connaissance des espaces nous permettra de mieux valoriser et protéger les ressources, de mieux lutter contre des accidents de marrés noires, mais surtout il y a un défi majeur pour la souveraineté de notre pays. C'est l'extension de notre plateau continental qui se pose avec une grande acuité aujourd'hui. Nous pourrions prolonger aussi nos frontières maritimes si nous menons les études nécessaires à cet effet. Merci.

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

Muchas gracias señor presidente. En primer lugar, quiero agradecer al Secretario Perpetuo y a la Academia por la elección del tema para esta sesión de apertura que creo que es el momento oportuno para contribuir a desvelar y a luchar contra una de las manifestaciones que más afecta a la evolución de la sociedad en su conjunto. El profesor Albert SASSON señalaba que ha quedado claro a lo largo de las intervenciones de los participantes de la sesión que hay dos palabras claves que son objeto de esta temática: la complejidad y la incertidumbre. Me gustaría añadir otra tercera la transdisciplinaridad. Si se ha puesto de manifiesto de una forma clara y contundente que el cambio climático implica modificaciones en prácticamente todas las pautas del comportamiento humano que nos afectan.

Y desde esta perspectiva yo creo que el abordaje ha de justamente incluir esa transdisciplinaridad con abordaje de distintas perspectivas. En las presentaciones se ha puesto de manifiesto la exactitud del diagnostico (elevación de la temperatura, acidificación de los océanos, elevación del nivel del mar,...). Me gustaría parafrasear las palabras

de una persona muy conocida para los miembros de la Academia el ex director general Federico MAYOR: el diagnostico está perfectamente hecho. Además del diagnostico hemos de buscar e identificar y poner en marcha medidas que contribuyan a la solución de los problemas. A mí me gustaría haber oído también algunas de las significativas que no solo ya están en marcha para luchar desde la perspectiva del cambio climático contribuyendo a la economía verde y a evitar los incrementos de la concentración de los efectos de los gases del efecto invernadero sino la utilización de la transdisciplinaridad que hoy día son fundamentales. Desde el punto de vista de la biotecnología yo creo que El Doctor DUARTE menciona algunas de las consecuencias que permiten desarrollar aplicar algunos avances tecnológicos. Es verdad que no es fácil.

Yo creo que el cambio climático es lo mismo que el cáncer y la lucha contra el cáncer puede ser un modelo para la lucha contra cambio climático.

Muchas gracias señor presidente.

- Pr. Malik GHALLAB (CSMI)

A mon tour de contribuer à notre débat par quelques remarques sur le sujet qui nous préoccupe lors de cette session. Cette thématique soulève et met en avant des défis pour la recherche, mais des humains et sociaux pour toute l'humanité. Ce sont des défis de civilisation qui sont vraiment critiques. Certes, comme l'a souligné Pr. SASSON, on est devant, sur le plan scientifique, un champ d'une très grave complexité et dans lequel il y a beaucoup d'incertitudes mais il y a néanmoins quelques certitudes.

L'une des certitudes, que j'ai relevée dans plusieurs interventions excellentes hier, c'est que les processus qui sont mis en avant, et qui nous ont été détaillés, mettent en avant des boucles de contre-réactions positives. Ce qui veut dire qu'on est face à des systèmes essentiellement instables. Ça c'est une certitude qui nous impose de rechercher et de mieux comprendre, mais surtout d'élaborer des stratégies assurant une meilleure résilience par rapport à un certain nombre de phénomènes.

Parmi les caractéristiques de la thématique de cette session, il y a cet aspect d'une dynamique moins instable qui est enclenchée et qui va concerner l'humanité, sans doute sur plusieurs siècles. L'autre caractéristique de notre débat, que j'ai relevée : c'est un domaine où le scientifique se doit de parler au décideur. Plusieurs intervenants ont insisté sur ce point du besoin de passer de la recherche à l'aide à la décision. Merci.

- Pr. Nouredine EL AOUI (CESDE)

Merci, je voudrais prolonger la question de M. KABBAJ et je m'adresse au Pr. ASSOBBEI qui a parlé ce matin de l'importance du potentiel que recèle l'industrie de la pêche pour le Maroc. Cette question renvoie à une problématique, que la théorie économique a commencé à traiter il ya quelques années dans le sens d'une redéfinition des droits de propriété. Pendant longtemps, les droits de propriété se partagent entre les droits privés, les droits publics, et aujourd'hui il y a une notion de troisième catégorie des droits de propriété qu'on appelle le commun. Les ressources de la mer font partie de ce commun qui appartient à l'ensemble d'une communauté de populations. Par conséquent, pour

revenir à la question de M. KABBAJ, qui demande pourquoi ça ne marche pas comme on aurait voulu que ça marche, je crois qu'il y a une évolution des droits de propriété vers le commun. Ce qui implique d'ailleurs une forme de gouvernance et que peut-être la solution peut résider dans cette prise en charge par le commun, et ça implique à mon avis une redéfinition du droit marocain. Lequel droit ne contient pas de manière précise la question telle qu'elle aujourd'hui traitée, pas uniquement dans la théorie économique, mais aussi dans d'autres disciplines. Est-ce qu'il n'y a pas là une piste justement à creuser pour améliorer ces formes d'anticipation, d'adaptation et d'action sur les incertitudes qui par définition ne sont pas comme les risques probabilisables. Une gestion par le commun des ressources naturelles et de l'environnement peut, à mon avis, constituer une percée, non seulement par rapport à notre législation mais aussi par rapport aux formes de gouvernance.

- Pr. Claude GRISCELLI (CSTV)

Je suis moi-même très intéressé par le thème de cette session et je me réjouis d'avoir appris beaucoup de choses. Je suis un des représentants médecins ici, nous sommes assez nombreux, et je trouve que la santé a été relativement absente hier et aujourd'hui. Pr. Daniel NAHON nous en parlé tout de même en disant que la nutrition jouait un rôle important, mais il y a d'autres conséquences possibles en termes de santé par le long terme. Des variations de température qui peuvent être brutales, nous avons vécu cela en Europe en 2003 avec, ne serait-ce qu'en France, 13.000 personnes âgées qui sont décédées prématurément et aussi quelques enfants en bas âge. Ces modifications de température peuvent facilement encore survenir ici ou là notamment dans les pays qui ne sont pas habitués à vivre avec la chaleur.

Il y a d'autres conséquences, et en particulier sur les maladies infectieuses soit liées aux vecteurs, comme l'anophèle par exemple qui peut se développer de façon beaucoup plus massive dans certains pays où il est peu représenté aujourd'hui tel que le Maroc. On sait très bien que le paludisme est une maladie terrible qui touche des millions de personnes et cause environ 5 à 600.000 décès chaque année. Ce n'est pas la seule maladie que l'on peut craindre, à côté il y a la dengue ou d'autres arboviroses qui sont elles-mêmes transmises par certains vecteurs. C'est vrai aussi pour la bilharziose qui touche certains pays comme l'Egypte. Et puis il y a un sujet, qui n'est pas sans importance, qui est la pollution de l'air qui augmente de par le monde et on sait que certaines maladies cardio-vasculaires ou pulmonaires sont très sensibles à la pollution. Je pense qu'on ne peut que mentionner l'importance, en termes de santé, des modifications climatiques et suggérer qu'il y ait là aussi une réflexion et des activités de recherche en terme de santé publique sur les grands sujets que je viens d'indiquer (maladies infectieuses notamment celles transmises par les vecteurs et aussi certaines maladies bactériennes ou virales et les facteurs liés à la pollution qui peuvent entraîner des décès prématurés). Merci.

- Pr. Mostafa BOUSMINA (Chancelier)

Merci M. Le Directeur des Séances. A mon tour je voudrais féliciter l'ensemble des intervenants et personnellement j'ai vraiment beaucoup appris.

On nous a expliqué que 30% de l'oxygène que nous respirons viennent des océans, que ces océans sont un formidable puits de séquestration pour le CO₂, que l'océan est un régulateur du climat de la planète (il absorbe la chaleur émise par le soleil en y réémettant une partie), que sans ces océans la température de notre planète serait vraisemblablement autour de -18 à -20, mais qu'avec le réchauffement climatique il y a évaporation et, comme vous la savez, le premier gaz à effet de serre c'est l'eau sauf que cette eau ne reste pas beaucoup dans l'atmosphère (quelques jours en comparaison avec le CO₂ qui reste longtemps et qui est véritablement un vrai gaz à effet de serre). Quand il y a beaucoup de CO₂ dans l'atmosphère, il y a réchauffement du climat et par conséquent le CO₂ qui est séquestré dans les océans s'échappe et s'accumule davantage dans l'atmosphère.

On a entendu aussi des collègues marocains (FARAJ et ASSOBBHEI) nous expliquer les ressources halieutiques que nous avons. Il y a quant même un plan marocain qui est là avec ses avantages et ses défauts. Certes, il faut améliorer un peu ce plan. J'ai entendu aussi l'ensemble des collègues dire qu'il nous faut plus de recherche, plus de science, plus de formation et je souscris à ces requêtes. J'entends plus de collègues scientifiques marocains dans la salle dire que nous sommes un pôle de compétences, nous sommes une équipe de recherche, et tout ça c'est réjouissant. Et je pense que c'est l'occasion pour le Collège des Sciences de la Terre et de la Mer qui s'occupe de cette thématique de se saisir de cette session plénière extraordinaire, de se saisir des recommandations qui vont être faites par le panel pour d'abord identifier les compétences nationales, faire le point sur ce qui existe et proposer la formation d'équipes de recherche. C'est dans le mandat de l'Académie d'encourager ce type d'initiatives. Il faut vraiment se saisir de ce dossier pour que l'Académie soit la locomotive et l'initiateur pour créer quelque chose qui soit à la hauteur des aspirations de notre pays. Merci.

- **M. Abdelwahid MELLOUKI** (CNRS, Orléans, France)

Je voudrais revenir le CO₂, c'est indiscutable c'est le plus important gaz à effet de serre. Laurent BOPP disait hier qu'on arriverait à une certaine stabilité et on baisserait la température. Ça ne me semblait pas exact parce qu'il y a beaucoup de gaz à effet de serre en plus du CO₂. L'ozone est un polluant atmosphérique, sa concentration augmente à l'échelle locale, régionale et globale. Il y a aussi les composés fluorés dont la concentration augmente de manière importante. Ce sont des substituts dont le potentiel de réchauffement global est plusieurs milliers de fois celui du CO₂.

- **M. Said MOULINE** (Directeur Général, Agence Marocaine pour l'Efficacité Energétique)

Merci M. Le Directeur des Séances. A la COP21, le thème sur les océans a été abordé, lors de la COP22 une journée entière a été dédiée aux océans et au changement climatique. Cette semaine, nous avons rencontré l'équipe des Fidji pour la COP23, et je crois aujourd'hui que ce qui est ressorti des discussions cette semaine c'est que, il y a un tel potentiel dans de nombreux pays, il faudrait penser à regrouper ce concept lié à l'économie bleue (aquaculture, pêche) avec toutes les possibilités liées aux biotechnologies et aux énergies marines et autres. Il y a un impact lié au changement climatique, il faut en prendre compte; et il y a un autre volet des potentialités mais dans leur globalité. Merci.

- **M. Abdelmalek FARAJ** (Institut National de Recherche Halieutique, Casablanca)

J'aimerais répondre à plusieurs choses mais je répondrais à une seule qui est revenue à plusieurs reprises. Dans le dialogue entre le scientifique et le décideur, je voudrais alerter les scientifiques sur le devoir d'intégrité intellectuelle. Dans une présentation, ce matin, nous avons vu que le thon rouge est surexploité; au contraire, le stock se porte très bien et les quotas ont été augmentés. A cet égard, l'Institut National de Recherche Halieutique fait très attention pour communiquer sur la dynamique des espèces dans le contexte du réchauffement climatique. Par contre, il y a des actions à mener et c'est ce que nous essayons de faire. Nous essayons d'accompagner les décideurs et je crois très particulièrement en l'économie de la connaissance dans laquelle nous devrions investir car les océans pourront nous apporter énormément de choses. Je vous remercie.

- **Pr. Abdelaziz SEFIANI** (Directeur des Séances)

Merci à vous tous. Moi aussi, j'ai beaucoup appris durant ces deux journées même si ce n'est pas mon domaine. Comme l'a souligné Pr. GRISCELLI tout à l'heure, concernant l'impact sur la santé, j'ai entendu le mot épigénétique une seule fois et l'épigénétique c'est ce qui explique l'interaction entre l'environnement et le génome. Toute modification épigénétique se fait par des mécanismes qui sont chimiques et qui font des changements dans tout ce qui n'est pas ADN, et on comprend facilement que tout changement climatique ou dans les océans pourrait agir sur le génome. Les conséquences ne sont pas immédiates mais vont se voir des générations après.

Le débat est très intéressant et très passionnant. J'aimerais féliciter ceux qui ont proposé d'en faire une séance spéciale. Nous allons prendre la photo souvenir dans un instant à l'intérieur de la grande salle.

**SYNTHÈSE
DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE**

NOTE DE SYNTHÈSE



A. SASSON



O. ASSOBEI



A. EL HASSANI

**Membres résidents de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques**

1. Introduction

A la suite de l'organisation par le Maroc de la COP22 à Marrakech, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a organisé les 21, 22 et 23 février 2017 sa douzième (12^{ème}) session plénière solennelle sur le thème «**Océan et climat - cas du Maroc**».

Les effets des changements climatiques, leurs impacts sur les océans ainsi que les processus complexes de régulation du climat par les océans sont corrélés et interdépendants. Le climat dépend fortement de l'océan et inversement l'état de l'océan est fortement corrélé à celui du climat : l'océan, par sa capacité de stockage de la chaleur et des gaz à effet de serre, a un effet régulateur bien plus important que l'atmosphère ou les continents ; mais, cet effet se produit sur de longues périodes.

L'océan, sous l'effet des gaz à effet de serre, subit une acidification ainsi qu'une augmentation de sa température menaçant fortement sa biodiversité. L'acidité des océans a augmenté de 30% en deux siècles et demi et ce phénomène continue de s'amplifier, menaçant fortement les espèces et la biodiversité marines. Les propriétés physico-chimiques des océans changent, ce qui a des conséquences sur les propriétés et la dynamique de l'océan, sur ses échanges avec l'atmosphère et sur les écosystèmes marins et leurs habitats. De toutes ces conséquences, les conditions atmosphériques et les phénomènes extrêmes telles que les méga-sécheresses, les inondations, les tempêtes, la

forte baisse des ressources fournies par les mers et les océans, seront probablement les plus graves pour les populations vulnérables, notamment dans les pays en développement.

Le Maroc, avec ses 3500 km de côtes, est concerné par les effets du changement climatique, car l'océan Atlantique et la mer Méditerranée constituent une source de revenus substantiels pour les populations et contribuent en grande partie à leur sécurité alimentaire.

2. Résumé des travaux

La conférence introductive de la session plénière solennelle a porté sur «*Le rôle des océans et des mers dans la régulation du climat et la réponse des écosystèmes marins au changement climatique*».

Les océans, avec leur vaste capacité à stocker la chaleur et les gaz à effet de serre, sont un moteur majeur pour la régulation climatique de la planète, amortissant le changement, mais générant également une variabilité par les oscillations du couple océan-atmosphère. Environ 1/3 des rejets de gaz à effet de serre, générés par l'activité humaine, sont stockés dans l'océan, ainsi que la majeure partie de la chaleur excédentaire résultant de l'effet de serre de ces gaz dans l'atmosphère. Cependant, le réchauffement des mers qui en résulte, le stockage accru de CO₂ ont eux-mêmes des conséquences profondes sur la vie marine, ce qui peut compromettre les ressources tirées de cette biodiversité.

Il y a 130 ans, Svante A. Arrhenius (1859-1927) présentait une étude intitulée «*Sur l'influence de l'acide carbonique dans l'air sur la température du sol*», où il estimait qu'un doublement de la pression partielle du CO₂ atmosphérique conduirait à un réchauffement de 2°C de la planète et que la température des régions arctiques augmenterait d'environ 8° à 9°C, si la teneur en CO₂ atteignait 2.5 à 3 fois sa valeur actuelle.

C'est aujourd'hui une réalité, puisqu'on constate que :

la concentration globale de CO₂ est passée de 280 ppm en 1750 à plus de 400 ppm à l'heure actuelle;

et que la concentration de CO₂ augmente parallèlement à la hausse de la température globale.

Les perturbations anthropiques du cycle global du carbone font que l'océan absorbe environ 28% des émissions de CO₂, alors qu'il y a une diminution de la concentration des océans en O₂, en raison d'un océan plus chaud et de demandes respiratoires accrues dans les écosystèmes marins.

L'océan joue un rôle important dans l'évolution du climat :

- en absorbant 93% de la chaleur extra piégée par la Terre depuis 1970 (Rhein, M. et al., dans *Climate Change*, 2013);

- en capturant 28% des émissions anthropiques de CO₂ depuis 1750;
- en atténuant les fluctuations climatiques;
- en redistribuant la chaleur, évitant l'excès de chaleur aux basses latitudes et le froid extrême aux latitudes nordiques.

En conclusion de cette conférence introductive, on note que :

- l'océan joue un rôle clé dans la régulation du système climatique terrestre et dans l'amortissement des perturbations anthropiques;
- l'océan devient plus chaud, enrichi en CO₂, appauvri en oxygène, plus acide et moins productif, avec un impact marqué sur les écosystèmes marins;
- le Maroc connaît des changements climatiques significatifs (réchauffement intense, changements hydrologiques), qui se reflètent également dans un déplacement probable sur la côte Atlantique vers le sud du système d'upwelling et de la production halieutique (il faut inclure cette prévision dans la gestion des pêches);
- du fait que les eaux méditerranéennes sont relativement fraîches au large du Maroc, elles offrent un refuge pour les espèces marines méditerranéennes thermiquement stressées, et devraient être des zones marines protégées.

Par la suite a été abordée la question de «*l'importance des océans pour le changement climatique, du passé au futur*». Les océans jouent un rôle déterminant dans le fonctionnement du système climatique, en particulier sur les cycles du carbone et de l'eau, les modes de variabilité du climat et le bilan énergétique. L'intensité et la structure spatiale de la température superficielle des océans affecte la circulation atmosphérique et les événements météorologiques. Les vents mettent en mouvement les eaux de surface et constituent le moteur des phénomènes de remontée des eaux profondes (upwellings), froides et riches en nutriments vers la surface, comme c'est le cas sur la côte atlantique marocaine. Dans l'océan Atlantique, la circulation méridienne de retournement est pilotée par les gradients de densité de l'eau de mer, liés à sa température et à sa salinité.

Grâce à l'étude des archives du climat, comme les sédiments marins, la paléoclimatologie a mis en évidence des réorganisations majeures de la circulation de l'océan Atlantique nord, en particulier lors des périodes glaciaires, associées à des instabilités abruptes du climat des régions voisines. Aujourd'hui, l'influence humaine sur le climat est clairement établie; les rejets de gaz à effet de serre affectent l'état physico-chimique des océans; c'est pourquoi comprendre et représenter le rôle des océans dans le système climatique est essentiel pour évaluer les risques associés à l'évolution future du climat.

Quant à la modélisation du rôle des océans sur les changements climatiques, le risque le plus apparent des changements climatiques pour les océans est l'élévation du niveau de la mer où l'on projette généralement 45 à 82 cm à l'horizon 2100; celle-ci aurait un

caractère extrême surtout pour les états insulaires et les plats pays. La fonte des neiges et la réduction des glaciers est également une préoccupation déjà observée et prévue.

Le 5^{ème} Rapport du GIEC mentionne des migrations d'espèces marines à cause de ces changements du climat; ce qui entraînera selon ce Rapport une réduction du stock de poissons et d'invertébrés à cause du réchauffement prévu entre 2051 et 2060. L'acidification qui a connu une diminution remarquable depuis les années 1850 à nos jours continuera à baisser légèrement pour se stabiliser selon le scénario RCP2.6 (optimiste, si des actions d'atténuation concrètes sont prises), ou bien continuera à baisser de façon significative selon le scénario RCP8.5 (pessimiste, si aucun effort n'est fait).

Ces manifestations seront accompagnées de perte d'oxygène et de déformation des récifs de coraux. La moyenne globale des températures ne devrait pas dépasser 1,2°C (1,1 – 1,4°C) si l'on veut préserver/protéger au moins 50% des récifs coralliens.

Pour ce qui est du Maroc, si l'amplitude des impacts diffère par rapport aux pôles arctique et antarctique, les grands sommets ou les plats pays, il reste cependant vulnérable avec ses 3500 km de côtes qui sont, et resteront, concernées par les effets du changement climatique; l'Atlantique et la Méditerranée constituent une source de revenus substantiels des populations et contribuent en grande partie à leur sécurité alimentaire. Il faut noter que l'Institut National de Recherche Halieutique va acquérir un navire de recherche qui facilitera les recherches océanographiques et permettra de faire des prévisions plus précises.

Le changement climatique, le réchauffement et l'acidification des océans, la fonte de la glace terrestre et l'élévation des niveaux des mers ont été abordés. L'un des meilleurs indicateurs du changement climatique actuel est la réponse intégrée des changements de température de l'océan, des glaces et des eaux continentales dûs au forçage anthropique ainsi qu'à la variabilité naturelle du climat. Avec les événements extrêmes, la hausse future du niveau de la mer est une menace majeure pour les régions côtières basses et peuplées de la planète.

Le bilan énergétique de la Terre sur les 40 dernières années montre un excès de chaleur accumulée dans le système climatique. Alors que 93% de la chaleur 'anthropique' accumulée dans le système climatique est stockée dans l'océan, la chaleur stockée dans les premiers mètres de l'océan équivaut à celle accumulée dans toute l'atmosphère !

Les observations montrent que la hausse de la mer au 20^{ème} siècle est la suivante :

1900-1990 (reconstructions basées sur les mesures marégraphiques) :
1.2 - 1.9 mm/an;

1993-2016 (altimétrie spatiale) : 3.1 +/- 0.4 mm/an.

Les causes de la hausse du niveau moyen global de la mer sont expliquées par les climatologues par le réchauffement de l'océan (expansion thermique), ce qui entraîne une diminution du volume des glaces continentales, et une diminution du stock d'eau sur les continents. La hausse future des océans est envisagée par la *Representative Concentration Pathways (RCPs)* en 4 scénarios de réchauffement et les émissions de GES associées :

RCP2.6 (2.6 Wm^{-2});

RCP4.5 (4.5 Wm^{-2});

RCP6.0 (6.0 Wm^{-2});

RCP8.5 (8.5 Wm^{-2}).

Ces différentes estimations sont expliquées par l'évolution future du niveau moyen global de la mer (GIEC/IPCC AR5), par les instabilités des calottes polaires, la contribution possible de l'Antarctique à la hausse future de la mer et enfin la variabilité régionale de la mer, en 2100, à la hausse moyenne des niveaux marins.

Il existe aussi une autre source possible des variations régionales du niveau de la mer qui réside dans la redistribution des masses d'eau liée à la fonte passée et actuelle des glaces continentales. Celles-ci déforment les bassins océaniques et modifient l'attraction gravitationnelle mutuelle des masses d'eau et de glace.

Au-delà du 21^{ème} siècle, de nombreux aspects du changement climatique persisteront pendant plusieurs siècles, même si on arrêterait aujourd'hui les émissions de gaz à effet de serre car :

20% du CO_2 émis restera dans l'atmosphère pendant au moins 1000 ans;

le niveau de la mer continuera à monter pendant plusieurs siècles à cause de la grande inertie thermique de l'océan et de la longue durée de vie du dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Les impacts de ces changements climatiques sur les zones côtières sont :

une grande partie des rivages du monde est en érosion (environ 70% des plages, Bird, 1985);

on ignore quels sont les rôles respectifs des processus naturels, des activités humaines directes et de l'élévation du niveau de la mer dans le retrait actuel des rivages et l'érosion côtière;

on ne sait toujours pas si la hausse de la mer sur la côte diffère, ou pas, de la hausse au large.

Ce qui compte localement, c'est la variation *totale* du niveau de la mer relativement à la côte; soit la somme de : «hausse moyenne globale+variabilité régionale+ mouvements verticaux de la croûte terrestre». Cette variation régionale de la hausse du niveau de la

mer et la subsidence du sol peuvent se combiner pour amplifier la hausse 'climatique' moyenne du niveau de la mer. On peut donc retenir que la hausse du niveau moyen de la mer a augmenté fortement au cours de la dernière décennie, que la fonte accélérée du Groenland est largement responsable de cette hausse et qu'il est important d'assurer la continuité des observations spatiales et *in situ* (altimétrie, GRACE, Argo, etc.), en faisant le suivi des différents facteurs d'éventuelle accélération. Enfin, il convient d'affiner les projections de la hausse future du niveau de la mer au plan global, régional et local (prise en compte de tous les facteurs), et surtout de continuer d'étudier les impacts côtiers de cette hausse et de trouver les moyens de s'y adapter.

Le cas du Maroc a été examiné pour ce qui est du «**Changement climatique et les sécheresses récurrentes**». Les caractéristiques générales du climat du Maroc sont :

- un climat semi-humide à semi aride et désertique du nord au sud;
- des cumuls pluviométriques modestes;
- ce climat est plus humide au nord et en zone montagneuse, avec une variabilité spatiale des précipitations; et
- une forte variabilité interannuelle avec un coefficient de variation de 30% à 40% à l'ouest à plus de 70% au sud.

Les changements futurs des précipitations et des températures annuelles moyennes du Maroc sont envisagés selon les scénarios d'émissions du GIEC (RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6). Ils mettent l'accent sur l'importance de l'adaptation, avec quelques suggestions pour la recherche scientifique au Maroc : mécanismes des changements climatiques, causes de ces changements, affinement des études d'impacts, désertification et dégradation des terres et enfin océanographie. Les travaux en cours et futurs devraient être publiés, afin que l'on puisse en tenir compte dans les processus d'adaptation.

L'océan comme réservoir de carbone, aujourd'hui et demain?

Il est aujourd'hui admis que l'océan absorbe un quart de toutes les émissions de carbone anthropiques, dues à la combustion de combustibles fossiles et au déboisement. Le CO₂ est le premier moteur du changement climatique anthropique en cours; l'estimation la plus récente de l'absorption de carbone par l'océan s'établit à 2,6 (+/- 0,5) milliards de tonnes (GtC) de carbone par an pour la dernière décennie (2006-2015), soit 26% de toutes les émissions anthropiques; elle est obtenue par une combinaison d'observations atmosphériques et océaniques, ainsi que grâce à des exercices de modélisation. Historiquement (c'est-à-dire depuis 1750), l'absorption océanique cumulée de carbone est de 155 ± 20 PgC (pétaagramme de carbone).

Pour les prochaines décennies, les modèles océaniques indiquent que l'absorption du carbone océanique se poursuivra jusqu'en 2100 (IPCC, 2013). Il existe également une forte concordance des modèles, selon laquelle le changement climatique, par le

réchauffement de l'océan et les changements de circulation, compensera en partie cette augmentation causée par la hausse du CO_2 atmosphérique. Il existe encore de graves incohérences entre les modèles de simulation et les observations du cycle du carbone au cours des dernières décennies.

Il convient enfin de signaler que pour maintenir le réchauffement global de la planète à moins de 2°C , il faudrait réduire les émissions de 40% à 70% en 2050 (par rapport à 2010), et zéro émission avant la fin du 21^{ème} siècle.

S'agissant du «*Changement de la chimie et de la température des océans et leurs impacts sur la biodiversité marine*», la stratification, l'expansion des zones à minimum d'oxygène, l'eutrophisation des zones côtières et l'acidification des océans se conjuguent avec la hausse des températures pour menacer la biodiversité des écosystèmes marins et les services qu'ils fournissent.

La remontée des eaux riches en CO_2 le long de la plateforme nord-ouest africaine conduit initialement à de faibles niveaux de saturation de CaCO_3 dans les eaux de surface ($\Omega_{\text{calcite}} = 3,4$ et $\Omega_{\text{aragonite}} = 2,2$; OMEGAS : Ocean Margin Ecosystems Group for Acidification Studies), bien en-deçà des moyennes pour ces latitudes. Le plancton marin dans les écosystèmes d'upwelling est susceptible de faire face à des menaces liées à la sous-saturation de CaCO_3 , beaucoup plus tôt que dans d'autres écosystèmes aux latitudes semblables. Par conséquent, les écosystèmes d'upwelling peuvent être considérés comme des «hot-spots» d'acidification des océans, et les impacts potentiels sur la vie marine, en particulier les calcifiants, doivent être évalués. Les systèmes d'upwelling côtiers, tels que le système de la côte mauritanienne et les provinces méridionales du Maroc, sont alors des «hot-spots» pour ces pressions cumulatives.

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), dans ses laboratoires environnementaux à Monaco, utilise des applications nucléaires pour des observations ciblées et mène des efforts mondiaux pour mieux comprendre comment les espèces marines réagissent aux changements de température et d'acidification dans les océans. La compréhension des effets de l'acidification des océans sur les écosystèmes marins nécessite la combinaison de différentes approches et disciplines, y compris des études d'observation, expérimentales, paléo-modélisantes, reliant des interactions physico-chimiques, physiologiques / comportementales, génétiques, écologiques, biogéochimiques et socio-économiques. Si nous voulons comprendre ce problème et prédire avec exactitude ses répercussions, la communauté scientifique doit de plus en plus passer de la recherche centrée sur les espèces uniques, à la recherche d'échelle écosystémique qui tient compte de facteurs multiples et sur des périodes plus longues.

L'océan est un fournisseur de ressources». En effet, les données mondiales des pêches et de l'aquaculture, selon la FAO (2016), donnent une production halieutique mondiale totale de 167 millions de tonnes, et fournissent 107.2 millions de tonnes (soit les 2/3 de la production), constitué de :

captures marines : 81.5 millions de tonnes;
production aquacole marine : 26.7 millions de tonnes.

Cette production concerne plus de 2000 espèces marines déclarées par les statistiques de capture et 580 espèces ou groupes d'espèces aquacoles.

Au Maroc, la pêche maritime constitue un secteur stratégique avec une très grande biodiversité marine qui, en 2015, a fourni une production supérieure à 1.5 MT et 10.5 MM Dh au débarquement, engendrant plus de 650.000 emplois, soit plus de 3 millions de personnes qui vivent du secteur de la pêche.

De nombreux défis environnementaux subsistent et ont des *effets directs* à la suite de l'exploitation humaine. Il s'agit de la pollution terrestre et marine, la surexploitation des ressources, la dégradation des fonds marins, la destruction de la biodiversité, etc. Concernant les *effets indirects*, liés aux changements climatiques, on note une élévation de la température des océans, une acidification, une élévation du niveau de la mer, etc.

Ces défis ne peuvent pas être traités sans agir ensemble et de manière coordonnée; c'est pourquoi le Maroc a lancé l'initiative de la **Ceinture Bleue** dont la vocation est de transformer les contraintes environnementales en opportunités économiques; c'est aussi une sorte de communauté, avec divers partenaires, qui ne demande qu'à s'élargir. La *Ceinture Bleue* permettra un meilleur ancrage de la pêche et de l'aquaculture dans «l'économie bleue», de garantir la sécurité alimentaire et de renforcer la résilience de l'océan au changement climatique.

Cette *Ceinture Bleue* est une sorte de plate-forme collaborative avec un espace (zones côtières, les plus vulnérables et les plus productives) et des solutions prioritaires sous forme d'actions intégrées et interconnectées dans une *approche écosystémique* des pêches. Elle comprend trois axes :

- axe 1 : appuyer l'émergence des systèmes intégrés d'observation côtière;
- axe 2 : encourager les actions pour la pêche durable, de l'écosystème au consommateur;
- axe 3 : favoriser l'émergence d'une aquaculture durable et en particulier l'algaculture.

La surexploitation des ressources marines entraîne une «**baisse de la capture des poissons dans les mers et promeut l'aquaculture**». La pêche et l'aquaculture sont des secteurs stratégiques à l'échelle planétaire au regard de leurs impacts considérables sur l'économie, les sociétés, l'emploi et l'environnement. Elles contribuent à la sécurité alimentaire tout en alimentant de nombreux circuits économiques. D'après la FAO (2016), la production mondiale des captures en mer s'élevait à 93,4 millions de tonnes en 2014, la consommation mondiale moyenne de poissons par habitant dépasse les 20 kg par an. Près de 57 millions de personnes travaillaient dans le secteur primaire de la production de poissons, dont un tiers dans l'aquaculture. La production globale de l'aquaculture a atteint les 73,8 millions de tonnes en 2014, dont un tiers de mollusques, crustacés et autres animaux hormis les poissons.

Le grand défi de notre temps est, selon la FAO (2016), de «*nourrir plus de 9 milliards de personnes d'ici 2050 dans un contexte de changement climatique, d'incertitude économique et financière et de concurrence de plus en plus vive autour des ressources naturelles*». Face à ce défi, l'Organisation des Nations Unies a adopté, en septembre 2015, le Programme de développement durable à l'horizon 2030 (Programme 2030) qui fixe les objectifs concernant la contribution de la pêche et de l'aquaculture à la sécurité alimentaire et à la nutrition; ainsi que la conduite des deux secteurs au regard de l'utilisation des ressources naturelles, dans un souci de développement durable sur les plans économique, social et environnemental.

La surpêche prend des dimensions alarmantes et menace de nombreuses espèces de disparition. En 2013, quelque 31,4% des stocks de poissons commerciaux, régulièrement surveillés par la FAO, étaient surexploités. Les écosystèmes marins souffrent de menaces grandissantes qui mettent en question la durabilité de ces ressources. *Le Maroc n'est pas à l'écart de ces tendances; il dispose d'importantes ressources halieutiques qu'il faut valoriser, sauvegarder et exploiter raisonnablement.*

Globalement, la situation des stocks de poissons marins dans le monde ne s'est pas améliorée, en dépit de progrès notables dans certaines zones. D'après une analyse de la FAO consacrée aux stocks de poissons commerciaux, la proportion des stocks exploités à un niveau biologiquement durable a reculé de 90% en 1974 à 68,6% en 2013. Cela signifie que, d'après ces estimations, 31,4% des stocks de poissons étaient exploités à un *niveau biologiquement non durable, c'est-à-dire surexploités*. Sur l'ensemble des stocks évalués en 2013, 58,1% étaient exploités au maximum et 10,5% étaient sous-exploités. La proportion de stocks sous-exploités a diminué de manière presque continue de 1974 à 2013, mais celle des stocks exploités au maximum, après avoir baissé de 1974 à 1989, est remontée à 58,1% en 2013. Parallèlement, le pourcentage des stocks exploités à un niveau biologiquement non durable a augmenté, en particulier à la fin des années 1970 et dans les années 1980, passant de 10% en 1974 à 26% en 1989. Depuis 1990, la proportion de stocks de poissons exploités à un niveau non durable a continué d'augmenter, quoique plus lentement. Les dix espèces les plus productives ont représenté 27% environ des captures marines mondiales en 2013. Cependant, la majeure partie de leurs stocks sont exploités au maximum et une augmentation de la production ne sera possible qu'après la reconstitution des stocks.

La simulation des taux de production de poissons provenant de l'aquaculture ainsi que des prix du poisson (Merino et al., 2012) à l'horizon 2050, a donné lieu à plusieurs scénarios, qui mettent en perspective le rôle stratégique de l'aquaculture pour combler les déficits et le recul de la production de la pêche. La poursuite de l'exploitation abusive de la pêche risque de provoquer l'effondrement de l'écosystème naturel entre 2020 et 2030, et l'aquaculture s'imposera donc comme l'alternative. Une étape importante a été franchie en 2014, lorsque la contribution piscicole du secteur de l'aquaculture à l'offre de poisson destiné à la consommation humaine a dépassé, pour la première fois, celle du secteur de la pêche. Il sera impératif, mais en même temps très difficile, de répondre à la demande toujours croissante de poissons et de respecter à cet égard le Programme 2030.

En 2014, la production aquacole présentait les caractéristiques suivantes :

animaux aquatiques : 73,8 MT, pour une valeur de 160,2 milliards \$;

50 MT de poissons (99 MM\$), 16 MT de mollusques (19 MM\$), 6,9 MT de crustacés (36,2 MM\$) et 7,3 MT autres animaux;

la Chine a produit 45,5 MT d'animaux aquatiques, soit 60% de la production aquacole mondiale, suivie par l'Inde, le Vietnam, le Bangladesh et l'Égypte;

les plantes aquatiques (27,3 MT, 5,6 MM\$), en grande majorité des algues marines, avec une progression rapide dans une cinquantaine de pays;

50% de la production aquacole mondiale (animaux et plantes) proviennent d'espèces non nourries; parmi celles-ci figurent la carpe argentée et la carpe à grosse tête, les espèces animales filtreuses (mollusques bivalves) et les algues marines;

la croissance de la production était plus rapide pour les espèces nourries.

La consommation de poisson est en progression : en 2013, la consommation apparente de poisson par habitant dans les pays industrialisés s'élevait à 26,8 kg. Cette forte progression de la consommation de poisson a entraîné une amélioration du régime alimentaire des populations partout dans le monde.

La gouvernance de la pêche et de l'aquaculture devrait suivre les orientations du Programme de Développement Durable à l'horizon 2030, des objectifs de développement durable (ODD) et l'Accord de Paris de la Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (COP21). Les 17 ODD et leurs 169 cibles forment un cadre destiné à guider les actions de développement des gouvernements, des organismes internationaux, de la société civile et d'autres institutions au cours des 15 prochaines années, dans le but ambitieux d'éliminer la faim et l'extrême pauvreté.

En outre, l'Accord de Paris à la COP21 constate que les changements climatiques constituent une grave menace pour la sécurité alimentaire mondiale, le développement durable et l'élimination de la pauvreté. La gouvernance doit donc viser à ce que la pêche et l'aquaculture s'adaptent aux effets de ces changements et contribuent à améliorer la résilience des systèmes de production alimentaire.

Le Maroc, pour développer le secteur de la pêche, s'est engagé à aménager les ports, à contrôler la qualité et le marketing des produits et à en élaborer un cadre juridique. En effet, depuis 2009, le Plan *Halieutis* est une stratégie intégrée, ambitieuse et globale de développement du secteur à l'horizon 2020. Ses objectifs visent une pêche durable et compétitive, valorisant le patrimoine halieutique marocain. Pour la mise en œuvre de ce programme, d'importantes réalisations ont été faites, comme :

l'aménagement de sites de débarquement modernes (ports de pêche, points d'accueil des débarquements de la pêche artisanale, villages de pêcheurs);

- le soutien à la pêche artisanale (près de 1367 millions de dirhams);
- la réalisation d'infrastructures de commercialisation (halles aux poissons, comptoirs d'agrégation du poisson industriel et marchés de gros);
- le lancement de pôles de compétitivité (Tanger et Agadir);
- la modernisation et la mise à niveau des navires dans le cadre du programme Lbhar;
- enfin, le lancement de l'aquaculture marine, suite à la création de l'Agence Nationale pour le Développement de l'Aquaculture (ANDDA).

Le secteur stratégique de la pêche et de l'aquaculture revêt donc pour le Maroc une importance capitale. Il convient de veiller au rétablissement des équilibres rompus et de renforcer la durabilité de ses ressources. L'aquaculture est prometteuse, mais elle nécessite la maîtrise scientifique et technologique, ainsi que celle des investissements, afin de remplir sa fonction économique et sociale, tout en préservant l'environnement.

Les implications économiques du changement climatique ont été abordées, en particulier dans le cas de l'agriculture. Le réchauffement global et ses nombreuses implications devraient influencer sur le développement de l'agriculture (les sols) qui est un système global dont dépend la nutrition des hommes, des animaux, des végétaux; la biodiversité qu'il contient; l'eau douce continentale; l'énergie; le climat et les paysans. L'eau douce sera nécessaire pour doubler la production agricole, car aujourd'hui 20% des terres cultivées sont irriguées et produisent 40% de la nourriture mondiale; en 2050 il faudrait multiplier par cinq cette irrigation, soit l'équivalent du débit annuel de 50 fois le Nil.

Le rôle de l'agriculture dans la production de gaz à effet de serre a été minimisé avec la présence de bactéries dans le sol et les végétaux supérieurs qui contrôlent le cycle du CO₂ et N₂O. Cette contribution se fait aussi par la mise en culture d'une forêt (1000t CO₂/ha) et la mise en culture d'une prairie (300t CO₂/ha).

Parallèlement à leurs activités traditionnelles, les exploitations agricoles développent des activités de production d'énergie, soit pour une autoconsommation, soit pour les revendre sur les réseaux énergétiques, avec deux principales voies de valorisation de la biomasse : les biocarburants et la méthanisation.

Le coût humain des changements climatiques implique la pauvreté des paysans et les impacts sur la santé des humains. On peut alors noter que parmi les 925 millions de sous-alimentés en 2010 :

- 80% sont des ruraux (50% des paysans pauvres, 22% des paysans sans terre, 8% des pasteurs nomades, habitants des forêts, etc.);
- 20% des urbains pauvres.

Donc l'agriculture est au cœur du problème. Les pertes et les gaspillages sont estimés à un tiers des aliments produits pour la consommation humaine, soit 1,3 milliards de tonnes (FAO, 2011).

L'exacerbation du réchauffement climatique engendre :

des révolutions agricoles puis industrielles, notamment au cours du XX^{ème} siècle avec une exploitation sans retenue des ressources naturelles;

une croissance économique linéaire basée sur la consommation dont les coûts climatique, écologique et humain sont considérables (indicateurs de bien-être en décroissance depuis 50 ans);

des coûts énergétiques en augmentation;

un modèle économique actuel qui détruirait plus qu'il ne créerait (impact prévu sur le PIB: chute de 0,7% à 2,5% en 2060).

Pour cela, le monde est appelé à changer progressivement de paradigme économique.

Par exemple, dans le cas de l'agriculture, comment faire face à l'érosion des sols arables, à la chute des rendements, au besoin d'irrigation grandissant, à l'urbanisation, quelle énergie utiliser? Plusieurs regards se tournent alors vers une nouvelle agriculture qui préserverait au mieux la terre nourricière, vers une ***économie verte*** (diminution drastique des GES : utilisation des sources d'énergie renouvelable; préserver les sols arables, les mers, les lacs et les forêts); vers une ***économie de la connaissance*** (science et technologie); une ***économie circulaire*** (recyclage, réutilisation, chasse au gaspillage); et enfin une ***économie collaborative*** (échange, mise en réseau, prise de décision citoyenne). Mais, est-ce suffisant pour assurer un développement durable et le bien-être d'une population en pleine croissance et revendiquant le partage des décisions.

3- Propositions d'action pour le Maroc et perspectives de recherche

La table ronde, organisée à l'instar des sessions précédentes de l'Académie, le jeudi 23 février 2017, devait dégager, à la lumière des exposés sur la problématique «océan-climat», l'état des lieux et les perspectives en matière de recherche-développement au Maroc. Avec la modération du Pr Albert Sasson, académicien résident et le directeur du collège des sciences et techniques du vivant, et l'aide du Pr Omar Assobhei, académicien résident et président de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès, les quatre participants à la table ronde ont fait de brèves présentations, suivies d'un débat général. En voici une synthèse succincte.

Karim Hilmi, de l'Institut National de Recherches Halieutiques (INRH) de Casablanca a rappelé que les observations et les travaux de recherche conduits à l'INRH, sont au service de la mise en œuvre du programme *Halieutis*. Une collaboration existe avec plusieurs universités nationales et avec le Réseau de recherche en sciences de la mer (REMER) unissant plusieurs laboratoires ou unités de recherche travaillant dans le cadre

de l'océanographie physique et biologique. Cette collaboration s'étend aussi au centre de télédétection spatiale et à la marine nationale, notamment pour ce qui est du renforcement des observations, de la cartographie, de l'hydrographie, de la bathymétrie. Enfin, l'INRH est membre de la commission océanographique intergouvernementale (COI) et fait partie, depuis 1997, du groupe de travail 2 du GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique). L'INRH a été, avec d'autres institutions nationales et internationales, un participant très actif à la journée des océans de la COP22 à Marrakech et s'est fait le promoteur de l'économie «bleue» préparant ainsi la COP23, à l'initiative des îles Fidji.

K. Hilmi a rappelé la panoplie des moyens d'observation océanographique *in situ* : le lancement prochain d'un navire océanographique de recherche (jusqu'à une profondeur de 1500 mètres), construit au Japon; une bouée d'observation déjà opérationnelle, une seconde dont l'achat est prévu, alors qu'il en faudrait trois; l'utilisation des mesures de télédétection et de modèles de simulation, en particulier pour suivre les phénomènes d'*upwelling*, qui sont des zones de pêche importantes pour le Maroc, au sud de sa côte atlantique; les modèles MERCATOR.

L'INRH suit les plans d'adaptation au changement climatique, en particulier pour l'exploitation de ses ressources halieutiques. Il doit renforcer les mesures d'acidification de l'océan, celles concernant la hausse du niveau de la mer et donc les observations bathymétriques. Les zones d'*upwelling* font l'objet d'une attention particulière. Le manque de flotteurs ARGO, ainsi que les études au-delà de 2.000 mètres de profondeur sont d'autres défis qu'il faudra relever pour améliorer encore les observations océanographiques. Il convient en effet, non seulement d'observer le large, mais aussi de se concentrer sur le littoral (en d'autres termes passer du global au local, ou *downscaling*). Cela conduit déjà, et cela sera encore plus prééminent dans le futur, à plus d'interactions avec les plans d'aménagement de nos côtes qui s'étendent sur plus de 3500 km.

Mme Majida Maarouf, directrice générale de l'Agence nationale de développement de l'aquaculture (ANDH) a fait remarquer que rares sont les pays qui possèdent une telle structure. Le Sénégal est de ceux-là. Créée en 2009, sur les Hautes Instructions de Sa Majesté le Roi Mohammed VI, elle est un projet prioritaire du plan *Halieutis*. Sa relation avec l'INRH est inscrite dans la loi et elle se déroule de façon efficace. A partir de 2012, après une analyse comparative (*benchmarking*) avec d'autres pays, un cadre juridique a été mis au point en deux ans; les textes d'application sont en cours de publication.

L'attention prioritaire accordée aux pêcheries a fait que depuis les années 1950 l'aquaculture n'a guère fait de progrès. C'est pourquoi un plan aquacole a été mis au point, avec pour objectif de porter une attention particulière à la protection de l'environnement et aux besoins socio-économiques, ainsi qu'à l'acceptation sociale des projets d'aquaculture. Par exemple, au nord de Dakhla, deux années d'études de terrain et d'études océanographiques ont permis de localiser les espaces propices à l'aquaculture, qui vont de la plus petite taille, économiquement viable, à des dimensions plus importantes.

Cela permet aux investisseurs d'adapter leur intervention, qu'il s'agisse de pisciculture, de conchyliculture ou d'algoculture.

Les projets de développement de l'aquaculture visent, tout en s'adaptant au changement climatique, à être multitrophiques, avec plusieurs espèces liées par des chaînes trophiques complémentaires, de façon à réduire les déchets au maximum en les recyclant dans ces chaînes.

Sur plusieurs sites, en milieu marin, les appels d'offres à projets d'aquaculture ont été bien reçus. Des investisseurs qu'il faut initialement aider, sont prêts à se concentrer sur ce domaine. L'objectif est de parvenir à une production de 200.000 tonnes par an, et même à 300.000 tonnes par an. Des projets expérimentaux sont conduits avec l'INRH.

Abdelah Mokssit, membre correspondant de l'Académie et secrétaire général de l'IPCC/GIEC à Genève, qui a dirigé auparavant la Météorologie nationale, a rappelé quelques principes, comme la modestie face aux résultats de la recherche sur le climat, particulièrement complexe; l'attention à porter aux aspects pratiques, pour rechercher la synergie des efforts et l'adaptation au niveau national ou local des études globales. Il faut, dit-il une attitude «rationaliste». Il cite aussi, en 1991, le Plan stratégique de mise en œuvre concernant la Météorologie nationale, avec le souci de la durabilité.

Il formule les propositions suivantes : la veille scientifique et technique (présentée à l'échelle internationale, par exemple en participant aux travaux du GIEC, à la convention de la COP21 et de la COP22; constitution d'un consortium «climat»); création d'un espace commun entre les preneurs de décision, la société civile, les bailleurs de fonds publics ou privés, pour agir de concert et efficacement.

Il rappelle que la problématique traitée appelle une recherche finalisée ; la maîtrise des besoins; le *benchmarking* international («ce qu'on sait et ce qu'on ne sait pas encore»); la mise au point d'une méthodologie nationale; la création de consortiums sur le climat; l'assurance d'une veille technologique.

Noureddine El Aoufi, membre résident de l'Académie, a rappelé qu'il existe un consensus assez général sur le diagnostic du changement climatique. Mais l'analyse de ce diagnostic, du point de vue économique, révèle deux approches, voire deux écoles de pensée. L'analyse «orthodoxe», dominante, de nature utilisatrice, qui fait jouer les externalités («taxation des pollueurs») et la loi du marché («taxation du carbone»). L'économiste J. Tirole, Prix Nobel d'économie, appartient à cette tendance. Une autre analyse, «hétérodoxe», est de nature écosystémique, a recours aux sciences humaines (tandis que la précédente a recours à la physique). B. Latour (2004) appartient à une telle tendance. Certes les émissions de CO₂ contribuent de façon durable au changement du climat, mais aussi les effets du capitalisme et de ses modèles de développement. Cette analyse a une approche stratégique, elle fait confiance aux institutions, elle peut transformer la réalité. D'où la nécessité de la transition écologique, animée d'une justice «écologique» (cf. Amartya Sen).

N. El Aoufi rappelle encore les résultats des experts et des institutions publics ou privées (tels que le Fonds monétaire international –FMI– et la Banque Mondiale); le rapport de Nicholas Stern (2006) qui anticipe l'impact du changement climatique jusqu'en 2100 (économie du risque, traitement égal de toutes les générations, l'inégalité, etc.).

Au Maroc, la recherche publique en matière d'économie peut être orientée vers le développement durable; le rapport du cinquantenaire, le rapport Maroc Vert, sont des documents d'état des lieux et d'anticipation. En prenant en compte les vulnérabilités au Maroc, l'expertise nationale existante (qu'il s'agisse de la recherche privée par des groupes internationaux ou de recherche publique) devrait s'orienter vers la conjugaison de l'économie «verte» avec l'économie «bleue». Le Conseil Economique, Social et Environnemental (CESE) a mis en relief deux points de vigilance : l'intégration insuffisante des deux économies et l'inclusion des populations, ainsi que la nécessité d'une approche d'anticipation vu l'accélération du risque climatique.

Enfin, N. El Aoufi a fait mention de l'exemple de la Chine dont l'expérience récente pourrait démontrer une approche nouvelle de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique.

4- Conclusions

A l'instar des précédentes sessions, l'Académie Hassan II des sciences et techniques a conclu ses travaux scientifiques, le jeudi 23 février 2017, par un débat général ouvert non seulement aux académiciens mais aussi à tous les enseignants-chercheurs, universitaires, experts invités, ainsi qu'à des représentants d'associations actives en matière d'océanographie, des relations entre le climat et les océans, de l'impact du changement climatique, de l'atténuation des effets de ces derniers et des adaptations nécessaires.

On peut tirer des interventions faites durant le débat quelques propositions d'action et des recommandations : certaines adressées à l'Académie en conformité avec ses missions et d'autres plus générales à l'intention d'autres institutions de recherche-développement du Royaume.

En premier lieu, il y eut plusieurs appels au renforcement de l'interdisciplinarité, car comme l'ont bien montré les études sur l'océan et le climat; qu'il s'agisse des sciences ou des techniques, l'interdisciplinarité est de mise pour l'observation, la simulation et la modélisation des effets du changement climatique, l'instrumentation faisant appel à la robotique ou aux satellites, les mesures faites et leur interprétation, l'impact sur les populations concernées, etc. Cet effort de métissage et d'interaction entre les sciences et les technologies concernées renforcerait au sein de l'Académie même (par exemple sous forme de travail inter-collèges) et au-delà de celle-ci la pertinence et la meilleure utilisation des résultats de l'observation ainsi que des actions d'adaptation au changement climatique. Nul doute aussi que cela rapprocherait encore plus l'Académie des différentes composantes de la communauté scientifique nationale.

En second lieu, il y eut une unanimité à réclamer plus d'efforts dans les domaines de l'océanographie, aussi bien physique (observation, simulation de modèles climatiques au niveau global, régional et local) que biologique. Il convient, somme toute, de créer, sur le plan de la formation et de la recherche, une coalescence progressive des compétences marocaines en matière de climatologie ou des sciences du climat. L'Académie peut sans doute y aider, mais de concert avec les institutions nationales, comme l'Institut National des Recherches Halieutiques (INRH), l'Agence nationale de développement de l'aquaculture (ANDA), la Direction de la Météorologie nationale (dont la réussite témoigne bien de l'addition d'expertise et de compétence), les universités des régions du Royaume (et plus spécialement celle qui sont situées près du littoral), etc.

Selon l'un des intervenants, il serait utile que l'Académie puisse constituer un groupe de travail sur «l'ingénierie» des projets de recherche portant sur des domaines nouveaux, comme l'utilisation des données de masse, la simulation, l'usage de robots ou de drones pour la récolte de données et leur interprétation, la climatologie (avec l'aide de la météorologie). Il s'agirait d'un apprentissage des chercheurs à la manière de rédiger un projet de recherche (que l'Académie, entre autres, pourrait examiner et soutenir), et cela afin que ces mêmes chercheurs puissent répondre correctement à des appels d'offre.

Beaucoup ont souligné la difficulté pour les chercheurs à accéder à l'information disponible dans le domaine «océan-climat». Il y aurait sans doute besoin de faciliter la circulation de toute cette information. Mais l'Académie n'a pas les moyens d'y parvenir seule ; il semble d'ailleurs qu'au niveau national est en train de se créer un système de coordination institutionnel, qui pourra rassembler et diffuser cette information.

La nécessaire formation doctorale de jeunes chercheurs dans les différentes spécialités, dont l'addition et l'interaction constituent les sciences et technologies de la climatologie, a été soulignée. C'est évidemment le rôle privilégié de nos universités mais aussi d'institutions comme l'INRH, qui a en son sein des formations doctorales en collaboration avec diverses universités. On a alors mis en relief l'adéquation des ressources et des moyens nécessaires. L'exemple de la réussite de la Météorologie nationale a été cité, avec à l'origine la formulation d'objectifs simples et précis adaptés à la réalité marocaine ainsi que la recherche de moyens adéquats. Il a été rappelé, à l'occasion de cet appel à plus de recherche, coordonnée et fédérée, la nécessité d'une meilleure gouvernance de la recherche scientifique et technique nationale. Dans certains domaines, on a noté des progrès significatifs, comme à l'INRH (projet *Halieutis*) et à l'ANDA, etc., mais il serait urgent de trouver de nouvelles ressources ; l'Académie, en tant qu'agence de réflexion, mais aussi de moyens, pourra y contribuer.

On a aussi souligné la nécessaire durabilité des formations et des recherches entreprises, dans le cadre d'une vision nationale certes, mais largement ouverte sur ce qui se fait au niveau international, car le réchauffement de la planète, la hausse du niveau des

mers, la récurrence de sécheresses (parfois même des mégasécheresses), la répétition de phénomènes climatiques extrêmes (inondations, tsunamis, etc..) nous concernent tous. Le Maroc est vulnérable, il ne sera pas épargné par les effets du changement climatique. De là, la nécessaire transition écologique, illustrée par la transition énergétique (en 2030, la moitié de l'électricité utilisée au Maroc sera produite à partir de sources d'énergie renouvelables).

Un intervenant a signalé qu'il y avait parfois, entre des politiques publiques et les résultats avérés de la recherche, des contradictions. Par exemple, l'aménagement du littoral ou du tourisme balnéaire, en dépit des risques climatiques qui les menacent. Qu'en sera-t-il de notre tourisme futur, face à l'aridification avérée à plus ou moins long terme? Cette opinion a semblé être partagée par d'autres intervenants, qui préconisent de ce fait une plus grande interaction entre chercheurs et preneurs de décision.

Enfin, le Maroc, dans le cadre de sa politique de coopération pour le développement en Afrique subsaharienne, devra participer à la création d'un forum des sciences de la mer en Afrique et améliorer encore, comme il le fait avec certains pays comme le Sénégal, ses actions de collaboration.

Panel sur les perspectives de recherche au Maroc

Modérateur : Albert SASSON

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



Rapporteur : Omar ASSOBBEI

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



Participants :

Karim HILMI

Institut National de Recherches Halieutiques, Casablanca



Majida MAAROUF

Agence Nationale pour le Développement de l'Aquaculture, (ANDA)



Abdellah MOKSSIT

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



Noureddine EL AOUI

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



COMPTE RENDU DU PANEL

Cette table ronde, organisée à l'instar des sessions précédentes de l'Académie, le jeudi 23 février 2017, devait dégager, à la lumière des exposés sur la problématique «océan-climat», l'état des lieux et les perspectives en matière de recherche-développement au Maroc. Avec la modération du Pr Albert Sasson, académicien résidant et le directeur du collège des sciences et techniques du vivant, et l'aide du Pr Omar Assobhei, académicien résidant et président de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès, les quatre participants à la table ronde ont fait de brèves présentations, suivies d'un débat général. En voici une synthèse succincte.

Karim Hilmi, de l'Institut National de Recherches Halieutiques- INRH- de Casablanca a rappelé que les observations et les travaux de recherche conduits à l'INRH, sont au service de la mise en œuvre du programme Halieutis. Une collaboration existe avec plusieurs universités nationales et avec le réseau de recherche en sciences de la mer -REMER- unissant plusieurs laboratoires ou unités de recherche travaillant dans le cadre de l'océanographie physique et biologique. Cette collaboration s'étend aussi au centre de télédétection spatiale et à la marine nationale, notamment pour ce qui est du renforcement des observations, de la cartographie, de l'hydrographie, de la bathymétrie. Enfin, l'INRH est membre de la commission océanographique intergouvernementale (COI) et fait partie, depuis 1997, du groupe de travail 2 du Groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique (GIEC). L'INRH a été, avec d'autres institutions nationales et internationales, un participant très actif à la journée des océans de la COP22 à Marrakech et s'est fait le promoteur de l'économie «bleue» préparant ainsi la COP23, à l'initiative des îles Fidji.

K. Hilmi a rappelé la panoplie des moyens d'observation océanographique in situ : le lancement prochain d'un navire océanographique de recherche (jusqu'à une profondeur de 1500 mètres), construit au Japon ; une bouée d'observation déjà opérationnelle, une seconde dont l'achat est prévu, alors qu'il en faudrait trois; l'utilisation des mesures de télédétection et de modèles de simulation, en particulier pour suivre les phénomènes d'upwelling, qui sont des zones de pêche importantes pour le Maroc, au sud de sa côte atlantique; les modèles MERCATOR.

L'INRH suit les plans d'adaptation au changement climatique, en particulier pour l'exploitation de ses ressources halieutiques. Il doit renforcer les mesures d'acidification de l'océan, celles concernant la hausse du niveau de la mer et donc les observations bathymétriques. Les zones d'upwelling font l'objet d'une attention particulière. Le manque de flotteurs ARGO, ainsi que les études au-delà de 2.000 mètres de profondeur sont d'autres défis qu'il faudra relever pour améliorer encore les observations océanographiques. Il convient en effet, non seulement d'observer le large, mais aussi de se concentrer sur le littoral (en d'autres termes passer du global au local, ou downscaling). Cela conduit déjà, et cela sera encore plus prééminent dans le futur, à plus d'interactions avec les plans d'aménagement de nos côtes qui s'étendent sur plus de 3500 km.

Mme Majida Maarouf, directrice générale de l'Agence nationale de développement de l'aquaculture -ANDH- a fait remarquer que rares sont les pays qui possèdent une telle structure. Le Sénégal est de ceux-là. Créée en 2009, sur les Hautes Instructions de Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, elle est un projet prioritaire du plan Halieutis. Sa relation avec l'INRH est inscrite dans la loi et elle se déroule de façon efficace. A partir de 2012 et après, une analyse comparative (benchmarking) avec d'autres pays, un cadre juridique a été mis au point en deux ans; les textes d'application sont en cours de publication.

L'attention prioritaire accordée aux pêcheries a fait que, depuis les années 1950, l'aquaculture n'a guère fait de progrès. C'est pourquoi a été mis au point un plan aquacole avec pour objectif de porter une attention particulière à la protection de l'environnement et aux besoins socio-économiques, ainsi qu'à l'acceptation sociale des projets d'aquaculture. Par exemple, au nord de Dakhla, deux années d'études de terrain et d'études océanographiques ont permis de localiser les espaces propices à l'aquaculture, qui vont de la plus petite taille, économiquement viable, à des dimensions plus importantes. Cela permet aux investisseurs d'adapter leur intervention, qu'il s'agisse de pisciculture, de conchyliculture ou d'algaculture.

Les projets de développement de l'aquaculture visent, tout en s'adaptant au changement climatique, à être multitrophiques, avec plusieurs espèces liées par des chaînes trophiques complémentaires, de façon à réduire les déchets au maximum en les recyclant dans ces chaînes.

Sur plusieurs sites, en milieu marin, les appels d'offres à projets d'aquaculture ont été bien reçus. Des investisseurs qu'il faut initialement aider, sont prêts à se concentrer sur ce domaine. L'objectif est de parvenir à une production de 200.000 tonnes par an, et même à 300.000 tonnes par an. Des projets expérimentaux sont conduits avec l'INRH.

Abdellah Mokssit, membre correspondant de l'Académie et secrétaire général de l'IPCC/GIEC à Genève, qui a dirigé auparavant la Météorologie nationale, a rappelé quelques principes, comme la modestie face aux résultats de la recherche sur le climat, particulièrement complexe; l'attention à porter aux aspects pratiques, pour rechercher la synergie des efforts et l'adaptation au niveau national ou local des études globales. Il faut, dit-il une attitude «rationaliste». Il cite aussi, en 1991, le Plan stratégique de mise en œuvre concernant la Météorologie nationale, avec le souci de la durabilité.

Il formule les propositions suivantes : la veille scientifique et technique (présentée à l'échelle internationale, par exemple en participant aux travaux du GIEC, à la convention de la COP21 et de la COP22; constitution d'un consortium «climat»); création d'un espace commun entre les preneurs de décision, la société civile, les bailleurs de fonds publics ou privés, pour agir de concert et efficacement.

Il rappelle que la problématique traitée appelle une recherche finalisée; la maîtrise des besoins; le benchmarking international («ce qu'on sait et ce qu'on ne sait pas encore»); la mise au point d'une méthodologie nationale; la création de consortiums sur le climat; l'assurance d'une veille technologique.

N. El Aoufi, membre résident de l'Académie, a rappelé qu'il existe un consensus assez général sur le diagnostic du changement climatique. Mais l'analyse de ce diagnostic, du point de vue économique, révèle deux approches, voire deux écoles de pensée. L'analyse «orthodoxe», dominante, de nature utilisatrice, qui fait jouer les externalités («taxation des pollueurs») et la loi du marché (taxation du carbone). L'économiste J. Tirole, Prix Nobel d'économie, appartient à cette tendance. Une autre analyse, «hétérodoxe», est de nature écosystémique, a recours aux sciences humaines (tandis que la précédente a recours à la physique). B. Latour (2004) appartient à une telle tendance. Certes les émissions de CO₂ contribuent de façon durable au changement du climat, mais aussi les effets du capitalisme et de ses modèles de développement. Cette analyse a une approche stratégique, elle fait confiance aux institutions, elle peut transformer la réalité. D'où la nécessité de la transition écologique, animée d'une justice «écologique» (cf. Amartya Sen).

N. El Aoufi rappelle encore les résultats des experts et des institutions publics ou privées (tels que le Fonds monétaire international -IMF et la Banque Mondiale); le rapport de Nicholas Stern (en 2006) qui anticipe l'impact du changement climatique jusqu'en 2100 (économie du risque, traitement égal de toutes les générations, l'inégalité, etc.)

Au Maroc, la recherche publique en matière d'économie peut être orientée vers le développement durable; le rapport du cinquantenaire, le rapport Maroc Vert, sont des documents d'état des lieux et d'anticipation. En prenant en compte les vulnérabilités au Maroc, l'expertise nationale existante (qu'il s'agisse de la recherche privée par des groupes internationaux ou de recherche publique) devrait s'orienter vers la conjugaison de l'économie «verte» avec l'économie «bleue». Le Conseil Economique, Social et Environnemental (CESE) a mis en relief deux points de vigilance : l'intégration insuffisante des deux économies et l'inclusion des populations, ainsi que la nécessité d'une approche d'anticipation vu l'accélération du risque climatique.

Enfin, N. El Aoufi a fait mention de l'exemple de la Chine dont l'expérience récente pourrait démontrer une approche nouvelle de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique.

Conclusions **de la 12^{ème} session plénière solennelle 2017**

A l'instar des précédentes sessions, l'Académie Hassan II des sciences et techniques a conclu ses travaux scientifiques, le jeudi 23 février 2017, par un débat général ouvert non seulement aux académiciens mais aussi à tous les enseignants-chercheurs, universitaires, experts invités, ainsi qu'à des représentants d'associations actives en matière d'océanographie, des relations entre le climat et les océans, de l'impact du changement climatique, de l'atténuation des effets de ces derniers et des adaptations nécessaires.

On peut tirer des interventions faites durant le débat quelques propositions d'action et des recommandations : certaines adressées à l'Académie en conformité avec ses missions et d'autres plus générales à l'intention d'autres institutions de recherche-développement du Royaume.

En premier lieu, il y eut plusieurs appels au renforcement de l'interdisciplinarité, car comme l'ont bien montré les études sur l'océan et le climat ; qu'il s'agisse des sciences ou des techniques, l'interdisciplinarité est de mise pour l'observation, la simulation et la modélisation des effets du changement climatique, l'instrumentation faisant appel à la robotique ou aux satellites, les mesures faites et leur interprétation, l'impact sur les populations concernées, etc. Cet effort de métissage et d'interaction entre les sciences et les technologies concernées renforcerait au sein de l'Académie même (par exemple sous forme de travail inter-collèges) et au-delà de celle-ci la pertinence et la meilleure utilisation des résultats de l'observation ainsi que des actions d'adaptation au changement climatique. Nul doute aussi que cela rapprocherait encore plus l'Académie des différentes composantes de la communauté scientifique nationale.

En second lieu, il y eut une unanimité à réclamer plus d'efforts dans les domaines de l'océanographie, aussi bien physique (observation, simulation de modèles climatiques au niveau global, régional et local) que biologique. Il convient, somme toute, de créer, sur le plan de la formation et de la recherche, une coalescence progressive des compétences marocaines en matière de climatologie ou des sciences du climat. L'Académie peut sans doute y aider, mais de concert avec les institutions nationales, comme l'Institut National des Recherches Halieutiques (INRH), l'Agence nationale de développement de l'aquaculture (ANDA), la Direction de la Météorologie nationale (dont la réussite témoigne bien de l'addition d'expertise et de compétence), les universités des régions du Royaume (et plus spécialement celle qui sont situées près du littoral), etc.

Selon l'un des intervenants, il serait utile que l'Académie puisse constituer un groupe de travail sur «l'ingénierie» des projets de recherche portant sur des domaines nouveaux, comme l'utilisation des données de masse, la simulation, l'usage de robots ou de drones

pour la récolte de données et leur interprétation, la climatologie (avec l'aide de la météorologie). Il s'agirait d'un apprentissage des chercheurs à la manière de rédiger un projet de recherche (que l'Académie, entre autres, pourrait examiner et soutenir), et cela afin que ces mêmes chercheurs puissent répondre correctement à des appels d'offre.

Beaucoup ont souligné la difficulté pour les chercheurs à accéder à l'information disponible dans le domaine «océan-climat». Il y aurait sans doute besoin de faciliter la circulation de toute cette information. Mais l'Académie n'a pas les moyens d'y parvenir seule; il semble d'ailleurs qu'au niveau national est en train de se créer un système de coordination institutionnel, qui pourra rassembler et diffuser cette information.

La nécessaire formation doctorale de jeunes chercheurs dans les différentes spécialités, dont l'addition et l'interaction constituent les sciences et technologies de la climatologie, a été soulignée. C'est évidemment le rôle privilégié de nos universités mais aussi d'institutions comme l'INRH, qui a en son sein des formations doctorales en collaboration avec diverses universités. On a alors mis au relief l'adéquation des ressources et des moyens nécessaires. L'exemple de la réussite de la Météorologie nationale a été cité, avec à l'origine la formulation d'objectifs simples et précis adaptés à la réalité marocaine ainsi que la recherche de moyens adéquats. Il a été rappelé, à l'occasion de cet appel à plus de recherche, coordonnée et fédéré, la nécessité d'une meilleure gouvernance de la recherche scientifique et technique nationale. Dans certains domaines, on a noté des progrès significatifs, comme à l'INRH (projet Halieutis) et à l'ANDA, etc., mais il serait urgent de trouver de nouvelles ressources; l'Académie, en tant qu'agence de réflexion, mais aussi de moyens, pourra y contribuer.

On a aussi souligné la nécessaire durabilité des formations et des recherches entreprises, dans le cadre d'une vision nationale certes, mais largement ouverte sur ce qui se fait au niveau international, car le réchauffement de la planète, la hausse du niveau des mers, la récurrence de sécheresses (parfois même des mégasécheresses), la répétition de phénomènes climatiques extrêmes (inondations, tsunamis, etc..) nous concernent tous. Le Maroc est vulnérable, il ne sera pas épargné par les effets du changement climatique. De là, la nécessaire transition écologique, illustrée par la transition énergétique (en 2030, la moitié de l'électricité utilisée au Maroc sera produite à partir de sources d'énergie renouvelables).

Un intervenant a signalé qu'il y avait parfois, entre des politiques publiques et les résultats avérés de la recherche, des contradictions. Par exemple, l'aménagement du littoral ou du tourisme balnéaire, en dépit des risques climatiques qui les menacent. Qu'en sera-t-il de notre tourisme futur, face à l'aridification avérée à plus ou moins long terme? Cette opinion a semblé être partagée par d'autres intervenants, qui préconisent de ce fait une plus grande interaction entre chercheurs et preneurs de décision.

Enfin, le Maroc, dans le cadre de sa politique de coopération pour le développement en Afrique subsaharienne, devra participer à la création d'un forum des sciences de la mer en Afrique et améliorer encore, comme il le fait avec certains pays comme le Sénégal, ses actions de collaboration.

RAPPORT D'ACTIVITÉ
2016 - 2017

RAPPORT D'ACTIVITÉS 2016-2017

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



Actions réalisées par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques durant l'année 2016 dans le cadre de ses missions telles que fixées par la Loi l'instituant.

L'année 2016 a été marquée par la commémoration du 10^{ème} anniversaire de l'installation solennelle de l'Académie par Sa Majesté le Roi Mohamed VI que Dieu le Protège.



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activité

2

Mission I- Promotion de la recherche scientifique et technologique et financement de projets de recherche

Activité I.1 : Réunions des organes directeurs

Organe directeur		Nombre de réunions
		2016-2017
Conseil d'Académie		8
Commission des Travaux		6
Collèges Scientifiques	Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique	10
	Sciences Physiques et Chimiques	4
	Sciences et Techniques du Vivant	9
	Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer	4
	Etudes Stratégiques et Développement Economiques	-
Sciences de la Modélisation et de l'Information		-

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activité

3

Activités I.2 : Organisation des sessions ordinaires

Thèmes traités	Date
Rencontre sur le thème « Sciences et Technologies : levier majeur d'un partenariat Sud-Sud pour le développement industriel et agricole de l'Afrique »	16 mai 2016
Commémoration du 10 ^{ème} anniversaire de l'installation de l'Académie	18 mai 2016
Adoption du projet de programme de la session plénière solennelle 2017	21 décembre 2016

4

Activité I.3 : Préparation de la session plénière solennelle 2017

Thème général de la session plénière
2017 : « **Océan et Climat : Cas du Maroc** »

Membres de la Commission Préparatoire,
validée par la Commission des Travaux



Pr. Albert SASSON

Pr. Mohamed AIT KADI

Pr. Driss OUAZAR

Pr. Ahmed El HASSANI

Pr. Juan Carlos CASTILLA ZENOBI

Mr. Abdellah MOKSSIT

Pr. Omar ASSOBEI

Pr. Abdeslam HOUMMADA

5

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activité

Activité I.4 : Manifestations organisées à l'occasion de la commémoration du 10^{ème} anniversaire de l'Académie (1/2)

Manifestations scientifiques			
Lieu	Date	Thème	Coordonnateur
Fès – Université Euro-Méditerranéenne	11-13 Janvier 2016	L'Industrie Automobile (Rencontre préparatoire) – Réalisée	M. Bousmina
Rabat- ENS	19 Février 2016	Restauration de la fertilité des sols : un défi mondial, une nécessité pour le Maroc	A. Sasson, A. Filali-Maltouf
Dakhla - Wilaya	29 Février 2016	Environnement et développement dans les provinces sahariennes	A. El Hassani, A. Sasson
Fès – Faculté de Médecine de Fès	8 Mars 2016	L'eau et le développement	A. El Hassani
Marrakech – Université Cadi Ayyad	28 Mars 2016	Les sciences de l'Univers 2 Conférences	O. Fassi-Fehri
Rabat – Faculté des Sciences de l'éducation	20 Avril 2016	L'enseignement des sciences Humaines et sociales dans les formations scientifiques et technologiques	A. Boukhari
Rabat - Académie	16-18 Mai 2016	Rencontre Africaine	M. Bousmina
Rabat – Faculté des Sciences	26-28 Mai 2016	Les Doctorales : Journées des Doctorants CPM2016	E. H. Saïdi
Marrakech – Université Cadi Ayyad	1 et 2 Juin 2016	Transition touristique et développement territorial en Méditerranée	M. Berriane

Activité I.4 : Manifestations scientifiques organisées à l'occasion de la commémoration du 10^{ème} anniversaire de l'Académie (2/2)

Cycle de Conférences			
Lieu	Date	Titre de la Conférence	Conférencier
Rabat	14 mars 2016	« Climat : y voir clair pour agir »	Pr. Sébastien BALIBAR
Marrakech	28 mars 2016	« Trous noirs gloutons »	Pr. Françoise Combes
Casablanca	11 avril 2016	« Les Big Data et l'Industrie »	Pr. Emmanuel Bacry
Rabat	11 avril 2016	« Ce que nous devons à Einstein »	Pr. Serge Haroche
Rabat	27 avril 2016	« Les grandes avancées de la génétique au profit des patients »	Pr. Arnold Munnich
Rabat	18 mai 2016	« Impacts du changement climatique en Afrique »	Pr. Jean Jouzel
Rabat	Octobre 2016	« Métaux stratégiques : enjeux scientifiques et économiques »	Mr. Ismail Akalay Mr. Pierre Toulhoat

Activité I.5 : Projets de recherche soutenus dans le cadre de l'appel d'offres 2010-2011

Projet	Coordonnateur du projet & son institution	Montant total accordé (DH)	Montant versé (DH)
1- Systèmes solaires passifs de rafraîchissement des bâtiments	Brahim BENHAMOU U. Cadi Ayyad	3 000 000	2 660 000
2- Combustion des schistes bitumineux en lit fluidisé	Abdelmounaim BOUHAFID U. Cadi Ayyad	1 608 700	1 292 047
3- Extraction par solvant de la matière organique des schistes bitumineux – Etude et valorisation des huiles produites	Hassan HANNACHE U. Hassan II-Mohammedia	2 999 000	1 599 000
4- Contribution au développement et à la réalisation des cellules photovoltaïques organiques	Mohammed ADDOU U. Abdelmalek Essaâdili	3 008 000	2 409 000
5- Impact des changements globaux sur les vertébrés semi-aquatiques le long d' un gradient méditerranéen à pré-saharien	Tahar SLIMANI U. Cadi Ayyad	2 293 200	1 890 811
6- Recherche pluridisciplinaire sur les géomatériaux et les géosites volcaniques du Maroc: Nécessité de leur valorisation et de leur exploitation dans les perspectives d' un développement durable	Iz-eddine EL AMRANI U. Mohammed V-Agdal	2 500 000	1 600 000
7- Le patrimoine géologique des provinces sahariennes et régions limitrophes (Bas Dra, Ifni)	Omar SADDIQI U. Hassan II-Ain Chock	1 700 000	668 700
8- Méthodes mathématiques et outils de modélisation et simulation pour le cancer	Abdelghani BELLOUQUID U. Cadi Ayyad	1 499 500	851 743
9- Approximation et sous espaces invariants	Omar EL-FALLAH U. Mohammed V-Agdal	1 333 000	461 000
10- Étude épidémiologique et génétique des leucémies myéloïdes aiguës	Sellama NADIFI U. Hassan II-Ain Chock	1 058 000	1 058 000
11- Valorisation et gestion économique intégrée de l' eau d' irrigation au niveau du bassin versant	Mohammed Rachid DOUKKALI Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II	2 999 800	1 509 000
12- Made in Morocco : Industrialisation et développement	Noureddine EL AOUI/Hicham HANCHANE U. Mohammed V-Agdal	1 587 000	1 117 000
Totaux		25 586 200	17 116 291

Retombées 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 communications orales	Brevets	47 Manifestations scientifiques organisées
198	02	Doctorat	105	21	60	Directement associés aux projets	95	0	11 Collaborations internationales
		Elève ingénieur	19			Associés aux thèmes des projets	56		05 Partenariats avec le secteur privé
		Master	62			Total	151		02 Distinction/Prix
		Licence	16				279		
		Total	202						

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activités

Activité I.6 : Projets de recherche soutenus dans le cadre de la collaboration internationale

Projet	Coordonnateur du projet & son institution	Montant total accordé (DH)	Montant versé (DH)
1- Nanocomposites écologiques à partir de ressources naturelles espagnoles et marocaines	Mohammed LAHCINI U. Cadi Ayyad	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-Agdal	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-Agdal	3 841 600 DH	3 841 600
Totaux		6 106 400	6 106 400

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activités

Retombées 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	
38	01	Doctorat	23	04	20	Directement associés aux projets	22	23 Internationales	02 Manifestations scientifiques organisées
		Master	23			Associés aux thèmes des projets	02	05 Nationales	
		Ingénieur	01			Total	24	28	
		Licence	02						
		Total	49						

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activités

Retombées 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	159 Manifestations scientifiques organisées
623	13	Doctorants	315	98	119	210	Directement associés aux projets	315	522 Internationales	10 Distinctions/ Prix
		Élèves ingénieurs	51				Associés aux thèmes des projets	319	143 Nationales	39 Collaborations nationales & internationales
		Master	223							11 Partenariats avec le secteur public/privé
		Licence	82							08 Financements de nouveaux projets
		Total	671							

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activités

Activité I.7 : Projets de recherche soutenus en dehors des appels d'offres

Projet	Coordonnateur du projet & son institution	Montant total accordé (DH)	Montant versé (DH)
1- Evolution de la biosphère en relation avec les fluctuations du niveau d'oxygène enregistrées dans le Protérozoïque	Abderrazak EL ALBANI, U. de Poitiers, France Partenaire au Maroc : Nasrddine YOUNI, U. Cadi Ayyad Amin LAGLAOUJ	3 467 296	866 824
2- Sélection et caractérisation de souches microbiennes autochtones en vue de la production de cultures starters ou de maturation pour la fabrication de produits lactés et carnés	U. Abdelmalek Essaâdi, Tanger	3 447 630	861 250
3- Contribution à la connaissance du safran marocain à l'aide d'outils biotechnologiques (étude physico-morphologique, identification chimique et moléculaire, et sélection de cultivars performants)	Mohammed Amine SERGHINI, U. Ibn Zohr, Agadir	3 401 000	830 920
4- Utilisation des biotechnologies microbiennes pour la réhabilitation des écosystèmes sylvo-pastoraux dégradés et l'amélioration des rendements des cultures	Mustapha MISSBAH EL-IDRISS, U. Mohammed V, Rabat	3 500 000	870 400
5- Réseau international de recherche fondamentale sur les systèmes complexes : Modélisation, analyse et contrôle	Abdelhaq El JAI, U. de Perpignan, France Partenaire au Maroc : El Hassan ZERRIK, U. Moulay Ismail, Meknès	2 410 000	485 000
Totaux		16 225 926	3 914 394

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activités

Activité I.8 : Projets de recherche soutenus dans le cadre de Partenariat avec le groupe SAFRAN et le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres
(Contribution de chaque partenaire)

Projet	Coordonnateur du projet & son institution	Montant total accordé (DH)	Montant versé (DH)
1- Drone autonome	Hicham MEDROMI, U. Hassan II, Casablanca	866 667	216 667
2- Thermoplastiques renforcés mis en œuvre par fabrication additive	Sébastien VAUDREUIL U. Euro-Méditerranéenne de Fès	1 166 533	290 867
3- Mise en place d'une nouvelle matière epoxyde	Khali EL MABROUK, U. Euro-Méditerranéenne de Fès	1 068 503	250 000
Totaux		3 101 703	757 533



Session plénière 2017
Rapport d'activités

Activité I.9 : Lancement d'un nouvel appel d'offres

Thématiques retenues (session ordinaire du 5 juin 2015)

Sciences du Climat

Masse de données (Big Data)

Physique statistique

Sciences des matériaux



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activités

Activités I.10 : Soutien aux manifestations scientifiques en 2016-2017

Nombre de demandes reçues	Nombre de manifestations soutenues	Nombre de doctorants soutenus	Budget total alloué
47	22	227	90 200,00 DH



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activités

16

Activités I.10 : Soutien aux manifestations scientifiques (1/3)

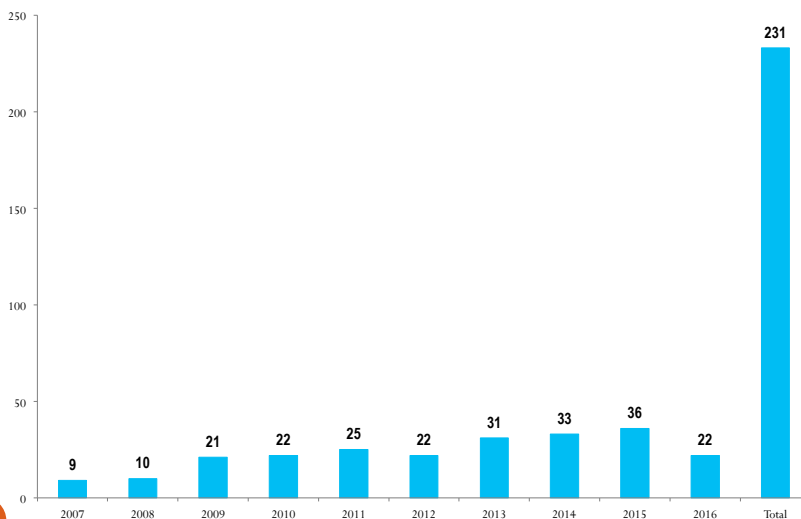
Thème de la manifestation	Date et lieu	Nombre de doctorants soutenus
1 ^{er} congrès international des études sur l'eau et l'environnement	21-22 avril 2016 Al Hoceima	10
Conférence internationale sur l'algèbre et ses applications	26-28 avril 2016 Errachidia	10
3 ^{ème} symposium international sur la chimie analytique au service du développement durable	11-12 mai 2016 Marrakech	-
Colloque international sur la thème « logiciel libre dans les pays du Sud: outil stratégique de formation, d'innovation et de développement durable »	23-24 mai 2016 Meknès	5
Conférence internationale sur le thème « cloud computing and applications »	24-26 mai 2016 Marrakech	4
Journées doctorales en chimie, physique et mathématiques	26-28 mai 2016 Rabat	-
Conférence internationale sur l'eau, l'énergie et les changements climatiques	01-04 juin 2016 Marrakech	10
Colloque en l'honneur des mathématiciens marocains résidents à l'étranger	22-24 septembre 2016 Kenitra	20
Colloque international sous le thème « changements globaux et ressources en eau »	12-13 octobre 2016 Fès	10
Colloque international sous le thème « eau, recyclage et valorisation des déchets »	26-27 octobre 2016 Fès	10

17

Activités I.10 : Soutien aux manifestations scientifiques (2/3)


Thème de la manifestation	Date et lieu	Nombre de doctorants soutenus
4 ^{ème} Conférence internationale sur le thème « les systèmes dynamiques complexes en sciences de la vie : modélisation et analyse »	26-28 octobre 2016 Agadir	5
1 ^{ère} édition du forum national des jeunes chercheurs sur l' anticorrosion et la protection de l' environnement	26 octobre 2016 Kenitra	20
2 ^{ème} édition du salon national de la créativité des jeunes	10-12 novembre 2016 Rabat	-
Journées scientifiques sous le thème « changements climatiques et ressources en eau au Maroc, caractérisation, évaluation et adaptation	10-12 novembre 2016 Marrakech	-
Ecole CIMPA « Analyse numérique et équations aux dérivés partielles »	18-19 novembre 2016 Meknès	8
3 ^{èmes} journées d' économétrie de la finance	18-19 novembre 2016 Rabat	4
7 ^{ème} édition de l' école internationale d' astrophysique d' Oukaimeden	28/11-03/12/2016 Marrakech	2
5 ^{ème} édition des journées « jeunes chercheurs en chimie thérapeutique »	28-29 novembre 2016 Taza	10
1 ^{ère} conférence internationale des sciences des matériaux et environnement	01-03 décembre 2016	10
5 ^{ème} édition du congrès international de la société marocaine de mathématiques appliquées	16-18 mars 2017, Meknès	20
Conférence sur le thème « Ingénierie des données en bioinformatique, image et analyse de données »	23-25 mars 2017 Tanger	5
12 ^{ème} Congrès de Mécanique	11-14 avril 2017 Meknès	5

18

Évolution du nombre de manifestations scientifiques soutenues par l' Académie depuis 2007 .

19

Activité I.11 : Autres actions de promotion de la recherche scientifique

Action	Résultat
Concours général des sciences et techniques (Allocations d'excellence) 	Pour la septième année consécutive, des allocations d'excellence (édition 2016) 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. Au lieu de 8 candidats retenus chaque année, 10 candidats ont été sélectionnés en 2016 suite à la décision d'augmenter l'effectif des lauréats en sciences mathématiques de 2 à 4.
Reconfiguration et mise à jour du site internet de l'Académie	Le site internet de l'Académie www.academiesciences.ma a été reconfiguré et mis à jour de façon à répondre mieux et rapidement aux consultants du site.
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
Maths en 180 secondes (UMV - CNRS- AH2ST)	L'Académie a apporté son appui à la finale du concours international du projet maths en 180 secondes qui a eu lieu à Rabat le 29 septembre 2016. Le prix de l'Académie est allé à un candidat de l'Université de Paris
Soutien à l'édition	L'Académie apporte, suite à une évaluation, un soutien financier à l'édition d'ouvrages ou de monographies scientifiques écrits par les membres de l'Académie et par les chercheurs nationaux.

20

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activité

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)



21

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activité

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
- Conseil d'Administration de l'Agence Nationale de l'Evaluation et de l'Assurance de la qualité de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique.



Académie Hassan II des Sciences et
Techniques Session plénière 2017
Rapport d'activité

22

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)



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activité

23

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 l'orientation des élèves vers ces filières.

Organisation de la journée sur « l'enseignement des sciences » en collaboration avec le Ministère de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle. Objectif : mise en œuvre de la stratégie 2015-2030 visant à initier une dynamique de promotion de l'enseignement des sciences fondée sur le questionnement et sur l'investigation constitutifs des disciplines scientifiques, la démystification des sciences dures en dotant les élèves de connaissances scientifiques tout en les encourageant à se poser des questions et à formuler des réponses et en revalorisant l'atelier de sciences à celui de leçon de sciences.

Participation aux activités du consortium « African European Mediterranean Academies for Science Education » (AEMASE) regroupant une dizaine de pays : la France, l'Allemagne, la Hongrie, l'Italie, le Royaume-Uni, l'Egypte, le Maroc, le Sénégal, le Soudan, et l'Afrique du Sud. L'objectif de ce consortium est l'élaboration d'un projet pour rendre l'enseignement des sciences et les carrières scientifiques plus attractives pour les jeunes.

Lancement de la convention « Sciences au lycée » initiée par l'Académie et qui lie l'Université Ibn Tofail de Kénitra, l'Académie régionale de l'Education et de la Formation du Gharb Chrarda Beni Hssan et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Préparation du rapport préliminaire d'évaluation des clubs scientifiques.

24

Activité III.2 : 11^{ème} édition des journées « les jeunes et la science au service du développement » (1/2)

En partenariat avec le Ministère de l' Education Nationale et la Formation Professionnelle, l'Académie a organisé du 08 au 17 novembre 2016, la 11^{ème} édition des journées « les jeunes et la science au service du développement » qui a coïncidé avec le 10^{ème} anniversaire de l'installation de l'Académie. La thématique générale retenue pour cette édition est « Développement durable face aux changements climatiques ».

En marge de cette 11^{ème} édition, a été organisé le deuxième salon national de la créativité des jeunes " إبداع الشباب ".



Salon national de la créativité des jeunes.

Exposants	37 projets créatifs
Espaces d'exposition	(Créativité, Technologie et Startups-jeunes)
Conférences, ateliers et expositions	1 conférence, 6 ateliers et 2 expositions
Prix	6 prix attribués

25

Activité III.2 : 11^{ème} édition des journées « les jeunes et la science au service du développement » (2/2)

Activités : Conférences, rencontres, ateliers etc.

A noter que le programme des manifestations de cette édition a reçu le label COP22.

Activité	Nombre
Conférences	47
Rencontres et Ateliers	37
Expositions	26
Visites et excursions	21
Films documentaires	5
Compétitions scientifiques et concours	3
Total des activités	139
Nombre d'encadrants	500
Nombre de participants	20 000

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activité

26

Activité III.3 : Organisation du cycle de conférences (1/2)






« L'Académie est chargée d'assurer une communication de haut niveau entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale » (Loi, art.2). 1^{ère} série de conférences avec l'aide du Service Culturel de l'Ambassade de France.

Titre de la conférence	Présentée par	Date et lieu	
« Climat : y voir clair pour agir »	Pr. Sébastien BALIBAR	14 mars 2016 Rabat	
« Les trous noirs gloutons »	Pr. Françoise COMBES	28 mars 2016 Marrakech	
« 13,8 milliards d'années racontés par le télescope Planck »	Pr. Cécile RENAULT	28 mars 2016 Marrakech	
« Les Big Data et l'Industrie »	Pr. Emmanuel BACRY	11 avril 2016 Casablanca	

27

Activité III.3 : Organisation du cycle de conférences (2/2)

L'Académie est chargée d'assurer une communication de haut niveau entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale (Loi, art.2)

Titre de la conférence	Présenté(e) par	Date et lieu	
« Ce que nous devons à Einstein »	Pr. Serge HAROCH	12 avril 2016 Rabat	
« Les grandes avancées de la génétique au profit des patients »	Pr. Arnold MUNNICH	27 avril 2016 Rabat	
« Le changement climatique et ses effets sur l'Afrique »	Pr. Jean Jouzel	18 mai 2016	
« Origine de l'Homme : une perspective maghrébine »	Pr. Jean-Jacques HUBLIN	26 mai 2016 Rabat	
« La stratégie de recherche et d'innovation de HPS (Hightech Payment Systems) »	Mr. Mohamed HORANI	20 septembre 2016 Rabat	

28

Activité III.4 : Participation et contributions de l'Académie à la COP22

Activité	Lieu	Date
1. Colloque international sur le thème « Développement territorial et transition touristique en Méditerranée dans un climat qui change »	Marrakech	1-2/06/2016
2. Séminaire sur le thème « Education et Climat »	Rabat	11/11/2016
3. Side-Event sur le thème « Adaptation au changement climatique face aux mégasécheresses »	Marrakech	12/11/2016
4. Journées « Les jeunes et la science au service du développement » sur le thème « Le développement durable face aux changements climatiques »	Fès	8-17/11/2016
5. Rencontre des Académies Africaines des Sciences à Marrakech sur le thème « Mitigation, adaptation and resilience to climate change in Africa : Role of Science and Technology & continental cooperation »	Marrakech	15/11/2016
6. Session plénière solennelle 2017 sur le thème général « Occan et climat- Cas du Maroc »	Rabat	21-23/02/2017

29

Activité III.5: Publications de l'Académie durant 2016-2017

- Actes de la session plénière 2016,
- Bulletin d'information de l'Académie (N° 19 et 20),
- Lettres de l'Académie (N° 27, 28 et 29),
- Volume 6 n°1 (2017) du Journal scientifique de l'Académie « Frontiers in Science and Engineering »,
- Conférences éditées:
 - L'Afrique face au réchauffement climatique
 - Origine et évolution de la famille humaine
 - Ce que nous devons à Einstein
 - Les défis de la physique
 - La stratégie de recherche et d'innovation de HPS
- Rapports édités (Bilan de la première décennie, de l'installation de l'Académie, synthèse de la session plénière)



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
- Session plénière 2017 -
Rapport d'activité

30

Activité III.6: Bibliothèque de l'Académie

- Elaboration de l'inventaire complet de tous les documents acquis par l'Académie pour sa Bibliothèque depuis son installation en 2006.
- Présentation de la Bibliothèque, son organisation, son Comité de Suivi et d'Orientation, ses collections et ses services; suivie d'une visite guidée de ses locaux aux académiciens présents à la session ordinaire de l'Académie, organisée le 21 décembre 2016.
- Réception des Dons des Académiciens :
 - Plusieurs documents précieux offerts par le Pr Francisco Garcia-Garcia, membre associé de l'Académie Hassan II.
 - Des cartes géologiques et des échantillons de minerais précieux offerts par le Pr Ahmed El Hassani, membre résident de l'Académie Hassan II.
 - Plusieurs documents numériques scientifiques envoyés par Mr Marcelo De Sousa Vasconcelos, membre associé de l'Académie Hassan II.
- Traitement de documents achetés par l'Académie et/ou reçus en dons par des personnes, des institutions nationales et internationales.
- Visite de plusieurs personnalités et délégations d'institutions nationales et internationales dont Monsieur l'Ambassadeur de France à Rabat.



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
- Session plénière 2017 -
Rapport d'activité

31

Mission IV- Coopération, partenariat et présence de l'Académie à l'échelle internationale

Partenariat international



Activité IV.1 : Coopération bilatérale

- Dans le cadre de renforcement des liens de coopération bilatérale, l'Académie procède à la signature de conventions de coopération

Convention de coopération bilatérale

<i>Signature de la Convention entre le Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Association R&D Maroc et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.</i>	<i>Rabat, le 16 février 2016 actualisée le 21 décembre 2016</i>	
<i>Signature de la prolongation de la Convention entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'INSERM, (France).</i>	<i>Paris, le 27 septembre 2016</i>	
<i>Signature de la Convention de partenariat entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et L'Académie des Sciences du Mexique.</i>	<i>Rabat, le 21 février 2017</i>	

Activité IV.2 : Coopération multilatérale

Manifestation	Date	Lieu	Participant
Huitième Assemblée Générale de l'IAP	02 mars 2016	Haerminus, Afrique du Sud	Pr. Mohamed Ait Kadi
Réunion du Comité Exécutif du NASAC	16 mai 2016	Rabat	Représentants des Académies africaines
Réunion du Comité exécutif de l'IAP	25 septembre 2016	Pékin, Chine	Pr. Driss Ouazar
Réunion du Comité exécutif de l'IAMP	25-29 septembre 2016	Pékin, Chine	Pr. Rajae El Aouad
Réunion de IAP-SDGs Projet	16-17 août 2016	New York, USA	Pr. Rajae El Aouad
Réunion de IAP-SDGs Projet	01-02 février 2017	Paris, France	Pr. Rajae El Aouad

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
- Session plénière 2017-
Rapport d'activité

34

Activité IV.3 : Participation de l'Académie aux rencontres et manifestations scientifiques au niveau national et international

Action	Manifestations scientifiques		
	Manifestation	Lieu	Date
	Fast Dev	Dakar	23 février 2016
	Rencontre internationale du Next Einstein Forum	Dakar	8-10 mars 2016
	Journée Eau et environnement	Fes	8 mars 2016
	Rencontre sur Sciences et technologies : leviers majeurs d'un partenariat Sud-Sud pour le développement industriel et agricole en Afrique	Rabat	16 mai 2016
	Atelier Traduction de la langue arabe des avis scientifiques	Rabat	18-19 juin 2016
	Conférence sur Faire progresser les sciences de la mer en Afrique avec l'Acad. Nat. des Sciences USA	Iles Maurice	25-26 juillet 2016
	NASAC Women for Science Working Group	Nairobi, Kenya	3-6 août 2016
	IAP For Research Board Research	Pékin, Chine	29/09/2016
	Rôle des Académies dans le Développement Durable	Philippines	28-29/9/2016
	350 ^{ème} Anniversaire de l'Académie des Sciences de l'Institut de France (Signature, par 72 académies, de la déclaration commune science et confiance)	Paris	27 septembre 2016
	الجنوب الدولي السابع للجمعية الدولية لتاريخ الطب العربي	Fes	15 octobre 2016
	Séminaire sur Les milieux stratégiques : Enjeux scientifiques et économiques	Rabat	1 novembre 2016
	المؤتمر العربي الدولي الرابع عشر للثورة المعرفية	Djeddah, Arabie Saoudite	22-24 novembre 2016

Représentants des Académies Nationales présents au 350^{ème} anniversaire de l'Académie des Sciences (France), sous la voûte de la Pyramide du Louvre - Paris.

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 2015-2016, l'Académie a reçu la visite de :

Délégation	Date
Membres du Comité exécutif de NASAC	16 mai 2016
Ambassadeur de la République Française au Maroc	19 mai 2016
Délégation de l'Académie de l'Enseignement Supérieur Militaire de Kenitra	24 janvier 2017



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
- Session plénière 2017-
Rapport d'activité

36

V- Organisation administrative de l'Académie



37

V.1.- Les ressources humaines

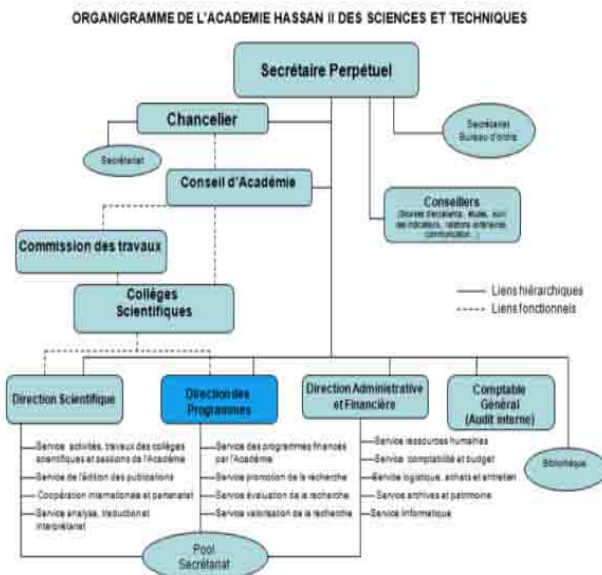
- *Le nombre du personnel de l'Académie s'élève aujourd'hui à 30 personnes dont 15 cadres supérieurs (docteurs d'Etat ou ingénieurs). Il est composé du personnel statutaire, du personnel détaché, du personnel mis à disposition et de contractuels. Ce personnel est chargé de différentes tâches et activités de l'Académies au sein des différents organes directeurs et administratifs de l'Académie .*
- *Nomination de plusieurs chefs de service et chargés de mission*



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activité

38

V.2.- Actions administratives (1/2)



39

V.2.- Actions administratives (2/2)



40

V.3. Budget de l'Académie en Dirhams

Dépenses	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Fonctionnement	7 949 527,04	10 149 426,29	10 700 000,00	10 700 000,00	10 884 000,00	8 667 067,47	11 286 577,44
Equipement	20 526 429,31	64 829 628,31	56 961 159,13	61 672 166,02	71 447 329,79	68102 317,92	74 786 115,78
TOTAL	28 475 956,35	70 979 090,60	67 661 159,13	72 372 166,02	82 331 329,79	76 769 385,39	86 072 693,22
Coût de la Session plénière	1 260 354,35	1 263 087,48	1 880 388,36	2 483 090,31	2 673 881,12	2345 932,48	2 439 706,46
Coût Journée d'étude	-	-	195 572,00	30 000,00	119 287,40	-	37 939,00
Coût des Sessions ordinaires	132 808,44	31 680,00	132 462,00	99 385,00	149 998,00	-	438 777,16
Conventions de recherche	3 474 828,37	15 929 237,99	2 409 500,00	990 400,00	6 046 111,00	5150945,00	7 092 494,00
Soutien aux manifestations scientifiques	99 000,00	457 501,40	111 047,40	249 367,19	309 868,22	275 080,00	90 200,00

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière 2017
Rapport d'activité

41

Conclusion

Dans son préambule, le Dahir de création de l'Académie Hassan II stipule que la maîtrise des sciences et techniques est considérée comme un complément essentiel à la souveraineté nationale. Le même Dahir stipule que la science et la recherche scientifique doivent occuper une place majeure dans l'échelle des valeurs nationales ; le développement du pays est directement tributaire du développement de son système éducatif, mais aussi de la reconnaissance du rôle de la recherche scientifique et de l'innovation dans la croissance de son économie et pour le bien être de sa population.

*Par ses activités, l'Académie Hassan II des Sciences et Technique essaye donc inlassablement de s'acquitter de sa mission en donnant à la science et à la recherche scientifique une place majeure dans l'échelle des valeurs nationales, 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 2017

La session plénière solennelle 2017 de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, s'est tenue à Rabat, les 21, 22 et 23 février 2017, sous le thème scientifique général «**Océan et climat – Cas du Maroc**». Les travaux de cette session sont synthétisés dans le présent compte rendu.

Mardi 21 février 2017 (après-midi)

Séance interne de l'Académie

Cérémonie d'ouverture

- Allocution d'ouverture

- Conférence inaugurale : *«Le rôle des océans et des mers dans la régulation du climat et réponse des écosystèmes marins au changement climatique»*

Le mardi 21 février 2017, de 14h à 16h, les six collèges scientifiques de l'Académie se sont réunis séparément, et pour la première fois, dans des locaux de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, pour passer en revue le bilan des activités de l'année écoulée 2016 et discuter leur plan d'action pour l'année en cours 2017.

A 16h30, dans la grande salle de Conférences de l'Académie du Royaume à Rabat, s'est tenue la cérémonie d'ouverture solennelle de la session plénière solennelle 2017 en présence de plusieurs personnalités invitées; étaient également présents plusieurs représentants des médias (presse écrite, radios et chaînes de télévision).

Au début de la cérémonie d'ouverture, l'Académie a procédé à l'élection de Pr. Abdelaziz SEFIANI comme Directeur des séances, en remplacement de Pr. Sellama NADIFI dont le mandat est venu à expiration. Ensuite, la parole fut donnée au Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques pour prononcer le Discours d'ouverture, présenter le thème scientifique général de la session et souhaiter la bienvenue aux participants. Dans son discours, le Secrétaire perpétuel a rappelé que l'Académie, dans le cadre de ses activités notamment les sessions plénières et les sessions ordinaires qu'elle tient régulièrement, cherche avant tout à aborder des questions scientifiques dont les solutions permettent de contribuer au développement du pays. Il a fait remarquer également que face aux enjeux majeurs de ce début du XXI^{ème} siècle – augmentation sans précédent de la population mondiale, raréfaction des ressources naturelles, déséquilibre des développements, dérèglement des équilibres planétaires – il est primordial que nos sociétés redonnent encore plus confiance à la science et s'appuient sur la démarche raisonnée de la pensée scientifique pour répondre de manière responsable aux questions d'aujourd'hui et aborder avec sérénité celles de demain. Dans son Discours d'ouverture, il a aussi rappelé les activités de l'Académie au cours de l'année écoulée, plus particulièrement la commémoration du 10^{ème} anniversaire de l'installation de l'Académie à travers les régions du pays, la contribution de l'Académie à la COP22 par 5 Side Events et la présence de l'Académie sur le plan international notamment sur le plan africain. A la fin, il a remercié toutes les éminentes personnalités scientifiques venant du Maroc et de l'étranger pour présenter des communications et participer aux débats en liaison avec le thème général de la session «**Océan et climat – Cas du Maroc**».

A la fin de cette allocution, l'Académie a poursuivi ses travaux par une conférence inaugurale sur le thème «**Le rôle des océans et des mers dans la régulation du climat et réponse des écosystèmes marins au changement climatique**», présentée par le Pr. Carlos M. Duarte, Professeur à l'Université Le Roi Abdellah des Sciences et de Technologie en Arabie Saoudite.

Une discussion a suivi cette conférence inaugurale, animée principalement par le Pr. Abdelaziz SEFIANI, Directeur des séances.

Mercredi 22 février 2017 (matin, première partie)
Séance plénière I : Modélisation des interactions océan climat

La première partie de la matinée du mercredi 22 février 2017 fut consacrée à la modélisation des interactions océan climat, au cours de laquelle trois exposés pléniers furent présentés, respectivement par :

- Pr. Valérie Masson-Delmotte, Université Paris Saclay, France, Co-présidente de l'Intergouvernemental Panel des Nations Unis sur le changement climatique (IPCC/GIEC), Genève, Suisse, sur «*L'importance des océans pour le changement climatique, du passé au futur*»,
- Mr. Abdallah Mokssit, Membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Secrétaire général du (IPCC/GIEC), Genève, Suisse, sur «*Chimie Modélisation du rôle des océans dans le changement climatique : état de nos connaissances, défis, le cas du Maroc*»,
- Mr. Karim Hilmi, Directeur à l'Institut National de Recherches Halieutiques, Maroc, sur «*Réchauffement climatique et acidification des océans de la région nord ouest africaine*».

Une discussion a suivi ces exposés et la conférence inaugurale, animée principalement par le Pr. Abdelaziz SEFIANI, Directeur des séances.

Mercredi 22 février 2016 (matin, deuxième partie)
Séance plénière II : Sciences et Techniques du vivant

Après la pause, la deuxième séance de la matinée du mercredi 23 février 2017 fut consacrée aux niveaux des mers et événements climatiques extrêmes, au cours de laquelle deux exposés pléniers furent représentés, respectivement par :

- Pr. Anny Cazenave, Professeur au collège de France, Membre de l'Académie des Sciences, France, sur «*Changement climatique, réchauffement des océans, fonte de la glace terrestre et élévation des niveaux des mers*»,
- Mme. Fatima Driouech, Directrice à la Direction de la Météorologie Nationale, sur «*Changement climatique et les sécheresses récurrentes*».

Une discussion a suivi ces exposés, dirigée par le Pr. Abdelaziz SEFIANI, Directeur des séances.

Mercredi 22 février 2017 (après- midi, première partie)
Séance plénière III : Thermodynamique et chimie des océans
et impacts sur les ressources

La première partie de l'après-midi du mercredi 22 février 2017 fut consacrée à la séance plénière III sur le sous-thème «**Thermodynamique et chimie des océans et impacts sur les ressources**», au cours de laquelle trois exposés furent présentés, respectivement, par :

- Mr. Laurent Bopp, Institut Pierre-Simon Laplace, Paris, France, sur «*L'océan comme réservoir de carbone, aujourd'hui et demain : ce que nous savons et ce que nous savons pas*»,
- Pr. David Osborn, Directeur des Laboratoires de l'environnement de l'AIEA, Principauté de Monaco, sur «*Changement de la chimie et de la température des océans et leurs impacts sur la biodiversité marine*»,
- Mr. Abdelmalek Faraj, Directeur général du l'Institut National de Recherches Halieutiques, sur «*L'océan comme fournisseur de ressources*».

La discussion de ces exposés fut reportée au débat général programmé à la séance plénière du jeudi matin.

Mercredi 22 février 2017 (après-midi, deuxième partie)
Séance plénière IV : Les implications économiques

La deuxième partie de l'après-midi du mercredi 22 février 2017 fut consacrée à la séance plénière IV sur le sous-thème «**Les implications économiques**» au cours de laquelle un exposé fut présenté, en vidéoconférence par :

- Pr. Daniel Nahon, Professeur émérite de l'Université Aix Marseille, France, sur «*Les implications économiques du changement climatique*».

Une discussion a suivi cette intervention, dirigée par le Pr. Abdelaziz SEFIANI, Directeur des séances.

Jeudi 23 février 2017 (matin, première partie)
Séance plénière V : Débat général

La première partie de la matinée du jeudi 23 février 2017 fut consacré à la suite de la séance plénière IV consacrée au thème «**Les implications économiques**», au cours de laquelle un exposé fut présenté par :

- Pr. Omar Assobhei, Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, sur «*Baisse de la pêche des poissons dans la mer et rôle de l'aquaculture*».

Après cet exposé une séance de débat général a été ouverte et dirigée par le Pr. Abdelaziz SEFIANI, Directeur des séances.

Jeudi 23 février 2017 (matin, deuxième partie)
Séance plénière VI : Panel sur «Les perspectives de recherche au Maroc»

La deuxième partie de la matinée du jeudi 23 février 2017 fut consacrée au panel sur le thème **«Les perspectives de la recherche au Maroc»**, modéré et animé par le **Pr. Albert Sasson**, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, et a donné lieu à trois interventions présentées par :

- Mr. Karim Hilmi, Directeur à l'Institut National de Recherches Halieutiques, Maroc,
- Pr. Juan Carlos Castilla, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,
- Mme. Majida Maarouf, Directrice de l'Agence Nationale pour le Développement de l'Aquaculture (ANDA)
- Mr. Abdelah Mokssit, Membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,
- Pr. Noureddine El Aoufi, Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Le rôle de rapporteur de ce panel a été assuré par le Pr. Omar Assobhei, Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Suite à ces interventions, une discussion a eu lieu dirigée par le Pr. Abdelaziz SEFIANI, Directeur des séances.

Jeudi 23 février 2017 (après-midi)
Séance interne de l'Académie
Présentation du rapport d'activité 2015-2016
Renouvellement des instances de l'Académie
&
Clôture de la Session

La première partie de la séance du jeudi 23 février 2017 après-midi a été consacrée à la lecture et l'adoption du message de loyauté, de gratitude et de déférence adressé à Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu L'assiste et Le protège – à l'occasion de la clôture des travaux de la session plénière solennelle pour Sa bienveillante sollicitude, Ses précieux encouragements et Sa Protection Tutélaire dont s'enorgueillit l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques., ainsi que pour la Haute Sollicitude dont Il entoure l'ensemble de la communauté scientifique du Maroc.

Ensuite, la parole a été donnée au Secrétaire perpétuel de l'Académie pour présenter le rapport d'activité 2016-2017.

Dans ce rapport, ont été présentées les actions menées par l'Académie au cours de l'année écoulée conformément aux missions que le Dahir de sa création lui confère. Les actions réalisées durant l'année 2016-2017 concernent les missions suivantes :

- *promotion, développement et financement de la recherche scientifique et technologique. Les actions menées sont :*
 - Réunions des organes directeurs de l'Académie (Conseil d'Académie (8 réunions), Commission des Travaux (6 réunions), Collèges scientifiques (27 réunions);
 - Session ordinaire thématique (Sciences et technologies : levier majeur d'un partenariat Sud-Sud pour le développement industriel et agricole de l'Afrique);
 - Session ordinaire pour la commémoration du 10ème anniversaire de l'installation de l'Académie ;
 - Préparation de la session plénière 2017;
 - Session ordinaire pour l'adoption du programme de la session plénière 2017;
 - Organisation des manifestations scientifiques à travers les villes des différentes régions du Maroc à l'occasion de la commémoration du 10ème anniversaire de l'installation de l'Académie ;
 - Suivi du financement des projets de recherche soutenus dans le cadre de l'appel d'offres 2010-2011 ;
 - Suivi du financement des projets de recherche soutenus dans le cadre de la coopération internationale;
 - Suivi du financement des projets de recherche soutenus en dehors des appels d'offres;
 - Suivi du financement des projets de recherche soutenus dans le cadre de partenariat avec le groupe SAFRAN et le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres;
 - Préparation de lancement d'un nouvel appel d'offres auprès de la communauté scientifique nationale sur des nouveaux thèmes prioritaires;
 - Soutien aux manifestations scientifiques organisées par les chercheurs marocains (22 manifestations soutenues);
 - Attribution des allocations d'excellence (édition 2016) aux lauréats du concours général en sciences et techniques ;
 - Reconfiguration et réactualisation du site internet de l'Académie ;
 - 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 ;
 - Soutien de l'Académie à l'initiative ma thèse en 180 secondes ;
 - Soutien à l'édition d'ouvrages ou de monographies scientifiques.
 - la participation de l'Académie à manifestations scientifiques au Maroc et à l'étranger.
- *Contribution à la politique nationale 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, ANEAQESRS...).

- *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 l'orientation des élèves vers ces filières;
 - Organisation de la journée sur «l'enseignement des sciences» dont l'objectif de la mise en œuvre de la stratégie de réforme du système éducatif 2015-2030 ;
 - Préparation du rapport d'évaluation des clubs scientifiques;
 - 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 11ème édition des journées «les jeunes et la science au service du développement» sous la thématique générale «Développement durable face aux changements climatiques»;
 - Contribution à l'organisation du deuxième salon national de la créativité des jeunes,
 - Participation et contribution de l'Académie à la COP22 par l'organisation de 3 Side-Event;
 - l'organisation d'un cycle de conférences,
 - Préparation du bilan de la première décennie de l'installation de l'Académie (2006-2016);
 - Edition et diffusion des publications de l'Académie (Actes de la session plénière 2016, Bulletin d'information de l'Académie (N°19 et 20), Lettre de l'Académie (N°27, 28 et 29) et Volume 6 n°1 du Journal de l'Académie «Frontiers in Science and Engineering»;
 - Edition des conférences organisées par l'Académie;
 - Renforcement des activités de la bibliothèque de l'Académie (inventaire complet de tous les documents acquis, réception des dons, traitement de documents achetés, visite à la bibliothèque....)
- *promotion de la coopération scientifique et du renforcement de la présence de l'Académie sur le plan international par :*
 - Signature de la prolongation de la convention de coopération avec l'Académie l'INSERM, France;
 - Signature d'une convention de coopération avec l'Académie des Sciences de Mexique;
 - Intensification et renforcement des relations de coopération avec les pays de l'Afrique;
 - Réunion du Comité Exécutif du NASAC;
 - Réunion du 8^{ème} Assemblée générale de l'IAP;
 - Réunion du Comité exécutif de l'IAP;
 - Réunion du Comité exécutif de l'IAMP.

- *état synthétique du personnel administratif et du budget de l'Académie :*
 - Elaboration de l'organigramme de l'Académie;
 - Nomination de plusieurs chefs de service et chargés de missions;
 - Elaboration du Manuel des procédures comptables.

Après cette présentation, 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, suite à la réunion des collèges scientifiques qui a eu lieu le mardi 21 février 2017 avant la séance d'ouverture de la session plénière. Ces résultats sont les suivants :

Collège des Sciences et techniques du vivant

- *Directeur* : Mr. Taïeb Chkili (élu)
- *co-directeur* : Mme Sellama Nadifi (reconduite)

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. El Hassan Saidi (élu)
- *co-directeur* : Mr. Abdelilah Benyoussef (élu)

Collège des Sciences de la modélisation et de l'information

- *Directeur* : Mr. Youssef Ouknine (reconduit)
- *co-directeur* : Mr. Maati Ouhabaz (reconduit)

Collège des Ingénierie, Transfert et Innovation technologiques

- *Directeur* : Mr Tijani Bounahmedi (reconduit)
- *co-directeur* : Mr Ali Boukhari (reconduit)

Collège des Etudes stratégiques et Développement économique

- *Directeur* : Mr. Nouredine El Aoufi (élu)
- *co-directeur* : Mr. Redouane Taouil (élu)

Après, la parole a été donnée au Chancelier 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,
- Mr. Ahmed El Hassani
- Mr. El Hassan Saidi,
- Mr. Taïeb Chkili.

Membres de la Commission des travaux :

- Mr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel
- Mr. Mostapha Bousmina, Chancelier,
- Mr. Driss Aboutajeddine,
- Mr. Malik Ghellab,
- Mme Sellama Nadifi,
- Mr. Albert Sasson,
- Mr. Abdelaziz Sefiani.

Après cette présentation, les académiciens purent entamer une discussion sur le rapport d'activité 2016-2017 qui a permis de dégager les remarques et recommandations suivantes :

- Nécessité de mettre en place une stratégie de communication grand public concernant les activités que mène l'Académie;
- Encourager l'octroi des bourses d'excellence aux doctorants marocains inscrits en cotutelle;
- Encourager les étudiants à s'orienter vers des disciplines scientifiques et les inciter à choisir des carrières de chercheurs;
- Mettre en place une stratégie de recrutement permettant d'avoir plus de ressources humaines dans le domaine de la recherche médicale;
- Organiser des séminaires de formation à la publication scientifique pour les chercheurs marocains;
- Penser à recruter à l'avenir un attaché de communication au sein de l'Académie pour aller chercher sur le terrain des jeunes qui ont des talents et des atouts de réussite;
- Organiser des séminaires pour aider les chercheurs à faire et à présenter des projets ;
- Evaluer et apprécier les activités de l'Académie sur le plan de soutien aux projets de recherche;
- Rappeler la nécessité d'une relance de la recherche scientifique au Maroc notamment sur le plan de la formation et la mobilisation des compétences et de la réforme profonde du statut des enseignants chercheurs;
- Enfin, se féliciter de la réussite de la session plénière solennelle 2017.

Suite à cette discussion, le Secrétaire perpétuel a pris la parole pour apporter les précisions supplémentaires suivantes :

- Concernant la question de la formation à la publication, l'Académie a organisé deux séminaires de formation à la publication;
- Pour ce qui est de la problématique de la qualité de l'enseignement, il est essentiel de défendre et sauvegarder la valeur du diplôme délivré;
- Pour construire l'avis de l'Académie, il faut organiser un débat pour convaincre et aider les décideurs;

- Se féliciter de la réussite de la session plénière sur le plan organisationnel et sur le plan de l'équilibre entre les intervenants marocains et étrangers ainsi que sur le plan du débat scientifique très riche qu'elle a suscité;
- Saluer pour la première fois la réussite de la visioconférence présentée par le Pr. Daniel Nahon de l'Université Aix Marseille;
- Rappeler que le thème scientifique général de la session plénière 2017 est le prolongement du Sommet Africain de l'Action, présidé par Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu le Garde, à l'occasion de la tenue de la COP22 à Marrakech. Au cours de ce Sommet a été adoptée la création de trois commissions régionales sur le plan de l'action pour affronter les défis du changement climatique : la première concerne la région du Lac du Tchad, la seconde la région du Bassin du Congo et la troisième la région des pays insulaires. La session plénière 2017 avec son thème scientifique général «océan et climat- cas du Maroc» se veut être aussi une session d'action en faveur de l'aide à la prise de décision en s'appuyant sur la démarche raisonnée de la pensée scientifique pour répondre de manière responsable aux questions liées au changement climatique qui se posent aujourd'hui et aborder avec sérénité celles de demain;
- Noter l'insuffisance de collaboration constatée entre les établissements publics techniques qui travaillent sur le terrain et qui sont affrontés à des problèmes d'ordre scientifique et technique et nos universités;
- Appeler à la relance de notre système de recherche et d'innovation.

A la fin de cette séance, Monsieur le Secrétaire perpétuel a dégagé les principales conclusions tirées de cette session, en insistant sur sa richesse scientifique et sur la qualité des invités, des interventions et des débats; il a également exprimé ses vifs remerciements à ses confrères et consœurs, aux enseignants-chercheurs, aux étudiants, à tout le personnel de l'Académie, aux interprètes ainsi que ses félicitations pour la réussite de cette session.

LISTE DES PARTICIPANTS

LISTE DES PARTICIPANTS à la session plénière (21-23 février 2017)

Membres de l'Académie

Prénom et NOM	Qualité/Profession	Collège
Daoud AIT-KADI	Membre résident Professeur, Université Laval, Canada	SMI
Mohamed AIT-KADI	Membre résident, Professeur, IAV Hassan II, Rabat	STETM
Omar ASSOBBEI	Membre résident Professeur, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès	STETM
El Hassan BELARBI HAFTALLAOUI	Membre correspondant, Professeur, Université d'Almeria, Espagne	STV
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
Rajaa CHERKAOUI EL MOURSILI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SPC
Taïeb CHKILI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	
Rajae EL AOUAD	Membre résident, Professeur, Institut National d'Hygiène Rabat	STV
Noureddine EL AOUI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	ESDE
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
Claude GRISCELLI	Membre associé Professeur, Université René Descartes – France	STV

Prénom et NOM	Qualité/Profession	Collège
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
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
Mahfoud ZIYAD	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	ITIT

LISTE DES INVITÉS

ayant présenté une communication

Prénom et NOM	Affiliation
Laurent BOPP	Institut Pierre-Simon Laplace, IPSL, Paris, France
Anny CAZENAVE	Académie des Sciences, France
Fatima DRIOUECH	Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc
Carlos M. DUARTE	Université Le Roi Abdullah des Sciences et de Technologie, Arabie Saoudite
Abdelmalek FARAJ	Directeur Général, Institut National de Recherche Halieutique, Casablanca, Maroc
Karim HILMI	Institut National de Recherche Halieutique, Casablanca, Maroc
Majida MAAROUF	Agence Nationale pour le Développement de l'Aquaculture
Valérie MASSON-DELMOTTE	Université Paris-Ouest, EconomiX, France
Daniel NAHON	Professeur émérite, Université Aix Marseille, France
David OSBORN	Directeur, Laboratoires de l'environnement de l'AIEA, Principauté de Monaco



صورة المشاركين في الدورة العامة الرسمية لسنة 2017
Photo des participants à la Session Plénière Solennelle 2017

عند نهاية هذه الجلسة، أعطيت الكلمة من جديد للسيد 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. كما تقدم بتشكراته إلى كافة أعضاء الأكاديمية، وإلى كل العاملين بها، وإلى طاقم الترجمة وهنئهم على إنجاز أشغال هذه 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.

- التذكير بضرورة النهوض بالبحث العلمي في المغرب وخاصة على مستوى التكوين وتعبئة الكفاءات والإصلاح العميق للنظام الأساسي للأساتذة الباحثين.
- أخيرا تهنئة أنفسنا على نجاح الدورة الرسمية العامة لسنة 2017.

عند نهاية هذه المناقشة، أعطيت الكلمة للسيد أمين السر الدائم لتقديم بعض التوضيحات الإضافية التالية :

- فيما يخص المسألة المتعلقة بالتكوين في ميدان نشر نتائج البحث، يجب الإشارة إلى أنه تم تنظيم ندوتين تكوينيتين تتعلقان بهذا الموضوع،
- فيما يتعلق بإشكالية جودة التعليم، أكد السيد أمين السر الدائم على ضرورة الدفاع والحفاظ على قيمة الدبلوم المحصل عليه،
- لتكوين رأي الأكاديمية وإبدائه في اتجاه السلطات العمومية يجب تنظيم حوار لإقناع ومساعدة أصحاب القرار،
- نهني أنفسنا على نجاح الدورة الرسمية العامة لسنة 2017 على مستوى التنظيم وعلى مستوى التوازن بين المتدخلين المغاربة والأجانب وأيضا على مستوى العروض العلمية والمناقشة التي تلتها.
- نحیی أيضا نجاح المحاضرة التي ألقاها الأستاذ دانييل ناهون عن بعد لأول مرة مباشرة من مرسيليا بفرنسا،
- التذكير بأن الموضوع العلمي العام لهذه الدورة هو امتداد للقمة الإفريقية للعمل التي ترأسها صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله بمناسبة انعقاد المؤتمر حول التغيرات المناخية COP22 في مراكش خلال شهر نوفمبر 2016. حيث تم خلال هذه القمة إنشاء ثلاثة لجان جهوية لمواجهة تحديات تغير المناخ: الأولى تهم جهة بحيرة التشاد، الثانية جهة حوض الكونغو والثالثة جهة دول الجزر. إن الدورة العامة الرسمية لسنة 2017 وموضوعها العلمي العام تريد بدورها أن تكون دورة للعمل للمساعدة على اتخاذ القرارات على أساس نهج عقلاني وعلمي للرد بمسؤولية على الأسئلة المتعلقة بتغير المناخ التي نواجهها اليوم وعلى معالجة أسئلة الغد بكل رَوِيَّة.
- تسجيل ضعف التعاون الملحوظ بين المؤسسات العمومية التقنية التي تعمل في الميدان والتي تواجه صعوبات علمية وتقنية وبين الجامعات.

• أعضاء مجلس الأكاديمية :

- السيد عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم،
- السيد مصطفى بوسمينة، نائب أمين السر الدائم،
- السيد أحمد الحسني،
- السيد حسن سعدي،
- السيد الطيب الشكلي.

• أعضاء لجنة الأعمال :

- السيد عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم،
- السيد مصطفى بوسمينة، نائب أمين السر الدائم،
- السيدة سلامة الناضيفي،
- السيد ألبر ساسون،
- السيد مالك غلاب،
- السيد عبد العزيز سفياني.

بعد تقديم هذه النتائج، جرت مناقشة واسعة بين الأكاديميين حول تقرير أشغال الأكاديمية للسنة المنتهية، أسفرت على عدة ملاحظات وتوصيات يمكن تلخيصها في ما يلي :

- ضرورة وضع استراتيجية للتواصل تهم أنشطة الأكاديمية في اتجاه الجمهور الواسع،
- تشجيع إمكانية إعطاء منح التميز للطلبة المسجلين في الدكتوراه في إطار المشاركة في الوصاية،
- تشجيع الطلبة وتوجيههم نحو المسالك العلمية وحثهم على اختيار مهنة الباحث،
- وضع استراتيجية وطنية للتوظيف تمكن من إيجاد الموارد البشرية في ميدان البحث الطبي في المغرب،
- تنظيم ندوات لتكوين الباحثين على نشر نتائج أبحاثهم،
- التفكير في توظيف ملحق في التواصل داخل الأكاديمية مكلف بالاتصال بالشباب ذات المواهب المرتفعة وإمكانيات النجاح القوية،
- تنظيم لقاءات وندوات لمساعدة الباحثين المغاربة لتقديم نتائج ومشاريع أبحاثهم،
- تقييم خطة دعم مشاريع البحث الممولة من طرف الأكاديمية،

• الأنشطة الإدارية

- إعداد البنية الهيكلية لإدارة الأكاديمية
- تعيين عدد من رؤساء المصالح والمكلفين بالمهام،
- إعداد موجز لإجراءات المحاسبة

بعد تقديم هذا التقرير، واصلت الأكاديمية أشغالها حيث قدم كل مدير سابق للهيئات العلمية نتائج انتخاب مدير ونائب مدير كل هيئة التي تم خلال اجتماع الهيئات العلمية الذي انعقد يوم 21 فبراير 2017 قبل الجلسة الافتتاحية. حيث أصفرت على النتائج التالية:

• هيئة علوم وتقنيات الأحياء

- المدير: انتخاب السيد الطيب الشكلي
- نائبة المدير: إعادة انتخاب السيدة سلامة الناضيفي

• هيئة علوم وتقنيات البيئة والأرض والبحر

- المدير: إعادة انتخاب السيد أحمد الحسني
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد إدريس وزار.

• هيئة علوم الفيزياء والكيمياء

- المدير: انتخاب السيد حسن سعيدي
- نائب المدير: انتخاب السيد عبد الإله بن يوسف

• هيئة علوم التنظير والإعلام

- المدير: إعادة انتخاب السيد يوسف أوكنين
- نائب المدير: انتخاب السيد معطي أوهاباز

• هيئة علوم الهندسة، الإبداع والنقل التكنولوجي

- المدير: إعادة انتخاب السيد تيجاني بونحميدي
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد علي البخاري

• هيئة الدراسات الإستراتيجية والتنمية الاقتصادية

- المدير: انتخاب السيد نور الدين العوفي
- نائب المدير: انتخاب السيد رضوان الطويل.

بعد ذلك، أعطيت الكلمة لنائب أمين السر الدائم لتقديم نتائج انتخاب أعضاء مجلس الأكاديمية، وأعضاء لجنة الأعمال، التي أسفرت على النتائج التالية :

- تطوير تدريس العلوم والنهوض بالثقافة العلمية من خلال:
 - المشاركة في أشغال اللجنة التي أنشأتها وزارة التربية الوطنية والتكوين المهني لقيادة وتتبع مسألة تدريس العلوم والتكنولوجيات، وتوجيه التلاميذ نحو هذه المسالك،
 - تنظيم يوم دراسي حول تدريس العلوم بهدف تنفيذ الرؤية الاستراتيجية لإصلاح منظومة التربية والتكوين 2030-2015،
 - إعداد التقرير الأولي حول تقييم النوادي العلمية،
 - المشاركة في المجموعة الأكاديمية الإفريقية - الأوروبية - المتوسطية للنهوض بتدريس العلوم،
 - تنظيم الدورة الحادية عشر لأيام «الشباب والعلم في خدمة التنمية» حول موضوع «التنمية المستدامة ومواجهة التغيرات المناخية»،
 - المساهمة في تنظيم المعرض الوطني الثاني لإبداع الشباب،
 - المشاركة والمساهمة في أشغال المؤتمر حول التغيرات المناخية COP22 وتنظيم 3 ندوات علمية Side Event ،
 - تنظيم حلقة المحاضرات، و المساهمة في تنظيم الندوات، واللقاءات والأيام الدراسية....
 - نشر منشورات الأكاديمية (وقائع جلسات الدورة الرسمية 2016، النشرة العلمية رقم 19 و 20، رسالة الأكاديمية رقم 27 و 28 و 29 و المجلد 6 (رقم 1) من مجلة الأكاديمية «حدود في العلوم والهندسة»،
 - نشر عدد من المحاضرات التي نظمت من طرف الأكاديمية،
 - تعزيز أنشطة مكتبة الأكاديمية.
- النهوض بالتعاون العلمي وتعزيز حضور الأكاديمية على مستوى الدولي من خلال :
 - التوقيع على معاهدة التعاون مع أكاديمية العلوم والآداب والفنون لبنين،
 - التوقيع على معاهدة التعاون مع المعهد الوطني للصحة والأبحاث الطبية بفرنسا،
 - تقوية علاقة التعاون مع أكاديميات العلوم الإفريقية،
 - المشاركة في الاجتماع الثامن للجمعية العامة للشبكة العالمية لأكاديميات العلوم IAP ،
 - حضور اجتماع الهيئة التنفيذية للشبكة العالمية لأكاديميات العلوم IAP ،
 - حضور اجتماع الهيئة التنفيذية للشبكة العالمية لأكاديميات الطب IAMP ،
 - حضور اجتماع الهيئة التنفيذية لشبكة أكاديميات العلوم الإفريقية NASAC .

خلال سنة 2016-2017. في بداية هذه الجلسة، أعطيت الكلمة لأمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لتقديم التقرير عن عمل وأنشطة الأكاديمية خلال السنة المنتهية وذلك في سياق تفعيل المهام الرئيسية للأكاديمية المنصوص عليها في الظهير الشريف المحدث لها. لقد واصلت الأكاديمية، خلال سنة 2016-2017، إنجاز أعمالها وأنشطتها المتعلقة بالمهام التالية:

• النهوض وتنمية وتمويل البحث العلمي والتكنولوجي من خلال :

- تنظيم اجتماعات الأجهزة المشرفة على إدارة أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات (مجلس الأكاديمية (8 اجتماعات)، لجنة الأعمال (6 اجتماعات)، الهيئات العلمية (27 اجتماع))،
- تنظيم الدورات العادية الموضوعاتية،
- إعداد وتهيئ الدورة الرسمية العامة لسنة 2017،
- مواصلة برنامج الاحتفاء بالذكرى العاشرة لتأسيس الأكاديمية في مختلف جهات المملكة،
- متابعة تمويل مشاريع البحث المدعمة من طرف الأكاديمية في إطار طلب العروض 2010-2011،
- متابعة تمويل مشاريع البحث المدعمة في إطار التعاون الدولي،
- متابعة برنامج دعم مشاريع البحث العلمي خارج إطار طلب العروض،
- إعداد طلب العروض الجديد،
- دعم التظاهرات العلمية التي تنظمها المجموعة العلمية الوطنية (دعم 22 تظاهرة علمية)،
- إعداد تقرير حول مهام وأنشطة الأكاديمية خلال الفترة 2006-2016،
- تقديم منح التميز للفائزين في المباراة الوطنية في العلوم والتقنيات التي شارك فيها المتفوقون الأولون الحاصلين على شهادة البكالوريا لسنة 2016 في المسالك العلمية والتقنية،
- مساهمة الأكاديمية في التظاهرات العلمية داخل وخارج الوطن،
- 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،
- دعم المبادرة أطروحتي في 180 ثانية،

• المساهمة في تحديد السياسة الوطنية للبحث العلمي والتقني من خلال :

- المشاركة وتنظيم اللقاءات المخصصة للبحث العلمي والتكنولوجي،
- مساهمة الأكاديمية في أشغال الهيئات الوطنية (المجلس الأعلى للتربية والتكوين والبحث العلمي، اللجنة الوطنية لتنسيق التعليم العالي، المجلس الإداري للمركز الوطني للبحث العلمي والتقني، المجلس الإداري للوكالة الوطنية لتقييم جودة التعليم العالي والبحث العلمي...) (العلمي...)

الخميس 26 جمادى الأولى 1438 الموافق ل 23 فبراير 2017 صباحا (الجزء الأول)
مواصلة الجلسة العامة الرابعة حول «التأثيرات الاقتصادية»

استأنفت أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات دورتها الرسمية يوم الخميس 23 فبراير 2017 صباحا بمواصلة أشغال الجلسة العامة الرابعة حول «التأثيرات الاقتصادية» التي تم خلالها الاستماع إلى عرض قدم من طرف:

- الأستاذ عمر أصوبحي، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، حول «انخفاض صيد الأسماك في البحار ودور تربية الأحياء المائية»؛

بعد نهاية هذا العرض تم فتح مناقشة عامة أدارها الأستاذ عبد العزيز سفياني مدير الجلسات.

الخميس 26 جمادى الأولى 1438 الموافق ل 23 فبراير 2017 صباحا (الجزء الثاني)
الجلسة العامة الخامسة «مناقشة عامة»

بعد نهاية الجزء الأول من صباح يوم الخميس 23 فبراير 2017، استأنفت الأكاديمية أشغال جلساتها في جزئها الثاني بعقد مائدة مستديرة، سيرت من طرف الأستاذ ألبير ساسون، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، وتميزت بالاستماع إلى خمس مداخلات حول موضوع «آفاق البحث العلمي في المغرب» قدمت من طرف كل من :

- السيد كريم حلمي، المعهد الوطني للبحث في الصيد البحري ،
- السيدة ماجدة معروف، الوكالة الوطنية لتنمية تربية الأحياء المائية،
- الأستاذ عد الله مقسط، عضو مراسل بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات؛
- الأستاذ نور الدين العوفي، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات.

بعد تقديم هذه المداخلات، جرت مناقشة عامة أدارها الأستاذ ألبير ساسون، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، وأشرف على إعداد تقريرها الأستاذ عمر أصوبحي، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات،

الخميس 26 جمادى الأولى 1438 الموافق ل 23 فبراير 2017 زوالا

الجلسة المغلقة

تقديم ومناقشة تقرير أعمال ونشاط الأكاديمية خلال السنة المنتهية
تجديد أجهزة الأكاديمية

و

الجلسة الختامية

بعد زوال يوم الخميس 26 جمادى الأولى 1438 الموافق ل 23 فبراير 2017، واصلت الأكاديمية أشغالها في جلسة مغلقة، خصصت لتقديم ومناقشة التقرير السنوي لعمل وأنشطة الأكاديمية

- الأستاذة أني كازناف، عضوه أكاديمية العلوم (فرنسا) حول «تغير المناخ، ارتفاع حرارة المحيطات، ذوبان الجليد وارتفاع مستوى البحر»؛
- السيدة فاطمة الدريوش (مديرية الأرصاد الجوية، المغرب) حول «تغير المناخ وتكرار الجفاف»؛

بعد نهاية هذه العروض نظمت مناقشة عامة سيرها الأستاذ عبد العزيز سفياني مدير الجلسات.

الأربعاء 25 جمادى الأولى 1438 الموافق ل 22 فبراير 2017 زوالا الجلسة العامة الثالثة حول «الديناميكية الحرارية وكيمياء المحيطات وتأثيرها على الموارد»

خصص الجزء الأول من زوال يوم الأربعاء 25 جمادى الأولى 1438 الموافق ل 21 فبراير 2017 للجلسة العامة الثالثة حول موضوع «الديناميكية الحرارية وكيمياء المحيطات وتأثيرها على الموارد»، حيث تم خلالها الاستماع إلى ثلاثة عروض علمية قدمت من طرف :

- الأستاذ لورن بوب، من معهد بيير سيمون لابلاس IPSL بباريس (فرنسا)، حول «المحيط كخزان للكربون، اليوم وغدا : ما نعرفه وما لا نعرفه»؛
- الأستاذ دافيد أسبورن، مدير مختبر البيئة للوكالة الدولية للطاقة النووية، موناكو حول «تغير كيمياء ودرجة حرارة المحيطات وآثارها على التنوع البيولوجي البحري»؛
- السيد عبد الملك فرج، مدير عام المعهد الوطني للبحث في الصيد البحري، حول «المحيط كمصدر للموارد».

بعد هذه العروض حصلت مناقشة عامة سيرها الأستاذ عبد العزيز سفياني مدير الجلسات.

الأربعاء 25 جمادى الأولى 1438 الموافق ل 22 فبراير 2017 زوالا الجلسة العامة الرابعة حول «التأثيرات الاقتصادية»

بعد فترة الاستراحة عقدت الأكاديمية جلستها الرابعة حول موضوع «التأثيرات الاقتصادية» حيث تم خلالها الاستماع إلى عرض قدم من طرف :

- الأستاذ دانيال ناهون، أستاذ فخري، جامعة اكس مارسيليا، فرنسا حول «الآثار الاقتصادية لتغير المناخ»؛

بعد نهاية هذا العرض تم فتح مناقشة عامة أدارها الأستاذ عبد العزيز سفياني مدير الجلسات.

شكر الشخصيات العلمية ذات المستوى الرفيع، التي لبّت دعوة الأكاديمية وأتت من المغرب ومن خارجه لتساهم في تنشيط أشغال الدورة العامة بارتباط مع الموضوع العام للدورة «المحيط والمناخ: المغرب نموذجا».

مباشرة بعد نهاية الكلمة الافتتاحية وتقديم برنامج الدورة، تابعت الأكاديمية أشغالها بالاستماع إلى المحاضرة الافتتاحية حول موضوع «دور المحيطات في تنظيم المناخ واستجابة النظم الإيكولوجية البحرية مع تغير المناخ» التي ألقاها الأستاذ كارلوس م دوارتي، أستاذ بجامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنيات بالملكة العربية السعودية. عند نهاية المحاضرة فتح باب المناقشة سيرها الأستاذ عبد العزيز سفياني مدير الجلسات.

الأربعاء 25 جمادى الأولى 1438 الموافق ل 22 فبراير 2017 صباحا الجلسة العامة الأولى حول «نمذجة تفاعلات المحيطات-المناخ»

في صباح يوم الأربعاء 21 فبراير 2017، تابعت الأكاديمية أشغالها بدراسة الموضوع حول «نمذجة تفاعلات المحيطات-المناخ»، والتي تم خلالها الاستماع إلى ثلاثة عروض قدمها كل من :

- الأستاذة فاليري ماسون ديلموط، أستاذة بجامعة باريس ساكلي، رئيسة مشاركة للفريق الحكومي الدولي للأمم المتحدة بشأن تغيير المناخ، حول موضوع «أهمية المحيطات في تغير المناخ، من الماضي إلى المستقبل»؛
- السيد عبد الله مقسط، عضو مراسل في أكاديمية الجسن الثاني للعلوم والتقنيات، المدير العام لمديرية الأرصاد الجوية الوطنية، الكاتب العام CITEC/IPCC، حول «نمذجة المحيطات في تغير المناخ: واقع المعرفة، تحديات - المغرب نموذجا»؛
- السيد كريم حيلمي، المعهد الوطني للبحث في الصيد البحري بالمغرب، حول «ظاهرة الاحتباس الحراري وارتفاع الحموضة في منطقة غرب إفريقيا الشمالية».

بعد هذه العروض فتح باب المناقشة سيرها الأستاذ عبد العزيز سفياني مدير الجلسات.

الأربعاء 25 جمادى الأولى 1438 الموافق ل 22 فبراير 2017 صباحا الجلسة العامة الثانية حول «مستويات البحر والظواهر المناخية القصوى»

بعد الاستراحة، تابعت الأكاديمية أشغالها بانعقاد الجلسة العامة الثانية حول موضوع «مستويات البحر والظواهر المناخية القصوى»، والتي تم خلالها الاستماع إلى عرضين قدمها كل من :

انعقدت الدورة الرسمية العامة لسنة 2017 لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات بقاعة المحاضرات بمقر أكاديمية المملكة بالرباط أيام الثلاثاء 24 والأربعاء 25 والخميس 26 جمادى الأولى 1438 هجرية، الموافق لـ 21 و22 و23 فبراير 2017 ميلادية، حول الموضوع العلمي العام «المحيط والمناخ : المغرب نموذجاً».

الثلاثاء 24 جمادى الأولى 1437 الموافق لـ 21 فبراير 2017 زوالا

جلسة مغلقة للأكاديمية

الجلسة الافتتاحية

الكلمة الافتتاحية

محاضرة الافتتاح حول موضوع «دور المحيطات في تنظيم المناخ واستجابة النظم الإيكولوجية البحرية مع تغير المناخ»

يوم الثلاثاء 24 جمادى الأولى 1438 الموافق لـ 21 فبراير 2017 اجتمعت الهيئات العلمية السنة، ما بين الساعة الثانية والرابعة زوالا، بشكل منفصل في قاعات أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لمراجعة حصيلة أنشطتها لسنة 2016 ومناقشة خطة عملها لسنة 2017.

في الساعة الرابعة والنصف زوالا لنفس اليوم انطلقت الجلسة الافتتاحية لأشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2017 لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات بقاعة المحاضرات بمقر أكاديمية المملكة بالرباط بحضور عدد من الشخصيات المدعوة ؛ كما حضرها عدد من ممثلي وسائل الإعلام السمعية البصرية والمكتوبة.

في بداية الجلسة الافتتاحية تم انتخاب الأستاذ عبد العزيز سفياني مديرا للجلسات خلفا للأستاذة سلامة الناضيفي الذي انتهت ولايتها. مباشرة بعد ذلك أعطيت الكلمة للأستاذ عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، لإلقاء الكلمة الافتتاحية للترحيب بالمدعوين ولتقديم الموضوع العلمي العام لهذه الدورة. وقد ذكر الأستاذ عمر الفاسي الفهري في كلمته بأن الأكاديمية تسعى في إطار أنشطتها المتعلقة بالخصوص في دوراتها العامة الرسمية ودوراتها العادية المنعقدة بصفة منتظمة إلى معالجة المسائل العلمية بهدف الوصول إلى حلول يمكنها أن تساهم في تنمية البلاد. كما أشار إلى ضرورة مواجهة الرهانات الكبرى التي يعرفها مطلع القرن الواحد والعشرين، المتمثلة في الزيادة الموهلة لسكان العالم، وتضائل الموارد الطبيعية، وانعدام التنمية المتوازنة، واختلال التوازنات الكونية، وإعطاء مجتمعاتنا المزيد من الثقة للعلم مع الاعتماد على النهج العقلاني للفكر العلمي قصد الإجابة بصفة مسئولة على أسئلة اليوم والتصدي بكل صفاء وهدوء لأسئلة الغد. كما ذكر في كلمته الافتتاحية بأنشطة الأكاديمية خلال السنة المنصرمة التي تميزت بالاحتفاء بالذكرى العاشرة لتأسيس الأكاديمية من طرف صاحب الجلالة وذلك بتنظيم تظاهرات علمية في مختلف مدن جهات المملكة، وبالمساهمة في المؤتمر حول التغيرات المناخية COP22 عبر المشاركة في خمس ندوات علمية Side Event، وبتعزيز حضور الأكاديمية على المستوى الدولي والإفريقي. في نهاية كلمته

**محضر أشغال الدورة الرسمية العامة السنوية لأكاديمية
الحسن الثاني للعلوم والتقنيات
لسنة 1438 هجرية الموافق لسنة 2017 ميلادية**

حول موضوع :

«المحيط والمناخ : المغرب نموذجا»

ولمواجهة هذه المخاطر، أصبح من الضروري تعميق النقاش حول أهمية البحث التنموي والابتكار التكنولوجي، والتشاور حول تحديد مشاريع البحث الواعدة التي تهتم المشاكل المتعلقة بالمناخ. لذا أضحت مهمتا تشجيع التكوين والتعليم في مجال علم المناخ، الذي يعتر من العلوم المتعددة التخصصات بامتياز، وتشجيع أنشطة البحث في مجال المناخ، سواء فيما يتعلق بجانب جمع المعطيات، وتحليل وتبادل البيانات ذات الصلة والمعلومات عن الآليات الفيزيائية والكيميائية المعنية، وكذلك النماذج والمحاكاة الرقمية التي تتحكم في هذه الآليات للحد من الشكوك وتحسين التوقعات.

خلال هذه الدورة العامة الرسمية ستخصص أربع جلسات لدراسة ومناقشة الموضوع العلمي العام لهذه الدورة وخاصة القضايا المرتبطة بسبل معالجة الآثار الناتجة عن تغير المناخ وانعكاساتها على المحيط وسواحه، وكذا تأثيراتها الاقتصادية والاجتماعية، فضلا عن دراسة آفاق البحث العلمي في مجال علم المناخ والوسائل الممكنة لمواجهة هذه الظواهر، مع التركيز على حالة المغرب. كما ستكون لدينا فرصة لاستماع عدة عروض حول الموضوع العلمي العام وبعض الإجابات لعدد من القضايا المتعلقة بهذا الموضوع سيقدمها ثلة من الشخصيات العلمية المرموقة جاءت من المغرب وخارج المغرب؛ أغتنم هذه الفرصة لأشكرهم جزيل الشكر على حضورهم معنا وعلى قبولهم دعوتنا للمساهمة معنا في أشغال دورتنا. كما نود أن نحیی بحرارة كل الشخصيات والمدعوين، الذين استجابوا لدعوتنا، والذين نتوجه لهم بالشكر الجزيل ونرحب بهم معنا.

أريد أيضا أن أغتنم هذه الفرصة لأتقدم بجزيل الشكر بالخصوص لصديقي الأستاذ عبد جليل الحجمري، أمين السر الدائم لأكاديمية المملكة وإلى جميع العاملين معه، على كل المساعدات والتسهيلات اللوجيستكية التي يقدمونها كعادتهم لتنظيم دورتنا الرسمية.

كما أريد كذلك أن أتقدم بالشكر الحار لكل الأجهزة العلمية والإدارية لمؤسستنا والتمثلة في أعضاء مجلس الأكاديمية ولجنة الأعمال والهيئات العلمية وكل أعضاء الأكاديمية مشاركين ومقيمين ومراسلين، وجميع العاملين في الأكاديمية على مساعدتهم القيمة وعلى ما يقدمونه من عمل ومن عطاء لصالح الأكاديمية وخصوصا بالنسبة لتحضير هذه الدورة في أحسن الظروف، التي نتمنى النجاح لأشغالها ولأكاديميتنا حتى ترقى إلى ما يطمح لها راعيها صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله وأيده، أن تكون «في خدمة الوطن، وأن تساهم في تنمية العلوم بأبعادها الكونية».

شكرا على حسن إصغائكم واستماعكم.

المنصرمة بتنظيم اجتماعين بالرباط للجنة التنفيذية لشبكة الأكاديميات الإفريقية للعلوم NASAC، في 16 و 18 مايو 2016، حول موضوع «العلوم والتكنولوجيا : رافعة أساسية للتعاون جنوب-جنوب لخدمة التنمية الصناعية والفلاحية في إفريقيا» وذلك في إطار الاحتفاء بالذكرى العاشرة لتنصيب الأكاديمية ؛ كما أنه وخلال المؤتمر حول التغيرات المناخية COP22 تم تنظيم ندوة علمية Side Event (15 نوفمبر 2016) حول «التأقلم، التخفيف والقدرة على التكيف مع التغيرات المناخية : دور العلم والتكنولوجيا والتعاون القاري» والمصادقة أيضا على بيان حول إشكالية التغيرات المناخية في إفريقيا وقعه أعضاء اللجنة التنفيذية لشبكة الأكاديميات الإفريقية للعلوم ؛ كما أن الأكاديمية شاركت بوفد مهم في التظاهرة الدولية بديكار «منتدى إنشأتين المقبل» (10-8 مارس 2016) والذي شهد حضور الرئيسين السنغالي والرواندي ؛ في أعقاب اجتماع الجمعية العامة للجنة التنفيذية لشبكة الأكاديميات الإفريقية للعلوم والمنعقدة في جنوب إفريقيا شهر نوفمبر 2016 تم انتخاب أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات للمرة الثانية على التوالي كرئيس لشبكة الأكاديميات الإفريقية للعلوم في شخص زميلنا الأستاذ مصطفى بوسمينة نائب أمين السر الدائم.

أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،

إن موضوع «المحيط والمناخ» كان من المواضيع الرئيسية لمؤتمر الأطراف في الاتفاقية الإطار للأمم المتحدة حول التغيرات المناخية COP22 المنظم من طرف المملكة المغربية في شهر نوفمبر المنصرم بمدينة مراكش، واختياره كموضوع علمي عام لدورتنا يرجع بالتأكيد للدور الحاسم الذي يلعبه المحيط في الصيرورة المعقدة لتنظيم المناخ، كم ان اختياره راجع بالخصوص إلى أهمية الموارد البحرية الحية والتنوع البيولوجي التي أصبحت اليوم مهددة بالاستغلال المفرط، وبالتلوث الضخم، وبالتشتيت والتناثر، وبتحميض مياه البحر الناتج عن امتصاص المحيطات لثاني أكسيد الكربون.

أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،

بتوفره على ما يناهز 3500 كلم من السواحل، وامتلاكه لواجهتين بحريتين على المحيط الأطلسي والبحر الأبيض المتوسط، وتواجهه في موقع جغرافي يعتبر من أكثف المواقع على مستوى العبور البحري، فإن المغرب معني في المقام الأول وبشكل مباشر بأثر التفاعل بين المحيطات والمناخ . ومن الواضح أن البحر وسواحه تعتبر من المؤهلات الأساسية لتنمية بلادنا، حيث تساهم الأنشطة ذات الصلة بالبحر بما يناهز 20 % من الناتج الداخلي الخام الوطني.

إن استباق المخاطر المرتبطة بتغير المناخ ينطوي بالضرورة على وضع استراتيجية مستمرة لتحسين المراقبة المنتظمة وفهم الظواهر، والحد من الشكوك في المحاكات الرقمية للمناخ، والبحث ونشر الحلول التي تؤدي إلى انخفاض كبير في انبعاث الغازات المسببة للاحتباس الحراري.

إن وراء كل هذا التقدم وهذا التطور نجد نساء ورجال العلم الأكفاء الذين وضعوا قوانين ونظريات أدت إلى كل هذه الاختراعات والإبداعات.

أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،

أصبح العلم اليوم أكثر من أي وقت مضى رهانا كبيرا بالنسبة لمجتمعاتنا، وعاملا حاسما في تطورها. فخلال أكثر من ثلاثة قرون أثبتت المعرفة العلمية عن مزايا وفوائد الاكتشافات والتدقيقات العلمية. فبتصاعد المعرفة العلمية عند الإنسان تزداد سيطرته على بيئته، التي عليه أن يحافظ عليها، ويتمكن من استخدام خياله لتحسين حالته، وتسهيل وتكييف حياته اليومية. فالمعرفة العلمية التي بنيت على مدى قرون، من خلال حركة دءوبة ومستمرة، كانت دائما مصدر أكيد للتقدم.

كما أغتنم هذه المناسبة لأشيد ببيان «العلم والثقة»، الذي اعتمد، في 27 سبتمبر 2016 بباريس من قبل الأكاديميات للعلوم عبر العالم وذلك بمناسبة اليوم العالمي للعلوم، حيث أن هذه الأكاديميات وتعبيرا عن تفهمها للشكوك التي ترتب مجتمعاتنا أحيانا بشأن جدوى العلوم فلقد عبرت خلال الاحتفال بالذكرى 350 من إنشاء أكاديمية العلوم الفرنسية، عن رغبتها في العمل بشراكة مع المجتمع، كما أنها جددت في هذه المناسبة الثقة في التعليم وفي قدرة البحث العلمي على المساهمة في تقدم الإنسانية.

ونظرا للرهانات الرئيسية التي يشهدها القرن الواحد والعشرون، والمتمثلة في الزيادة الغير مسبوقة في عدد سكان العالم، وفي شح الموارد الطبيعية، وفي التطورات الغير المتوازنة على مستوى التنمية، وفي الاختلال على مستوى التوازن الكوني، أصبح من البديهي على مجتمعاتنا وضع مزيد من الثقة في العلم واعتماد نهج عقلاني وعلمي للرد بمسؤولية على أسئلة اليوم ومعالجة أسئلة الغد بكل روية.

سيداتي سادتي،

تميزت السنة المنصرمة ببرمجة أكاديمية الحسن الثاني لتظاهرات متعددة، فبجانب الأنشطة التي نقوم بها عادة منذ أكثر من عشر سنوات، والمتمثلة في النهوض بالبحث العلمي وتشجيع الامتياز، والتي سنقوم بعرض حصيلتها بالتفصيل خلال جلسة يوم الخميس بعد الزوال، ركزت الأكاديمية أنشطتها على ثلاثة محاور أساسية :

1. الاحتفاء بالذكرى العاشرة لتنصيب الأكاديمية من طرف صاحب الجلالة وذلك بتنظيم تظاهرات علمية في مختلف مدن جهات المملكة،
2. المساهمة في المؤتمر حول التغيرات المناخية COP22 عبر المشاركة في خمس ندوات علمية ، Side Event
3. تعزيز حضور الأكاديمية على المستوى الدولي والإفريقي ؛ وفي هذا الصدد أود أن أركز على التعاون الإفريقي الذي شهد تعزيز حضور الأكاديمية على هذا المستوى، وتميزت السنة

بسم الله الرحمن الرحيم

السادة الوزراء المحترمون،

أصحاب السعادة،

السيدات والسادة أعضاء الأكاديمية،

سيداتي سادتي،

منذ إحدى عشرة سنة، خلال تنصيب أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات يوم 18 مايو 2016، وفي إطار التوجيهات السامية لراعيها صاحب الجلالة الملك محمد السادس، حفظه الله ونصره، أكد جلالته للأعضاء المغاربة والأجانب الذين تم اختيارهم «على أهمية الدور الفاعل الذي سيقوم به علمائنا بصفة عامة، وأعضاء الأكاديمية بصفة خاصة في الإسهام في رفع ما طرحه التنمية من تحديات، ولا سيما منها تلك المرتبطة بالتنمية البشرية».

وفي هذا الإطار، سعت الأكاديمية من خلال دوراتها العامة الرسمية ودوراتها العادية التي عقدتها، أن تعالج القضايا العلمية التي تتطرق إلى حلول يمكنها أن تساهم في تنمية البلاد؛ وهكذا تمت معالجة على سبيل المثال إشكالية الطاقة، والطاقة المتجددة والانتقال الطاقوي، ومسألة المخاطر الطبيعية والظواهر المناخية القاسية، والكيمياء ورهان التنمية المستدامة، ودروس الأزمة الغذائية العالمية، والأمراض الناشئة والمعاودة...؛ صحيح أننا نركز في المقام الأول على الجانب العلمي، وفهم الظواهر، لأنها تعتبر مراحل ضرورية وحاسمة في عملية التنمية العلمية والتكنولوجية، لكننا بحاجة أيضا إلى دراسة الجانب التكنولوجي، والتركيز على تطبيق النتائج العلمية، وبالتالي المساهمة في خدمة التنمية في البلاد لنتمكن تدريجيا من خلق تكنولوجيا مغربية.

تاريخيا أيضا، نلاحظ أن إنشاء أكاديميات العلوم –بالمعنى الحديث– خلال القرن السابع عشر في أوروبا أدى إلى تقدم علمي وتكنولوجي هائل كان بمثابة القاعدة الأساس في التغيير الاقتصادي والاجتماعي الهام؛ حيث كان على سبيل المثال السبب أيضا في خلق مختلف الثورات الصناعية التي تمت منذ القرن الثامن عشر؛ الأولى مع اختراع الآلة البخارية من طرف الفيزيائي جيمس وات (عضو الجمعية الملكية البريطانية بلندن)، التي أدت فيما بعد إلى اختراع القطار، والباخرة، والسيارة، وآلات الأدوات؛ الثورة الصناعية الثانية التي تميزت باختراع الكهرباء والمحرك الانفجاري واكتشاف البترول؛ والثورة الصناعية الثالثة المتمثلة في الثورة الرقمية التي شهدت التطور المعلوماتي واختراع المعالج الدقيق (microprocesseur)؛ ويعتبر البعض أننا نعيش اليوم ثورة رابعة متمثلة في الثورة البيئية والتي تهم كل المجالات وتتميز بظاهرة الانتقال إلى الطاقة الخضراء والاقتصاد الدائري (المحافظة على البيئة والموارد الطبيعية وإعادة تدوير النفايات).

كلمة الأستاذ عمر الفاسي الفهري
أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات
في
الجلسة الافتتاحية الرسمية لأشغال الدورة العامة لسنة 2017
لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات
الرباط، الثلاثاء 21 فبراير 2017

المناخية القصوى، والديناميكية الحرارية وكيمياء المحيطات وتأثيرها على الموارد، وكذلك التأثيرات الاقتصادية الناتجة عن تغير المناخ. بالإضافة إلى العروض والمحاضرات انكب المشاركون على دراسة أحسن الطرق وأنجع السبل لتمكين العلوم والتكنولوجيا من المساهمة في الحد من مخاطر التغيرات المناخية وانعكاساتها على المحيط والبحر والبيئة والمجتمع، مع التركيز بصفة خاصة على وضعية المغرب بالنسبة لهذه الحالات. كما أوصى المشاركون في أشغال هذه الدورة بضرورة توعية المجتمع وخاصة الشباب والتلاميذ على وجه الخصوص لإحساسهم بمخاطر التقلبات المناخية، وإلى ضرورة الاهتمام بالبحث العلمي والابتكار التكنولوجي من أجل فهم هذه الظواهر ومعالجتها واقتراح حل للحد من آثارها السلبية.

وخلال هذه الدورة تم كذلك تقديم التقرير السنوي لأنشطة الأكاديمية الذي تضمن كل الأنشطة التي قامت بها الأكاديمية خلال السنة المنتهية والتي تميزت بالأهمية الكبرى التي أعطتها الأكاديمية لتعزيز علاقاتها مع شبكة الأكاديميات العلمية الإفريقية والمجموعة العلمية الإفريقية مستحضرة النجاحات الباهرة التي تم تحقيقها، يا مولاي، على يديكم الكريمتين على صعيد توطيد العلاقات بين بلادنا والبلدان الشقيقة الإفريقية، تلتها مناقشة من طرف أعضاء الأكاديمية الذين أوصوا بأن تقوم الأكاديمية بدورها الكامل في النهوض بالعلم والتكنولوجيا في وطننا العزيز، حتى تصبح منارة لسمو الفكر، ومنبرا لإشعاع العلم في شتى مجالات المعرفة العلمية، وتساهم إلى جانب الجهود الجماعي للأمة ومؤسساتها الوطنية في 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 وإعداد الموارد البشرية المؤهلة التي من شأنها الإسهام في إرساء دعائم التنمية الشاملة، وترسيخ العدالة الاجتماعية، وصياغة مغرب المعاصرة المعتز بهويته وقيمه، والانخراط في سياق عصر الانفتاح ومجتمع العلم واقتصاد المعرفة.

حفظكم الله، يا مولاي، ورفع بالعز نصركم ولوائكم، وأبقاكم ذخرا وملانا لشعبكم الوفي المتشبث بأهداب عرشكم المنيف، وأطال بقائكم لهذه الأمة المستظلة بوارف ظلال الدوحة العلوية العطرة، وجعلكم منارا عاليا وسراج هاديا لمسيرة مغرب الحداثة والتقدم، وحقق على يديكم الكريمتين مزيدا من المجد والنماء والرفعة والهناء، وأقر عينكم بولي عهدكم المحبوب صاحب السمو الملكي الأمير الجليل مولاي الحسن، وبشقيقته الجليلة صاحبة السمو الملكي الأميرة للأ 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 السدة العالية بالله ورحمة الله تعالى وبركاته.

خديم الأعتاب الشريفة
عمر الفاسي الفهري

حرر بالرباط، يوم الخميس 25 جمادى الأولى 1438 الموافق لـ 23 فبراير 2017

بسم الله الرحمن الرحيم، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين

نعم سيدي أعزك الله

حضرة صاحب الجلالة،

حفظكم الله يا مولاي، وسدد خطاكم، وخلد في الصالحات ذكركم، ورفع بالعز والنصر المكين رايتكم، والسلام على مقامكم العالي بالله ورحمته وبركاته.

مولاي صاحب الجلالة

بعد تقديم ما يليق بمقام صاحب الجلالة والمهابة الملك محمد السادس نصره الله وأيده، من أسمى فروض الطاعة والولاء، ومكين التعلق والوفاء، يتشرف محب وخادم الأعتاب الشريفة، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، أصالة عن نفسه، ونياية عن أعضاء الأكاديمية وجميع العاملين بها، أن يتقدم إلى سيدنا المنصور بالله، بأصدق عبارات التقاني والإخلاص، وبأسمى مشاعر التقدير والاحترام، بمناسبة اختتام أشغال الدورة العامة الرسمية لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لسنة 2017، المنعقدة بقاعة المحاضرات الكبرى لأكاديمية المملكة بالرباط، أيام الثلاثاء 24 والأربعاء 25 والخميس 26 جمادى الأولى 1438 هجرية، الموافق لـ 21 و22 و23 فبراير 2017 ميلادية، معبرا للسدة العالية بالله عن ما يغمر المشاركين في أشغال هذه الدورة من موفور السعادة وعظيم الاعتزاز، وعن بالغ إشادتهم وتنويههم بما حققته بلادنا على يديكم الكريمتين من إصلاحات عميقة وإنجازات هامة على درب التنمية الشاملة، وبما قطعتة من أشواط متقدمة على مستوى توطيد روابط الأخوة والصداقة مع مجموعة كبيرة من الدول الإفريقية الشقيقة، وعلى مستوى تعزيز مكانة بلادنا على الصعيد الإفريقي من خلال استعادة مملكتنا العزيزة مكانتها الطبيعية داخل الاتحاد الإفريقي، داعين 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 والرقى والنماء، حتى يظل منعما بالسلام والاستقرار والرخاء وتتواصل مسيرة نهضته المباركة في ظل عهدكم الزاهر.

مولاي صاحب الجلالة

تمحور الموضوع العلمي العام لهذه الدورة الرسمية حول «المحيط والمناخ: المغرب نموذجا». وتأتي هذه الدورة عقب مؤتمر الأطراف في الاتفاقية الإطار للأمم المتحدة حول التغيرات المناخية COP22 المنظم تحت رئاستكم الفعلية في مدينة مراكش. وفي هذا الصدد، استمتع المشاركون في بداية أشغال هذه الدورة إلى محاضرة افتتاحية ألقاها الأستاذ كارلوس م. دوراتي من جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنيات بالمملكة العربية السعودية حول موضوع: «دور المحيطات والبحار في تنظيم المناخ واستجابة النظم البيئية البحرية مع تغير المناخ». كما تم خلال هذه الدورة العامة تقديم عدة عروض علمية من قبل عدد من أعضاء الأكاديمية وعلماء باحثين وشخصيات علمية وخبراء في مجال علم المناخ والمحيطات من المغرب ومن خارجه، تتعلق بنمذجة تفاعلات المحيطات والمناخ، ومستويات البحر والظواهر

**نص البرقية المرفوعة
إلى السدة العالفة بالله
صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله**

على إثر اختتام أشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2017

وفي هذا السياق ستحتضن هذه السنة الجلسة العامة الرسمية خبراء مغاربة وأجانب في علم المناخ والمحيطات وستتطرق لمناقشة سبل معالجة آثار تغير المناخ وانعكاساته على المحيطات وكذا تأثيراته الاقتصادية، فضلا عن مناقشة الوسائل وهياكل البحث لمواجهة هذه الظواهر مع التركيز بصفة خاصة على وضعية المغرب بالنسبة لهذه الحالات.

في هذا الصدد نذكر بخطاب صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله، في الجلسة الرئيسية رفيعة المستوى للدورة 22 لمؤتمر الأطراف الاتفاقية الإطار للأمم المتحدة بشأن تغير المناخ الذي انعقد بمراكش من 7 إلى 18 نونبر 2017

”فباسم المصير المشترك، وباسم مسؤوليتنا التاريخية، أدعو كافة الأطراف، للعمل على ترجمة تشبثنا بقيم العدل والتضامن من خلال :

- تمكين بلدان الجنوب، وخاصة الدول الأقل نموا، والدول الجزرية، من دعم مالي وتقني عاجل، يقوي قدراتها، ويمكنها من التكيف مع التغيرات المناخية....
- وكذلك من خلال انخراط كافة الأطراف في تسهيل نقل التكنولوجيا، والعمل على تطوير البحث والابتكار في مجال المناخ“

بالإضافة إلى المحاضرات والمناقشات التي تليها سيتم تنظيم ورشة متعددة التخصصات مع خبراء مغاربة في مجالات علمية مختلفة، يتفاعلون أثناءها مع المشاركين حتى نتعرف على فرص البحث في مجال المناخ والمحيط والفوائد الاقتصادية والاجتماعية المحتملة على المدى القصير والمتوسط.

مقدمة

غداة تنظيم الدورة 22 لمؤتمر الأطراف الاتفاقية الإطار للأمم المتحدة بشأن تغير المناخ من طرف المغرب في مدينة مراكش، تنظم أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات دورتها العامة الرسمية السنوية من 21 إلى 23 فبراير 2017، حول موضوع علمي عام له صلة مع المؤتمر السالف الذكر وهو: «المحيط والمناخ، المغرب نموذجاً».

يشكل آثار تغير المناخ وانعكاساته على المحيطات عملية معقدة. وكذلك الشأن بالنسبة لتأثيرات المحيط على المناخ، والتفاعل بين المحيط والمناخ الذي هو أيضا عملية متشابكة ومترابطة من خلال الآثار الطويلة المدى الناجمة عن هذا التفاعل.

يخضع المناخ بشكل قوي لتأثير المحيط والعكس أيضا صحيح. فالمحيطات لها قدرة عالية على تخزين الحرارة والغازات المتسببة في الاحتباس الحراري، إذ لها اثر منظم أكثر فعالية خلافا للغلاف الجوي أو القارات، لكن هذا التأثير وكذا العمليات التنظيمية تحدث في فترة زمنية طويلة المدى.

فالمحيط، كمنظم للمناخ وخزان للغازات المتسببة في الاحتباس الحراري يخضع لتغيير كيميائي ينتج عنه تحمض المحيط وارتفاع حرارته، هذه التغييرات تهدد بشدة التنوع البيولوجي.

خلال القرنين ونصف الماضيين، ارتفعت حموضة المحيطات ب 30%. وإن استمرار هذه الظاهرة في تصاعد يهدد بشكل مباشر التنوع البيولوجي.

من بين الانعكاسات الخطيرة الناتجة عن هاته التغيرات، هناك الظواهر المناخية القوية والشديدة كالجفاف المفرط والفيضانات والعواصف والانخفاض الحاد في الموارد، إلخ. وقد تكون في المستقبل هذه الظواهر شديدة التأثير على الفئات الهشة من الساكنة.

إن كون المغرب له أكثر من 3500 كلم من السواحل فهو معني بالدرجة الأولى وبشكل مباشر بآثار تغير المناخ وتأثيراته على البحار. فسواحل المحيط الأطلسي والبحر الأبيض المتوسط يعدان إلى حد كبير مصدرا للعيش لفئات واسعة من السكان وكذا ضمان الأمن الغذائي للبلاد.

فالتغيير في الميزات الفيزيائية والكيميائية للمحيطات له عواقب وخيمة على خصائص المحيط وعلى التفاعل بين الغلاف الجوي والنظم الإيكولوجية البحرية وسكانها.



المملكة المغربية
أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

أشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2017

الموضوع

المحيط والمناخ : المغرب نموذجا

الرباط، 21 - 23 فبراير 2017



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 2017

الموضوع

المحيط والمناخ : المغرب نموذجا

الرباط، 21 - 23 فبراير 2017