The Mediterranean Region under Climate Change

La Méditerranée face au changement climatique

A Scientific Update

État des lieux de la recherche

Abridged English/French version

Version abrégée bilingue (anglais/français)

AllEnvi

Alliance nationale de recherche pour l'Environnement

The Mediterranean Region under Climate Change

A Scientific Update

La Méditerranée face au changement climatique

État des lieux de la recherche

The Mediterranean Region under Climate Change

A Scientific Update

La Méditerranée face au changement climatique

État des lieux de la recherche

Preface/Préface

Hakima El Haité

Postface/Postface

Driss El Yazami

Address/Allocution

HSH the Prince Albert II of Monaco

This document is the abridged version of the book
The Mediterranean Region under Climate Change – A Scientific Update.
To get the full version, please contact diffusion@ird.fr or http://www.editions.ird.fr/

Ce document est la version abrégée de l'ouvrage
The Mediterranean Region under Climate Change – A Scientific Update.
Pour en obtenir la version intégrale, contacter diffusion@ird.fr ou http://www.editions.ird.fr/

IRD ÉDITIONS
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Marseille, 2016

Revision and translation
Daphne Goodfellow
Andrew Morris

Graphics
Michelle Saint-Léger
With the collaboration of:
Desk
Gris Souris

Layout
Desk

Cover layout
Michelle Saint-Léger

Page layout
Pierre Lopez

Coordination production
Catherine Plasse

Cover illustrations
© Météo France – RGB composite imagery, *METEOSAT-10*, 07/04/2016 at 12 UTC.
© IRD/B. Moizo – The town of Chefchaouen, Morocco.
© Ifremer/D. Lacroix – The port of Bizerte, Tunisia.
© IRD/J.-P. Montoroi – Olive trees, Seblet Ben Ammar, Tunisia.

La loi du 1er juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1er de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2016

ISBN 978-2-7099-2254-8

This book, coordinated by AllEnvi, is published on the occasion of the 22nd Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP22, Marrakech, 2016)

Scientific Direction

Stéphanie Thiébault
Jean-Paul Moatti

Scientific Committee

Isabella Annesi-Maesano
Yildiz Aumeeruddy-Thomas
Robert Barouki
Gilles Boulet
Jean-Luc Chotte
François Clin
Wolgang Cramer
Michel Crépon
Véronique Ducrocq
François Dulac
Benoît Fauconneau
Eric Gaume
Jean-François Guégan
Joël Guiot
Eric Hamonou
Denis Lacroix
Pascal Marty
Yunne-Jai Shinne
Jean-François Soussana
Emmanuel Torquebiau
Jean-Denis Vigne

Editorial Committee

Marie-Lise Sabrié
Elisabeth Gibert-Brunet
Thomas Mourier

AllEnvi

AllEnvi, *the French National Alliance for Environmental Research*, is tasked with making the great environmental transitions work, coordinating French research into major societal issues such as food, water, climate and territories. AllEnvi i) sets policy guidelines and research priorities for advance planning before approaching funding agencies, ii) supports the emergence and structuring of research organizations, iii) coordinates innovation and technology transfer policies between public research operators, businesses and industries, and iv) contributes to the European research environment and international programme development.

Alliance nationale de recherche pour l'environnement, AllEnvi coordonne la recherche française sur les enjeux des grands défis sociétaux que sont l'alimentation, l'eau, le climat et les territoires pour réussir les grandes transitions environnementales. AllEnvi i) définit les orientations et priorités de recherche pour la programmation à l'amont des agences de financement, ii) soutient l'émergence et la structuration d'infrastructures de recherche, iii) coordonne les politiques d'innovation et valorisation entre opérateurs publics de la recherche, entreprises et industries, et iv) participe à l'Europe de la recherche et favorise l'émergence de programmes internationaux.

Executive Secretary/Secrétariat exécutif :
Benoit Fauconneau
Christine Douchez
Elisabeth Gibert-Brunet

Contents

Preface/*Préface* 11
Hakima El Haité

Introduction/*Introduction*
Climate change in the Mediterranean 17
Le changement climatique en Méditerranée 23
Stéphanie Thiébault, Jean-Paul Moatti

Part 1
Mechanisms, observed trends, projections 29

Chapter 1
People and climate change in the past 31
Stéphanie Thiébault, coord.

Chapter 2
Climate change in the Mediterranean region 35
Véronique Ducrocq, coord.

Chapter 3
Hydro-meteorological extremes 37
Véronique Ducrocq, Eric Gaume, coord.

Chapter 4
Air quality and climate in the Mediterranean region 39
François Dulac, Eric Hamonou, coord.

Part 2
Vulnerability and impacts 45

Chapter 1
Climate change impacts on marine ecosystems and resources . . . 47
Yunne-Jai Shin, coord.

Chapter 2
Impacts on the coastal zone 51
Joël Guiot, coord.

Chapter 3
Impacts on water and soils 53
Gilles Boulet, coord.

Chapter 4
Impacts on terrestrial biodiversity and ecosystems 57
Wolfgang Cramer, coord.

Chapter 5
Health consequences in the Mediterranean region 61
Jean-François Guégan, Robert Barouki, Isabella Annesi-Maesano, coord.

Part 3
Adaptation, resilience, conservation of resources and prevention of risk 65

Chapter 1
Societies and climate change in the Mediterranean 67
Pascal Marty, coord.

Chapter 2
Agricultural management, livestock and food security 71
Emmanuel Torquebiau, Jean-François Soussana, coord.

Chapter 3
Local knowledge, scientific knowledge and food security in the Mediterranean region 77
Stéphanie Thiébault, Yildiz Aumeeruddy-Thomas, coord.

Chapter 4
Risk prevention 81
Eric Gaume, coord.

Chapter 5
Land degradation and climate change 85
Jean-Luc Chotte, coord.

Chapter 6
Adapting to global change in the Mediterranean Sea 91
Denis Lacroix, coord.

Conclusion/*Conclusion*
The Mediterranean Basin, climate change and our common future. Engaging future research efforts to support policy 93
Le bassin méditerranéen, le changement climatique et notre avenir commun. Lancer de nouvelles initiatives de recherche pour guider les décisions politiques futures 97
Joël Guiot, Wolfgang Cramer

Postface/*Postface*
From Paris to Marrakesh. Rediscovering universalism 103
De Paris à Marrakech. Retrouver l'universalisme 105
Driss El Yazami

Address by HSH the Prince Albert II of Monaco 107
Allocution de SAS le Prince Albert II de Monaco 113

List of acronyms 119

List of chapter coordinators and contributors 123

Contents of the full version 126

Preface

Hakima El Haité
Minister Delegate in charge of the Environment
to the Ministry of Energy, Mines, Water and Environment of Morocco
Morocco's High-Level Climate Champion

The wave of multi-faceted crises we have experienced in recent years – both in the North and in the South – offer a salutary reminder of the risks of underestimating the climate crisis. Protecting the environment is not a luxury. The message from the scientific community is loud and clear: if humanity does not change its development model, fast, life itself will be under threat. In both the North and the South – and in particular in the Mediterranean region.

Every page of this book, written by some of the top specialists in the field on either side of the Mediterranean, reminds us of this. Beyond the blue sea and the beauty of the beaches, the Mediterranean is suffering. In fact, few regions in the world are as affected by climate change.

Which explains the purpose of bringing together, for the first time, the most recent findings on climate change in the Mediterranean regions. This book and toolkit will offer all those variously involved in decision-making on environmental policy in the Mediterranean and beyond a better understanding of our shared ecosystem. This innovative and cross-cutting approach to the fragility and the challenges facing Mediterranean peoples requires the development of a global integrated strategy.

What is true on a regional scale is also true on a planetary scale.

The Paris Accords signed on 12 December 2015 signalled a robust response to these demands from the international community, and heralded developments that were unprecedented in the struggle against climate change: for the first time, 195 countries from both the North and the South came together to proclaim the need to engage the whole of humanity in a global energy transformation. That proclamation must now be turned into action. Nothing less than a paradigm shift is called for. From all of us.

In welcoming the 22nd Conference of the Parties to Marrakesh from 7-18 November 2016, and in labelling this the 'COP of action', the Kingdom of Morocco is committed to implementing the Paris Accords.

The size of the task facing the COP 22 is, as we all know, immense. It means adopting the procedures and mechanisms to turn the Accords into a reality, drafting a plan of action for the pre-2020 period in terms of mitigation, adaptation, funding, capacity building, technology transfer and transparency, particularly in favour of the most vulnerable countries, such as the small developing island nations and the least developed countries.

To this end, our country will channel all its experience and expertise in the field. Since 2009, His Majesty King Mohammed VI has taken our country forward along the path towards sustainable economic development and global energy transformation – thus demonstrating remarkable leadership on the African continent and beyond. The whole of Africa, rich in youth and resources, has enormous potential. We must give it the support it needs to become an example of sustainable development for us all.

Our country intends to show the whole world that, even in a region as vulnerable to global warming as the Mediterranean, adapting to the environment is possible, particularly through the introduction of a sizeable renewable energy programme. Our considerable experience in the matter has already inspired a number of convictions about our shared mission: the energies mobilised by countries in the fight against climate change involve all of us, and in particular non-governmental actors, from civil society to the private sector, and from regional authorities to the media.

It is only through the firm commitment of every stakeholder to reducing greenhouse gas emissions to 2°C and ultimately to 1.5°C that we will turn back the tide of history. The task that lies before the actors at the COP 22 in Marrakesh is to prove the efficacy of measures taken in the North and the South to adapt to and mitigate the effects of climate change.

But there can be no effective solutions and innovations without research upstream. And there can be no research without reliable data. With its overview of current research in the Mediterranean, this book provides decision-makers with indispensable tools, which can be used to implement political action and outline those areas in which research must continue as a matter of priority. For there to be a solution a clear diagnosis and objectives are crucial.

It is through the joint efforts of all in Marrakesh – researchers and engineers, industrialists and farmers, elected representatives and CEOs – that we will breathe life into the paradigm shift of the Paris Accords, in order to witness the birth – in both the North and the South – of a new model of sustainable development able to ensure the economic and social wellbeing of all.

Préface

Hakima El Haité
Ministre déléguée auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau
et de l'Environnement, chargée de l'Environnement.
Championne de haut niveau du Maroc pour le climat

Les crises successives et multidimensionnelles que nous vivons depuis plusieurs années, au Nord comme au Sud, nous rappellent les risques qu'il y aurait à sous-évaluer la crise climatique. Protéger l'environnement n'est pas un luxe. A cet égard, le message de la communauté scientifique est sans appel : la vie des générations futures sera définitivement menacée si l'humanité ne change pas rapidement son modèle de développement. Au Nord comme au Sud. Et en particulier dans la région méditerranéenne.

Car cet ouvrage, élaboré par certains des meilleurs spécialistes de ces questions sur les deux rives de la Méditerranée, nous le rappelle à chaque page : derrière le bleu de la mer et la beauté des plages, la Méditerranée souffre. C'est même l'une des régions du monde les plus impactées par le changement climatique.

D'où l'utilité de rassembler pour la première fois l'état des connaissances les plus récentes sur le changement climatique dans les régions méditerranéennes. Ce livre – outil de travail – permettra à celles et ceux qui exercent, à des degrés divers, des responsabilités en matière de politiques environnementales dans l'espace méditerranéen et au-delà de mieux appréhender l'écosystème commun dans lequel ils évoluent. Cette approche innovante transversale de la fragilité et des défis auxquels font face les populations méditerranéennes implique en retour de les gérer à partir d'une stratégie globale et intégrée.

Ce qui est vrai à l'échelle régionale l'est aussi à l'échelle de la planète.

Signé le 12 décembre 2015, l'Accord de Paris a constitué une réponse forte de la communauté internationale à cette exigence. Et une avancée sans précédent dans l'histoire de la lutte contre le changement climatique : pour la première fois, 195 pays, du Nord comme du Sud, ont affirmé d'une même voix la nécessité

d'engager l'humanité dans une transformation énergétique globale. Une promesse qu'il faut désormais transformer en actes. Un changement de paradigme à construire. Collectivement.

En accueillant du 7 au 18 novembre 2016, la 22e Conférence des Parties à Marrakech et en annonçant au monde que la COP 22 serait la « COP de l'action », le royaume du Maroc s'est engagé au service de la mise en œuvre de l'Accord de Paris.

Le chantier de la COP 22, nous le savons, est immense, puisqu'il s'agit d'adopter les procédures et mécanismes d'opérationnalisation de l'Accord, de définir un plan d'action pour la période pré-2020 en termes d'atténuation, d'adaptation, de financement, de renforcement des capacités, de transfert de technologie et de transparence, en particulier en faveur des pays les plus vulnérables, notamment les petits États insulaires en développement et les pays les moins avancés.

Pour y parvenir, notre pays mobilisera son expérience et son savoir-faire acquis en la matière. Depuis 2009, en effet, sa Majesté le Roi Mohammed VI a engagé notre pays dans la voie d'un développement économique durable et d'une transformation énergétique globale qui lui vaut une reconnaissance de son leadership en la matière sur le continent africain et au-delà. L'Afrique tout entière, riche par sa jeunesse et ses ressources, concentre justement d'immenses potentialités. Il faut lui donner les moyens d'être un exemple pour tous en matière de développement durable.

Notre pays entend montrer au monde entier que, même dans une région aussi vulnérable au réchauffement climatique qu'est la Méditerranée, il est possible de s'adapter à son environnement, notamment par la mise en place d'un important programme de développement des énergies renouvelables. Cette expérience considérable nous a déjà apporté certaines convictions au regard de notre mission collective : la dynamique enclenchée par les contributions nationales des pays à la lutte contre le réchauffement climatique passe au sein de chaque pays par la mobilisation de tous les acteurs en particulier les acteurs non étatiques : société civile, secteur privé, collectivités publiques, médias...

C'est par l'engagement ferme de chacun à s'inscrire dans une trajectoire de diminution des émissions de gaz à effet de serre à 2 °C tendant vers les 1,5 °C que nous réussirons à inverser le cours de l'Histoire. C'est aussi avec tous ces acteurs que la COP 22 de Marrakech pourra montrer la réalité des actions entreprises au Nord comme au Sud, en matière d'adaptation et d'atténuation face au changement climatique.

Mais il ne peut y avoir de solutions et d'innovations pertinentes sans recherche fiable en amont. Et il ne peut y avoir de recherche fiable sans données fiables. En donnant le paysage global de l'état de la recherche sur la Méditerranée, ce livre donne aux décideurs de la région les éléments indispensables à la mise en œuvre de l'action politique et la possibilité de définir les domaines où les recherches doivent être poursuivies de façon prioritaire. Il ne peut y avoir de solution sans diagnostic sûr et objectif.

C'est par la convergence des efforts de tous, chercheurs et ingénieurs, industriels et paysans, élus et chefs d'entreprise que nous donnerons vie à Marrakech au changement de paradigme de l'accord de Paris, afin que naisse, au Nord comme au Sud, un nouveau modèle de développement durable capable d'assurer le bien-être économique et social de tous.

Introduction

Climate change in the Mediterranean

Stéphanie THIÉBAULT
Director of the Institut écologie et environnement (INEE)
at the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS),
Vice-President of 'Coordination of scientific programming and forecasting'
at the French National Alliance for Environmental Research (ALLENVI)

Jean-Paul MOATTI
Chairman and Executive Director of French National Research Institute
for Sustainable Development (IRD), Vice-President of 'European
and international cooperation' at ALLENVI

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), whose work played a major role in the 'historic' agreement reached at the 21st Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP 21) in Paris in December 2015, has shown that the Mediterranean Basin is one of the most vulnerable areas of the planet to climate change. COP 22 will take place in Marrakesh from 7 to 18 November but ahead of this event, Morocco hosted MedCOP Climate, the Mediterranean climate forum for all governmental and non-State bodies on 18 and 19 July in Tangier in order to build on the work begun during MedCOP 21 in Marseille the previous year. In his introductory speech at MedCOP 22, His Majesty Mohammed VI, King of Morocco, stressed the Mediterranean's duty to set an example by creating new consumption and production patterns and developing innovative approaches to combating climate change.

In response to a request from the Moroccan authorities, particularly Environment Minister Mrs Hakima El Haité, the 28 ALLENVI members have published a remarkable summary work for COP 22. This work aims to provide an overview of high-level scientific research on climate change, the consequences of this climate imbalance and mitigation and adaptation solutions specific to the

Mediterranean. It demonstrates the remarkable work carried out by scientists, researchers and academics on both shores of the Mediterranean to understand the mechanisms of climate change both today and in the long term, and the impact of climate imbalance on the environment, the economy, health and society. It also suggests and recommends responses based on 'scientific evidence', including adaptation, resilience, conservation of resources and risk prevention. This book is the work of a broad scientific community which has been working together for a number of years to capture the complexity of the Mediterranean situation and create the conditions for better mutual knowledge of the interlinking scientific issues that will be defined step-by-step with a view to breaking down the barriers between disciplines.

This work does not claim to be exhaustive, despite the diversity and quality of the contributions it contains. Certain key themes, such as the role of reducing greenhouse gas emissions and energy innovations in mitigation processes, are mentioned only briefly. Furthermore, certain chapters highlight the limitations of the results that have been obtained (for example the limited observations and climate simulations in the study on extreme hydrological events and the lack of long-term data on the impact of climate change on human health), revealing subjects for up-and-coming or future research.

Readers will be able to form their own idea of the significance of the various contributions, but we believe that the scientific community is issuing a clear three-part message to public decision-makers, European and international institutions, economic and civil society organisations and, more broadly speaking, public opinion and all citizens.

The first message is that science has established beyond all doubt that climate change is a fact and that Mediterranean societies and ecosystems are some of the most susceptible to these developments.

The Mediterranean is a 'miniature' laboratory due to its geological past, its semi-arid environment with a climate intrinsically different from that of temperate zones as a result of its significant inter-seasonal variations and its role in the turbulent history of human societies. Although it represents only 1.5% of the earth's surface, the Mediterranean is a 'test area' that is home to, and indeed tends to exacerbate, almost all the potentially catastrophic issues facing the entire planet; these include natural risks, global warming, changes in the water cycle, changes to soil and vegetation functions, modifications to biological diversity and biodiversity damage, the unequal distribution of resources and the scaling back of political, economic and social relations between north and south, leading to conflict, large-scale migration, land occupation and rapid urbanisation and coastal development. In addition, it is important to remember the central or peripheral effect the Mediterranean area has on its neighbours, for example the role of Mediterranean climate extremes on the various components of the Earth system and the role of hydrological exchanges with the Black Sea and the Atlantic, as water from the Mediterranean flows through the Strait of Gibraltar and affects the European climate.

The Mediterranean is now a major area of investigation for researchers in every scientific field. The modalities and importance of human activity and its ability to reveal completely new perspectives are some of the key themes currently being studied by the scientific community. New approaches to research, which are reviewed in this work, are essential if we are to understand the way in which they operate and develop, whether in terms of systematic approaches to modelling, integration or investigations.

In the current context where, in the absence of radical countermeasures, a global temperature increase of 1.4 to 5.8°C is expected (3 to 7°C for the Mediterranean region by the end of the 21st century), it was the deep waters of the Mediterranean that first registered the greenhouse gas effect and where changes to thermohaline circulation were observed. Scenarios predict that these changes will continue and that there will be a significant reduction in the convection phenomena that lead to the oxygenation of the Basin; this will inevitably affect biogeochemical cycles as well as the ecosystem and its resources. In this region in particular, global changes seem to affect the frequency of extreme events such as cyclogeneses, hydrometeorological or wind phenomena, droughts and soil degradation.

Research must lead to advances in knowledge, so that we can i) improve our understanding of climate change and its features and mechanisms. This will involve studying past climate cycles and the ways in which societies have responded to them, the latest results reported in this book relating to the water cycle, the origin and frequency of extreme events, groundwater (continental, coastal and deepwater) dynamics and seasonal and long-term variability; ii) quantify flows between compartments and their impact on the system, so we can study air quality and active pollutants and understand their impact on human health; iii) characterise the dispersal and intensity of the main practices affecting marine and continental ecosystems. This involves assessing impacts and vulnerabilities in relation to marine resources and ecosystems, with particular focus on the coastal area. The effects on continental ecosystems are more specifically related to terrestrial biodiversity, particularly forests; iv) study the assessment of the Basin, including the direct impact of global warming on health; v) finally, evaluate and manage risks through adaptation, resilience, conservation of resources and prevention.

Although observations and models based on physical, chemical and biological approaches allow researchers to understand and quantify the processes mentioned above, one of the key areas for reflection must focus on the way in which these processes are affected by human activity and the resultant consequences for the evolution of the changing ecosystems. By changing the climate and river systems, changing the chemistry of the atmosphere, lands and water and tapping into natural resources, we are in fact changing the functioning and value of the ecosystem itself.

Only with a systematic approach can we document the current ‘crisis’ caused by human activity and particularly noticeable in the Mediterranean, and answer

questions on the risks related to usages, practices and social views. These risks are linked to i) the geodynamic (seismic, volcanic and gravitational) context; ii) climate (droughts, fires, coastal erosion, changes to marine dynamics and biogeochemical cycles); iii) industrialisation, urbanisation and transport (pollution of air, water, soil and living resources); iv) usages and practices relating to the quantity and quality of mineral and living resources, biodiversity (land, aquatic and marine), its functions and its services.

This approach to the functioning and functions of the coupled system requires infrastructures and methods for observing and analysing environments and peoples and local strategies adapted to the long term and the short term as well as to the significant seasonal variations found in the Mediterranean. Models and scenarios exist, but need to be improved and regionalised, and other integrated digital tools must be developed. This book is a contribution, albeit a modest one, to the work bravely launched by our Moroccan colleagues so that COP 22 could be an opportunity to support research and the strengthening of the technological and scientific capacities at the heart of climate negotiations. The scientific community is hoping that one of the consequences of this work could be the creation of an inter-country, inter-ministerial and inter-regional authority operational working group to begin the important, in terms of both knowledge and action, work of creating a coordinated observation and surveillance system for Mediterranean anthropo-ecosystems.

The contributions included in this book directly and candidly stress the many remaining uncertainties regarding the real dynamics of the impact of climate change, both in general and across the different spatial scales of the Mediterranean basin.

The **second message** of this work, however, is that these uncertainties must not be used as an excuse for inaction. On the contrary, they must encourage us to better understand the complex causal chains that link climate and the other environmental and anthropic parameters, and to take immediate action to minimise those effects of global change that are threatening the environment and human health and well-being. Some of the contributions show that research provides direct scientific bases for improved management of environments, resources and heritage, for the preservation and strengthening of biodiversity and ecosystem services and for spreading concepts and relevant knowledge throughout society so they reach both decision-makers and the parties involved. In so doing, science is not content to merely report on the risks; it also proposes innovative solutions that could allow us to overcome the barriers currently restricting climate change mitigation and make them easier to adapt, by considering the specific environmental and societal context of a region such as the Mediterranean.

The **third message** is that science is best placed to link the fight against climate change, sustainable development goals and development funding, in accordance with the desire expressed by Christiana Figueres, the previous Executive Secretary of the United Nations Framework *Convention* on Climate *Change*

(UNFCCC), who stated that '*the solutions to climate change offer a portfolio of no-regret policies and actions that are essential for achieving sustainable development*'.

The redefinition of the international agenda in 2015 imposed on us a duty to do so. Prior to COP 21 in December 2015, the 3rd international conference on financing development took place in Addis Ababa in July, followed by the United Nations Summit in New York in September which saw the adoption of the 17 new Sustainable Development Goals (SDG); these are universal goals that, according to the summary report by Secretary General Ban Ki Moon, will create a road to '*dignity for all by 2030*', by '*ending poverty, transforming all lives and protecting the planet*'. As is the case with all international agreements, both the SDGs and the content of the Paris Agreement on climate change, whose initial operational measures are due to be consolidated at COP 22, represented progress we can be proud of, despite the fact that they were inevitably the result of a compromise between different and even contradictory interests and between governments with a large number of downright divergent geostrategic visions and constraints.

The wording of the SDGs reveals inconsistencies that could, if care is not taken, be exacerbated by their implementation; a short-term vision of the requirements for combating poverty or achieving food safety (SDG1 and 2) may, for example, result in technological and economic choices that in the medium term jeopardise the achievement of SDGs 15, 14 and 13 on the preservation of life on land, life below water and combating the effects of global warming respectively. Likewise, meeting the energy needs of developing countries on the southern shore of the Mediterranean and on the African continent in the short term may come into conflict with the need to reduce the carbon intensity of economies in order to combat global warming. And there are many similar examples. Scientific progress can reasonably be expected to produce solutions for reconciling sustainable development goals, creating innovative multi-party coalitions that will be able to impose these solutions in practice and providing enough of the global public goods that the planet needs and of which climate security is one of the best examples.

It has been shown that mankind is finding it very difficult to obtain these public resources to meet the global challenges that, by their very essence, transcend national borders, because it comes up against what political science researchers call the 'Westphalian paradigm', from the name of the 1648 European treaty that for the first time created an international order based on the strict respecting of State sovereignty. Thousands of years of history and the current situation in the Mediterranean have provided many examples of this paradigm. Let's hope that work to combat global warming, in which Morocco and France consider themselves to play a leading role, will help to make the Mediterranean an example of how to move beyond this paradigm and demonstrate solidarity between stakeholders, governments and populations facing joint threats and helping to promote development for the good of all mankind.

Introduction

Le changement climatique en Méditerranée

Stéphanie THIÉBAULT
directrice de l'Institut écologie et environnement (INEE)
du Centre national de la recherche scientifique (CNRS),
vice-présidente « animation de la programmation et de la prospective scientifiques »
de l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (ALLENVI)

Jean-Paul MOATTI
président-directeur général de l'Institut de recherche
pour le développement (IRD), vice-président « coopération européenne
et internationale » d'ALLENVI.

Le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), dont les travaux ont joué un rôle-clé dans l'accord « historique » obtenu à Paris, en décembre 2015, lors la 21e Conférence des Parties de la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (COP 21), a démontré que le bassin méditerranéen est une des zones de notre planète les plus exposées au changement climatique. En amont de la COP 22, qui se tient du 7 au 18 novembre 2016 à Marrakech, le Maroc a bien voulu accueillir, les 18 et 19 juillet à Tanger, la MEDCOP CLIMAT, le forum méditerranéen pour le climat de tous les acteurs gouvernementaux et non étatiques, qui s'est inscrit dans la continuité de travaux initiés l'année précédente lors de la MEDCOP 21 de Marseille. Dans son message d'introduction à cette MEDCOP 22, Son Altesse Royale Mohamed VI, roi du Maroc, a notamment insisté sur le devoir d'exemplarité de la Méditerranée, dans la construction d'un nouveau mode de consommation et de production et dans l'innovation en matière de lutte contre le changement climatique.

Répondant à une sollicitation des autorités marocaines, notamment de madame Hakima El Haité, ministre chargée de l'Environnement, les 28 organismes

membres de l'Alliance pour l'environnement (ALLENVI) publient, à l'occasion de la COP 22, un ouvrage de synthèse exceptionnel. Ce livre s'efforce en effet de présenter un état des lieux de la recherche scientifique de haut niveau sur l'évolution du climat, les conséquences de son dérèglement et les solutions d'atténuation et d'adaptation dans le contexte particulier de la Méditerranée. Il témoigne de la remarquable mobilisation des scientifiques, chercheurs et universitaires, des deux rives de la Méditerranée, pour comprendre les mécanismes du changement climatique sur l'actuel comme sur la longue durée ; les impacts du dérèglement climatique sur l'environnement, l'économie, la santé, les sociétés ; mais aussi pour suggérer et recommander des réponses, fondées sur l'« évidence scientifique » avec les adaptations, les résiliences, la conservation des ressources ou la prévention des risques. Cet ouvrage rassemble une large communauté scientifique, qui s'est mobilisée depuis plusieurs années afin de rendre compte de toute la complexité de l'objet Méditerranée, de créer les conditions d'une meilleure connaissance réciproque au croisement de questionnements scientifiques à définir étape par étape, dans une perspective de décloisonnement disciplinaire.

Riche par la diversité et la qualité des contributions, cet ouvrage ne prétend pas à l'exhaustivité. Certaines thématiques clés comme, par exemple, la place de la réduction des émissions de gaz à effet de serre ou des innovations énergétiques dans les processus d'atténuation, ne sont qu'effleurées. Par ailleurs, certains chapitres mettent en exergue les limites des résultats acquis (à titre d'exemple, la limitation des observations et des simulations climatiques dans l'étude des événements hydrologiques extrêmes, ou encore le manque de données sur le long terme sur les impacts du changement climatique sur la santé humaine), révélant des pans de recherche en devenir ou encore à construire.

Le lecteur pourra se faire sa propre idée de la portée des différentes contributions contenues dans cet ouvrage, mais il nous semble, qu'à travers ce livre, la communauté scientifique envoie un triple et fort message aux décideurs publics, aux institutions européennes et internationales, aux acteurs économiques et de la société civile, et plus largement aux opinions publiques et à l'ensemble des citoyens.

Le premier message est que la science a établi, sans contestation possible, la réalité du changement climatique et le fait que les écosystèmes et les sociétés méditerranéennes sont parmi les plus menacées de la planète par cette évolution annoncée du climat.

De par son passé géologique, de par son environnement semi-aride dont le climat se distingue intrinsèquement des zones tempérées par ses fortes variations inter-saisonnières, comme de par son rôle dans l'histoire tourmentée des sociétés humaines, la Méditerranée constitue un laboratoire « en miniature ». Quoiqu'elle ne représente que 1,5 % de la surface terrestre, la Méditerranée constitue une « zone test » qui concentre la quasi-totalité des enjeux potentiellement catastrophiques pour la planète entière et qui tend à les exacerber : risques naturels, réchauffement climatique, modification du cycle de l'eau, changements

des fonctions des sols et des couvertures végétales, modifications de la diversité biologique et atteintes à la biodiversité, répartition inégale des ressources, contraction des rapports politiques, économiques et sociaux Nord-Sud débouchant sur des conflits, flux migratoires massifs, occupation des territoires, urbanisation et littoralisation rapides. De plus, centrale ou périphérique, on ne saurait oublier l'impact de la zone méditerranéenne sur les régions avoisinantes : rôle des extrêmes climatiques méditerranéens sur les diverses composantes du système Terre, rôle des échanges hydrologiques avec la Mer Noire et avec l'Atlantique, les eaux méditerranéennes transitant par le détroit de Gibraltar influençant le climat européen.

La Méditerranée est, dès lors, un champ d'investigation consolidé pour de nombreux chercheurs dans tous les domaines scientifiques. Les modalités, l'importance de l'anthropisation et sa capacité à faire apparaître des contextes totalement originaux constituent des éléments centraux de la réflexion scientifique. De nouvelles approches de recherche, dont cet ouvrage rend compte de l'état actuel d'avancement, sont nécessaires pour en comprendre les modalités de fonctionnement et d'évolution, qu'il s'agisse des approches de modélisation, d'intégration ou d'investigations systémiques.

Aujourd'hui où une augmentation de la température mondiale de 1,4 à 5,8 °C est, en l'absence de contre-mesures radicales, attendue (3 à 7 °C pour la région méditerranéenne à la fin du XXIe siècle), ce sont les eaux profondes de la Méditerranée qui, en premier, ont enregistré l'effet de serre ; les observations notent des modifications de la circulation thermohaline ; les scenarii prévoient la poursuite de ces changements et une forte atténuation des phénomènes de convection à l'origine de l'oxygénation du bassin, ce qui n'est pas sans conséquence sur les cycles bio-géo-chimiques, l'écosystème et ses ressources. Particulièrement dans cette région, les changements planétaires semblent affecter la fréquence d'occurrence des événements extrêmes : cyclogenèses, phénomènes hydrométéorologiques ou éoliens, sécheresses et dégradation des sols.

L'avancée des connaissances, alimentée par la recherche, est indispensable afin : i) de connaître les changements climatiques, leur dynamique et leurs mécanismes. Cela se fait au travers de la connaissance des cycles climatiques passés et les réponses des sociétés humaines, les derniers résultats évoqués dans cet ouvrage concernant le cycle de l'eau, l'origine et la fréquence des événements extrêmes, la dynamique des eaux (continentales, côtières et profondes) et sa variabilité saisonnière et à long terme ; ii) de quantifier les flux d'échanges entre les compartiments et leur impact sur le système, d'évaluer la qualité de l'air et les polluants actifs et de comprendre leur impact sur la santé des populations ; iii) de caractériser la dispersion et l'intensité des principaux usages impactant les écosystèmes marins et continentaux. Il s'agit d'établir le bilan des impacts et des vulnérabilités sur les ressources marines et les écosystèmes marins, une attention particulière devant être apportée à la zone côtière. Les impacts sur les écosystèmes continentaux concernent quant à eux plus particulièrement la biodiversité terrestre, et notamment les forêts. iv) de réaliser le bilan sanitaire

du bassin, avec l'impact direct du réchauffement climatique sur la santé ; v) enfin, l'évaluation et la gestion des risques au travers de l'adaptation, la résilience, la conservation des ressources et la prévention.

Si les observations et modèles fondés sur des approches physiques, chimiques et biologiques permettent d'appréhender et de quantifier les processus évoqués ci-dessus, un des éléments centraux de la réflexion doit porter sur la façon dont ils sont modifiés par l'impact des activités humaines et les conséquences qui en découlent pour l'évolution des écosystèmes. En modifiant le climat et le régime des fleuves, en modifiant la chimie de l'atmosphère, des terres et de l'eau, en tirant profit des ressources naturelles, c'est le fonctionnement même et la valeur de l'écosystème qui sont modifiés.

Seule une approche systémique peut permettre de documenter au mieux la « crise » actuelle qui résulte de l'anthropisation, particulièrement sensible en Méditerranée, et de répondre aux questions sur les risques, considérés en rapport avec les usages, les pratiques et les représentations sociales : i) risques liés au contexte géodynamique (sismiques, volcaniques, gravitaires) ; ii) risques liés au contexte climatique (sécheresses, feux, érosion du littoral, modifications de la dynamique marine et des cycles biogéochimiques) ; iii) risques liés à l'industrialisation, à l'urbanisation et aux transports (pollution de l'air, de l'eau, des sols et des ressources vivantes) ; iv) risques liés aux usages et pratiques sur la quantité et la qualité des ressources minérales et vivantes, sur la biodiversité (terrestre, aquatique et marine), ses fonctions et ses services.

Cette approche du fonctionnement et des fonctions du système couplé exige des infrastructures et des moyens d'observation et d'analyse des milieux et des populations, des stratégies de terrain adaptées au long terme, au court terme et à la saisonnalité particulièrement marquée en Méditerranée. Modèles et scenarii existent mais doivent être améliorés, régionalisés, et d'autres outils numériques fédérateurs doivent être développés. Cet ouvrage constitue d'ailleurs une contribution, certes modeste, à l'action courageusement initiée par ailleurs par nos collègues marocains pour faire de la COP 22 une occasion de mettre le soutien à la recherche et au renforcement des capacités technologique et scientifique au cœur de la négociation climatique. L'une des retombées de ces efforts, que la communauté scientifique appelle de ses vœux, pourrait être de constituer un groupe de travail opérationnel, inter-pays, inter-ministériel et inter-collectivités territoriales, pour s'atteler au chantier décisif, tant pour la connaissance que pour l'action, de construction d'un dispositif coordonné d'observation et de surveillance des anthropo-écosystèmes méditerranéens.

Les contributions incluses dans ce livre ne manquent d'ailleurs pas de souligner, avec rigueur et honnêteté, les fortes incertitudes qui persistent quant à la dynamique réelle de l'impact du changement climatique, en général et aux différentes échelles spatiales du bassin méditerranéen.

Cependant, **le deuxième message** de cet ouvrage est que ces incertitudes ne doivent pas servir de prétexte à l'inaction. Au contraire, elles doivent nous inciter à mieux comprendre les chaînes causales complexes qui relient le climat et les

autres paramètres environnementaux et anthropiques, et à agir sans tarder afin de minimiser celles des conséquences du changement global qui menacent l'environnement, la santé et le bien-être des populations. Plusieurs des contributions démontrent que la recherche fournit directement des bases scientifiques pour une meilleure gestion des milieux, des ressources et des patrimoines, pour préserver et renforcer les services de la biodiversité et des écosystèmes, et pour diffuser les concepts et les connaissances appropriées dans la société, chez les décideurs comme chez les acteurs concernés. Ce faisant, la science ne se contente pas de faire le constat des risques qui nous menacent mais propose des solutions innovantes qui peuvent permettre de dépasser les blocages qui freinent actuellement l'atténuation du changement climatique et qui facilitent l'adaptation en tenant compte des spécificités du contexte environnemental et sociétal d'une région comme la Méditerranée.

Le **troisième message** est justement que la science est l'outil le mieux à même de lier la lutte contre le changement climatique, les objectifs du développement durable et le financement du développement, conformément au souhait exprimé par Christiana Figueres, la précédente secrétaire exécutive de la *Convention* cadre des Nations unies sur le changement *climatique* (CNUCCC), que « les solutions au changement climatique procurent un éventail de politiques et de mesures sécurisées qui sont essentielles pour atteindre un développement durable ».

La redéfinition de l'agenda international qui est intervenue au cours de l'année 2015 nous en fait d'ailleurs une obligation puisqu'avant la COP 21 de décembre 2015, s'étaient successivement tenues, en juillet à Addis-Abeba, la 3e Conférence internationale sur le financement du développement et, en septembre à New-York, le sommet des Nations unies qui a vu l'adoption des 17 nouveaux Objectifs du développement durable (ODD), objectifs universels censés, selon le rapport de synthèse du secrétaire général Ban Ki Moon tracer la route vers « la dignité pour tous d'ici à 2030 » en « éliminant la pauvreté, en transformant nos vies et en protégeant la planète ». Comme tout consensus international, tant les ODD que le contenu de l'accord de Paris sur la lutte contre le réchauffement climatique, dont la COP 22 s'efforcera de concrétiser les premières traductions opérationnelles, ont représenté des avancées dont on peut se féliciter mais ont inévitablement été le fruit d'un compromis entre intérêts différents, voire contradictoires, et entre des gouvernements dont les contraintes et visions géostratégiques sont multiples, voire franchement divergentes.

Les ODD dans leur lettre même ne sont pas exempts d'incohérences que leur mise en œuvre effective peut, si l'on n'y prend pas garde, exacerber : une vision à court terme des nécessités de la lutte contre la pauvreté ou pour la sécurité alimentaire (ODD 1et 2) peut, par exemple, favoriser des choix technologiques et économiques qui hypothèquent à moyen terme la réalisation des ODD 15, 14 et 13 qui concernent respectivement la préservation de l'environnement terrestre, des océans et contre les effets du réchauffement climatique. De même, la satisfaction à court terme des besoins énergétiques des pays en développement

de la rive sud de la Méditerranée comme du continent africain peut se heurter à la nécessaire décarbonation des économies qu'impose la lutte contre le réchauffement planétaire. Et, on pourrait multiplier les exemples analogues. Ce sont des avancées de la science que l'on peut raisonnablement attendre des solutions qui permettent de concilier les objectifs de développement durable, de construire les coalitions innovantes d'acteurs qui permettront de les imposer en pratique, et de fournir en quantité suffisante les biens publics globaux dont la planète a besoin et dont la sécurité climatique est l'une des illustrations les plus caractéristiques.

Il est avéré que l'humanité éprouve de graves difficultés à se doter de tels biens publics pour faire face à des enjeux globaux qui, par essence, dépassent les frontières nationales car elle se heurte à ce que les chercheurs en science politique qualifient de « paradoxe westphalien », du nom du traité européen de 1648 qui instaura, pour la première fois, un ordre international fondé sur le strict respect de la souveraineté des Etats. L'histoire millénaire, comme l'actualité récente, de la Méditerranée ont maintes fois illustré ce paradoxe. Espérons que la mobilisation contre le réchauffement climatique, dont le Maroc et la France se veulent l'un des fers de lance, contribuera à faire de la Méditerranée l'exemple de son dépassement et de la solidarité entre les acteurs, les gouvernements et les populations face aux périls communs et pour un développement au service de l'Homme.

Part I

Mechanisms, observed trends, projections

< © Météo-France/S. Belamari – HyMeX Campaign
in the Mediterranean, 2012.

Chapter 1

People and climate change in the past

Chapter coordinator

Stéphanie THIÉBAULT
CNRS, INEE, France

Abstract

The current climate change has encouraged interdisciplinary collaboration to better understand the role that climate may have played in the development of past Mediterranean societies. Over the past twenty years, palaeoenvironmental research in the Mediterranean has progressed significantly, mainly based on marine, lake, marsh, peat bog and fluvial archives. These records demonstrate the long anthropogenic impact on the Mediterranean ecosystems but also provide evidence of significant climatic instability with notable periods of rapid climate change (RCC) at the global scale during the Holocene (9.2, 8.2, 6-5, 4.2, 3.2 ka cal. BP (*c.* 7.2, 6.2, 4-3, 2.2, 1.2 ka BC). The study of the climate in the last millennium is of particular interest because this period encompasses the most recent pre-industrial warm interval known as the Medieval Climate Anomaly followed by the coldest centuries of the Little Ice Age, which was interrupted around 1850 by the industrial era. In parallel with major progress in generating proxy signals, model simulations of the climate in last millennium using state-of-the-art coupled ocean-atmosphere models in the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) allow cross-analyses of proxy and model data to explore the physical mechanisms at play and the role of external factors like solar activity, volcanism, land use and greenhouse gases in climate variability.

Résumé

Le changement climatique observé actuellement stimule l'interdisciplinarité et les collaborations entre scientifiques, l'objectif étant de comprendre, le plus finement possible, le rôle que le climat a joué au cours du passé, dans le développement des sociétés méditerranéennes. Depuis plus de trente ans, les recherches sur les paléo-environnements en régions méditerranéennes ont fortement progressé ; elles se fondent, la plupart du temps, sur les archives du sol, des sédiments marins, des lacs, marais et tourbières et des archives fluviales. Les résultats montrent l'impact des sociétés humaines sur les écosystèmes méditerranéens sur le long terme. Ils apportent aussi la preuve d'instabilités climatiques avec des périodes de changement rapide (RCC) observées à une échelle globale au cours de l'Holocène (9.2, 8.2, 6-5, 4.2, 3.2 ka cal. BP (*c.* 7.2, 6.2, 4-3, 2.2, 1.2 ka BC). L'étude du climat du dernier millénaire est particulièrement intéressante car elle englobe la période de réchauffement pré-industrielle la plus récente, connue sous le nom d'anomalie climatique médiévale, suivie par le petit âge glaciaire qui s'interrompt vers 1850 avec l'ère industrielle.

En parallèle, les progrès des techniques de recherche, la production d'analyses multiproxy et de modèles de simulations permettent, en couplant les modèles océan-athmosphère avec les modèles du projet d'intercomparaison (projet CMIP), des analyses croisées. Ils autorisent la production de modèles, qui explorent le rôle des mécanismes physiques et des facteurs externes comme l'activité solaire, le volcanisme, l'utilisation des terres et les gaz à effet de serre dans la variabilité du climat.

Introduction

The Mediterranean is one of the regions with the longest and most intense human occupation in the world. Here, human societies have been constantly confronted with a fragile and contrasted environment subject to recurring crises. Interactions between human societies and their environment successively shaped the territory, resulting in recognisable characteristics, but also making it vulnerable, exposed to natural risks and in a precarious balance. Because it has been subjected to a wide range of climates, and political and socio-economic conditions for millennia, the Mediterranean region is a true model of human-environment co-evolution, and can provide a wealth of information on the vulnerabilities of its "anthropo-systems", but also on its capacities of resilience and its ability to take advantage of environmental requirements.

Ongoing processes and the dynamics of the contemporary ecological systems are the result of mechanisms inherited from events that occurred in the past,

even the recent past. The longstanding intense human occupation combined with variations in climate led to the degradation of biological and ecological resources. The intense exploitation of these resources has resulted in strong pressures on Mediterranean hydrological and biogeochemical cycles, thereby increasing environmental degradation to an even greater extent.

This is the context in which studies of these processes and their interactions are being conducted at different temporal and spatial scales, in the knowledge that the mechanisms concerned are still not sufficiently well understood to enable the production of reliable models and forecasts. Because of the ecological, social and economic stakes involved, predicting the effects of climate change, land use, natural resources and the evolution of the ecosystems mobilises numerous researchers. The overall aim is to improve the construction of long-term scenarios concerning two main issues: 1) the complexity of scales and of transformations in the relation between human societies and their territory to improve our understanding of the role of agro-systems and their management in shaping the evolution of the human societies, 2) improving management decisions thanks to scientific knowledge and based on the cultural traditions of the populations concerned, both of which are fundamental for the survival of the Mediterranean region.

The historical aspects of the relationships between the societies and the environment they built and shaped over time are central to current thinking on the eco-anthropo-systems and biodiversity in the Mediterranean region.

Understanding natural climate variability and the role of human activities in ongoing changes requires long term pre-instrumental records. Such records are presented in this chapter together with some results of research on rapid climate change and social transformations in the Mediterranean region. Uncertainties, adaptability and resilience are used to inform the quite near future, illustrated with a concrete example of climatic and hydrological changes in the Moroccan Middle Atlas evidence by lake sediment archives.

Introduction

La Méditerranée constitue l'une des régions au monde les plus intensément occupées par l'homme et cela dans la longue durée. Les sociétés méditerranéennes ont été constamment confrontées à un milieu fragile et contrasté, sujet à des crises récurrentes. L'interaction avec ce milieu a façonné, par couches successives, un territoire aux caractéristiques bien identifiables mais également vulnérable, exposé à des risques naturels et en équilibre précaire. Néanmoins, le bassin méditerranéen, qui a expérimenté une grande richesse de conditions climatiques, politiques et socio-économiques depuis des millénaires, est un

modèle de co-évolution homme-milieu riche d'informations sur les vulnérabilités de ses anthroposystèmes, mais aussi sur ses capacités de résilience, et enfin ses capacités de tirer parti des contraintes environnementales.

Le jeu des processus actuels et les dynamiques des systèmes écologiques contemporains répondent à des mécanismes étroitement hérités des événements du passé, même récent. Les écosystèmes méditerranéens subissent une occupation humaine ancienne et prononcée, dont la conséquence, conjuguée aux variations du climat, est une dégradation des ressources biologiques et écologiques. L'intensité de leur exploitation aboutit à des pressions fortes sur les cycles hydrologiques et biogéochimiques accentuant plus encore la dégradation des milieux.

C'est dans ce contexte que les études sur les processus et leurs interactions aux diverses échelles de temps et d'espaces sont menées, sachant que ces mécanismes ne sont pas encore suffisamment connus et compris pour que soient entrepris des modèles et des prévisions fiables. En raison des enjeux écologiques, sociaux et économiques, la prospective dans le domaine des effets des changements climatiques et de l'utilisation des terres sur les ressources naturelles et l'évolution des écosystèmes mobilise une grande partie des chercheurs. Il s'agit d'évaluer la recherche pour améliorer le processus de construction de scénarios à long terme, autour de deux questions : la notion de complexité d'échelles et de transformations dans la relation société-territoire pour améliorer la compréhension du rôle des hydro-agrosystèmes et de leur gestion dans l'évolution des sociétés, la remédiation des modes d'élaboration des décisions de gestion, en fonction des connaissances scientifiques et de la culture des populations, questions fondamentales pour la survie en Méditerranée.

Les aspects historiques des relations entre les sociétés et leur environnement, qu'elles ont construit et façonné au cours du temps, constituent une thématique centrale de la réflexion sur les éco-anthroposystèmes et la biodiversité en Méditerranée.

Comprendre les changements climatiques et le rôle des activités humaines sur leur évolution demande des données sur la longue durée, présentées dans ce chapitre, tout comme sont exposés les résultats sur les changements rapides et les transformations des sociétés dans la région méditerranéenne. L'adaptabilité et la résilience sont évoquées pour éclairer le futur proche. Ces changements sont illustrés par des exemples qui portent sur l'évolution climatique et hydrologique dans le moyen Atlas marocain décrite à partir de l'étude d'archives sédimentaires lacustres.

Chapter 2

Climate change in the Mediterranean region

Chapter coordinator

Véronique Ducrocq

Météo-France, France

Abstract

The Mediterranean region has been identified as one of the most sensitive regions in the world to climate change. The high sensitivity of the hydrological cycle to climate change is a consequence of both the location of the region in a transition zone between a temperate climate in the mid-latitudes and the hotter-drier North African climate and its specific physiographic features, i.e. a nearly enclosed sea surrounded by mountains and highly urbanized coastal areas. These climatic, topographical and anthropogenic factors also explain the marked spatial and temporal variability of the atmospheric, oceanic and hydrological conditions in the Mediterranean region.

Analyses of observation-based data show that the Mediterranean region has tended to be warmer and drier during the last half century, associated with an increase in evaporation and a decrease in runoff. Global and regional climate model projections indicate that warming and drying will likely continue, with the amplitude of the changes after 2050 being highly dependent on the emission scenario. The climate models also predict a general increase in temperature extremes for the end of the 21st century. However, the exact spatial distribution of changes in temperature and much more in precipitation remains uncertain.

Both global and regional climate models clearly predict warming of the Mediterranean Sea surface propagating towards the deeper layers. The thermohaline circulation is expected to change under the influence of warming as well as with the uncertain changes in salinity, an issue which is still under debate. In any case, these future changes will influence the exchange of water and heat at the Strait of Gibraltar and consequently heat and salinity in the deep layers of the North Atlantic Ocean, whose source is the Mediterranean Sea. However the models do not agree on the future thermohaline circulation or on exchanges between the Mediterranean Sea and the Atlantic Ocean.

Résumé

La région méditerranéenne est reconnue comme étant une des régions au monde particulièrement sensible au changement climatique. Plusieurs raisons expliquent cette forte sensibilité du cycle de l'eau en Méditerranée au changement climatique. Tout d'abord, le bassin méditerranéen se trouve dans une zone de transition entre le climat tempéré des latitudes moyennes et le climat plus chaud et sec de l'Afrique du Nord. Un autre facteur d'explication provient de ses caractéristiques géographiques, i.e. une mer semi-fermée entourée de montagnes et de régions littorales très urbanisées. Ces facteurs climatiques, géographiques et anthropiques contribuent aussi à la forte variabilité spatiale et temporelle des conditions climatiques, océaniques et hydrologiques rencontrées en Méditerranée.

L'analyse des tendances observées des moyennes annuelles sur le dernier demi-siècle montre des évolutions des composantes du cycle de l'eau en Méditerranée avec, globalement en Méditerranée, une augmentation de la température, une diminution des précipitations et des apports des fleuves à la mer, et une augmentation de l'évaporation. Les projections climatiques des modèles globaux ou régionaux du climat indiquent que ce réchauffement et assèchement va se poursuivre, avec une amplitude de ces changements qui dépend principalement après 2050 du scénario d'émission. Les projections climatiques indiquent aussi une augmentation en fréquence et intensité des vagues de chaleur. Néanmoins, la distribution spatiale détaillée des changements en température, et encore plus des changements en précipitation, demeure encore incertaine.

Les modèles de climat prévoient clairement une augmentation de la température de la mer en surface sous l'effet du changement climatique, qui se propage aux couches profondes océaniques. Il est attendu que la circulation thermohaline de la Méditerranée va évoluer sous l'effet de ce réchauffement de la mer et des changements encore incertains de la salinité. Les échanges de chaleur et d'eau au détroit de Gibraltar devraient aussi être modifiés en conséquence, et donc la source de chaleur et de sel que représente la mer Méditerranée pour l'Atlantique Nord. Il n'y a cependant pas à ce jour de consensus entre les modèles sur les caractéristiques d'évolution de la circulation thermohaline de la Méditerranée et des échanges avec l'Océan Atlantique.

Chapter 3

Hydro-meteorological extremes

Chapter coordinators

Véronique Ducrocq
Météo-France, France

Eric Gaume
IFSTTAR, France

Abstract

The Mediterranean region concentrates all the main natural risks linked with the water cycle, including heavy rainfall leading to flash floods, strong winds and associated large swells and storm surges, heat waves and droughts accompanied by forest fires. The magnitude and frequency of these hydro-meteorological extremes could be significantly affected by the ongoing climate change. The study of extremes is based on the combination of observations, data analysis and numerical modeling to extrapolate the observations and produce possible future trends. However, studying extremes is a complex task for several reasons. Extremes are, by definition, rare events and the existing datasets against which scientific theories and models can be calibrated and tested are only progressively enriched. Extreme events are often characterized by large spatial and temporal variability that is hardly captured by existing observation networks. Moreover, measurements of exceptional values may also be affected by significant uncertainties. This explains our still partial knowledge and the

sometimes contradictory conclusions of scientific studies on past observed and future trends, for instance. Our knowledge of hydro-meteorological extremes has nevertheless advanced substantially in recent years thanks to the development of databases and dedicated research programs. This chapter presents a state of the art review of extremes around the Mediterranean, their seasonal and geographical patterns, and their observed and projected trends. Remaining questions and uncertainties are also discussed.

Résumé

Les régions méditerranéennes sont particulièrement soumises aux risques hydro-météorologiques, comme les pluies intenses et les crues rapides, les tempêtes induisant des submersions marines et des fortes houles, les vagues de chaleur et les sécheresses favorisant les feux de forêts. L'intensité et la fréquence de ces événements hydro-météorologiques extrêmes sont susceptibles d'évoluer sous l'effet du changement climatique. L'analyse de ces événements extrêmes repose sur l'observation, l'analyse de données et la modélisation numérique afin d'interpréter et d'extrapoler les observations et de prévoir les évolutions à venir. L'étude des extrêmes est cependant une tâche particulièrement complexe. Les événements extrêmes sont rares par nature. Les bases de données disponibles ne s'enrichissent donc que très progressivement. Ces événements sont par ailleurs souvent caractérisés par de fortes hétérogénéités spatiales et temporelles que les réseaux de mesure existants peuvent difficilement capturer précisément. La mesure de valeurs exceptionnellement élevées, pour lesquelles les réseaux de mesure n'ont pas été conçus et ajustés, peut aussi être entachée d'incertitudes importantes. Tout ceci explique notre niveau de connaissance encore aujourd'hui imparfait et les conclusions parfois contradictoires des études scientifiques sur les évolutions passées et futures. Nos connaissances ont cependant fortement progressé ces dernières années grâce à un certain nombre de programmes de recherche dédiés et à la mise en place de bases de données partagées. Ce chapitre présente l'état des connaissances sur les phénomènes extrêmes hydro-climatiques autour de la Méditerranée, leur répartition géographique et saisonnière, leurs évolutions passées et à venir. Les questions non résolues et les incertitudes sont aussi exposées et discutées.

Chapter 4

Air quality and climate in the Mediterranean region

Chapter coordinators

François Dulac
CEA, UMR LSCE, France

Eric Hamonou
CNRS, UMR LSCE, France

Contributors

Charbel Afif
University Saint-Joseph,
Chemistry Dpt., Lebanon

Rezak Alkama
University Abderrahmane Mira of Bejaia,
Electrical Engineering Lab., Algeria

Carla Ancona
Lazio Regional Health
Service, Epidemiology Dpt., Italy

Isabella Annesi-Maesano
INSERM, UPMC, Sorbonne University,
UMR-S IPLESP, France

Matthias Beekmann
CNRS, UMR LISA, France

Fatima Benaïssa
University Abderrahmane Mira of Bejaia,
Electrical Engineering Lab., Algeria

Gilles Bergametti
CNRS, UMR LISA, France

Christophe Boissard
Paris Diderot University,
UMR LSCE, France

Agnès Borbon
CNRS, UMR LaMP, France

Christel Bouet
IRD, IEES-Paris, UMR LISA, France

Augustin Colette
INERIS, Direction
des Risques chroniques, France

Barbara D'Anna
CNRS, UMR IRCELYON, France

Sabine Darras
CNRS, UMS OMP, France

Uri Dayan
The Hebrew Univ. of Jerusalem,
Dpt. of Geography, Israel

Cécile Débevec
Mines Douai, SAGE, France

Claire Delon
CNRS, UMR LA, France

Karine Desboeufs
Paris Diderot University, UMR LISA, France

Pierre Durand
CNRS, UMR LA, France

Sébastien Dusanter
Mines Douai, SAGE, France

Wehbeh Farah
University Saint-Joseph, Physics Dpt., Lebanon

Francesco Forastiere
Lazio Regional Health
Service, Epidemiology Dpt., Italy

Paola Formenti
CNRS, LISA, France

Valérie Gros
CNRS, UMR LSCE, France

Corinne Jambert
Paul Sabatier University, UMR LA, France

Houcine Khatteli
IRA, Tunisia

Mohamed Labiadh
IRA, Tunisia

Juliette Lathière
CNRS, UMR LSCE, France

Benoît Laurent
Université Paris Diderot,
UMR LISA, France

Maud Leriche
CNRS, UMR LA, France

Catherine Liousse
CNRS, UMR LA, France

Nadine Locoge
Mines Douai, SAGE, France

Sylvain Mailler
ENPC, LMD, France

Marc Mallet
CNRS, UMR CNRM, France

Laurent Menut
CNRS, LMD, France

Vincent Michoud
CNRS, LISA, France

Nikolaos Mihalopoulos
National Observatory of Athens
and University of Crete, Greece

Marie Monier
Blaise Pascal University
of Clermont-Ferrand,
UMR LaMP, France

Pierre Nabat
Météo-France, UMR CNRM, France

Myriam Mrad Nakhlé
University of Balamand,
Faculty of Health Sciences, Lebanon

José B. Nicolas
CNRS, UMR LaMP, France

Fatma Öztürk
Abant Izzet Baysal University,
Environmental Engineering Dpt., Turkey

Jean-Louis Rajot
IRD, IEES-Paris, France, IRA, Tunisie

Jean-Baptiste Renard
CNRS, LPC2E, France

Philippe Ricaud
CNRS, UMR CNRM, France

Thérèse Salameh
Mines Douai, SAGE, France

Alcide di Sarra
ENEA, Laboratory for Earth
Observations and Analyses, Italy

Karine Sartelet
Ecole des Ponts et Chaussées,
CEREA, France

Stéphane SAUVAGE
Mines Douai, SAGE, France

Jean SCIARE
Cyl, EEWRC, Cyprus

Karine SELLEGRI
CNRS, UMR LaMP, France

Michaël SICARD
UPC-BarcelonaTech,
Remote Sensing Lab., Spain

Fabien SOLMON
ICTP, Earth System Physics, Italy

Massimo STAFOGGIA
Lazio Regional Health Service,
Epidemiology Dpt., Italy

Antoine WAKED
Mines Douai, SAGE, France

Régina ZBINDEN
CNRS, CNRM, France

Abstract

Ambient air ranks number one among the natural resources vital to human beings, with an average individual daily need of 12 kg. Due to the specificities of the Mediterranean region (sunny, hot and dry climate; long-range transport converging over the basin), air pollution in reactive compounds over the Mediterranean is often higher than in most European inland regions. Climate change (increase in temperature and drought) and anthropogenic pressure (growing population) should significantly impact the regional air quality. As a result, Mediterranean inhabitants who are already regularly exposed to pollutant loads well above WHO air quality recommendations will be further exposed, resulting in an excess of premature deaths. Exposure monitoring and win-win strategies should be developed in the future both to improve air quality and develop a low carbon economy. The evolution of emissions under climate change is not always clear and much uncertainty remains around present emissions from large urban-industrial centers, although recent progress has been made on emissions of the different regional sources of pollutants. It has been established that the regional climate and water cycle are affected by atmospheric chemistry. By reducing solar radiation at the surface, aerosols reduce the yearly average precipitation in the Mediterranean by 10%, which is a major issue since water is already scarce. Aerosols could further reduce precipitations by reducing the size of cloud droplets or through the formation of cloud droplets and ice crystals. Moreover, recent *in situ* and model experiments indicate that anthropogenic nitrogen and desert dust phosphorus deposition in nutrient-depleted surface seawater favors phytoplankton development, which stimulates the sink of atmospheric CO_2 into marine sediments. But Saharan dust deposition by rain also stimulates bacterial growth, which reemits CO_2. The net effect of desert dust deposition at large scales needs to be established.

Résumé

L'air est sans aucun doute la ressource naturelle la plus essentielle à l'homme : chaque jour 12 kg d'air sont nécessaires à sa survie. Du fait des spécificités de la région méditerranéenne (climat ensoleillé, chaud et sec ; convergence de masses d'air d'horizons lointains), la pollution de l'air en espèces réactives y est souvent plus forte que dans la plupart de l'Europe continentale. Les changements climatiques (augmentation des sécheresses et de la température) et la pression démographique devraient dégrader encore la qualité de l'air. En conséquence, les habitants de la Méditerranée qui sont déjà régulièrement soumis à des niveaux de pollution bien au-dessus des recommandations de l'OMS devraient se trouver plus exposés encore, ce qui engendrera une surmortalité. Un meilleur suivi de l'exposition des habitants et des solutions « gagnant-gagnant » devraient être mises en place dans le but d'améliorer la qualité de l'air et de s'engager dans une économie décarbonée. Les conséquences des changements climatiques sur les émissions de polluants par les principales sources régionales ne sont pas toujours très claires. Il a été établi que le climat régional et le cycle de l'eau sont altérés par la chimie de l'atmosphère. En réduisant le flux solaire en surface, les aérosols réduisent les précipitations moyennes annuelles de 10 % en moyenne sur le bassin méditerranéen, réduisant un peu plus une ressource déjà rare. Les aérosols pourraient réduire plus encore les précipitations en réduisant la taille des gouttes d'eau dans les nuages ou en agissant sur la formation de cristaux de glaces. Par ailleurs, de récentes expériences indiquent que le dépôt atmosphérique d'azote et le phosphore issu des poussières désertiques à la surface des eaux pauvres en nutriments de la Méditerranée favorise le développement du phytoplancton activant par la même occasion l'absorption de CO_2 par l'océan. Cependant, il a aussi été observé que le dépôt de poussières favorise le développement de bactéries qui elles-mêmes rejettent du CO_2 du fait de la respiration. L'effet net du dépôt de ces poussières à grande échelle reste à établir.

Introduction

In this chapter, we consider relatively short-lived (<~1 month) particulate and gaseous tropospheric trace species that cause atmospheric pollution and have two-way interactions with climate. Emissions of long-lived greenhouse gases and their role, and evolution with climate change are dealt with elsewhere in this book.

Ambient air is one of our vital natural resources. Air quality in the Mediterranean region is generally poor, due to both particulate and gaseous pollution. For instance, particulate or ozone concentrations are generally higher in the

Mediterranean region than in most continental European regions, especially during the long dry and sunny summer season that characterizes the Mediterranean type of climate, (e.g. Nabat et al. 2013; Doche et al. 2014; Menut et al. 2015). In addition, the Mediterranean region is a hot-spot for climate change (Giorgi and Lionello, 2008), whereas numerous two-way interactions take place between climate and air quality, which are not always well understood. In addition, the Mediterranean region is expected to undergo a major increase in population, especially the development of large urban centers on its eastern and southern sides (CIHEAM, 2009). Air quality is already very poor in such centers and has significant adverse effects on health (an average of more than 20 deaths per 100,000 inhabitants took place in 2008 in Egypt, Greece, Israel, Lebanon, Turkey; WHO, 2014). It is thus important to understand the impact of the expected climate change on atmospheric chemistry and the resulting surface air quality in the Mediterranean region (Colette et al. 2013).

Conversely, atmospheric pollution also affects the climate. The most obvious effect is global warming due to anthropogenic emissions of greenhouse gases (GHG), but anthropogenic aerosols and ozone, for instance, also perturb the Earth's radiative budget (IPCC, 2014). Up to now, future climate predictions have neglected feedback due to atmospheric composition, apart from that due to long lived GHGs. Atmospheric pollution, however, is also made up of many gaseous and particulate species that are more chemically active than GHGs and these short-lived species have various reciprocal interactions with climate, which must be accounted to better simulate their combined evolution. For instance, direct effects due to scattering and absorption of solar radiation by tropospheric anthropogenic aerosol particles compensate for and even cancel out the warming effect of GHG emissions in polluted regions at the regional scale (Bergamo et al. 2008). But they are much more difficult to represent in climate models (i) because of the high temporal and spatial variability of their concentrations and optical properties whereas, in comparison, GHG vary very little in concentration (Le Treut et al. 1998), and (ii) because to properly assess aerosol climatic impact, it is necessary to use coupled atmosphere-ocean dynamical models rather than fixed sea-surface temperature to account for a radiative impact that affects sea surface evaporation (Nabat et al. 2014). These reactive species form secondary products that are not directly emitted into the ambient air but control the concentration of fine particles in the background (Querol et al. 2009) and urban (El Haddad et al. 2011) Mediterranean air, they can be transported over long distances in the troposphere (Lelieveld et al. 2002; Ricaud et al. submitted) and affect air quality at the surface (with profound impacts on human health) (Künzli et al. 2000), perturb the radiative budget of the atmospheric column and modify cloud properties with significant consequences for the atmospheric water cycle and climate (Nabat et al. 2015), affect marine biogeochemistry (Guieu et al. 2014a) and continental vegetation (Paoletti, 2006) through their deposition at the Earth's surface. There are thus many processes and different types of feedback to take into consideration when assessing interactions between air quality and climate and when modelling the present and future coupled air quality-climate system.

The present chapter is a contribution from the project ChArMEx (the Chemistry-Aerosol Mediterranean Experiment; http://charmex.lsce.ipsl.fr) of the multidisciplinary regional research program MISTRALS (Mediterranean Integrated Studies at Regional and Local Scales; http://mistrals-home.org) endorsed by ALLENVI. It summarizes current knowledge on the links (feedforward and feedback) between climate and the air resource in the Mediterranean region, on the impact of expected climate change and increasing anthropogenic pressure on that natural resource and its consequences for human health, highlighting on-going efforts and recommended research to overcome critical limitations of our present knowledge. In the following sub-chapter headed 'Sources of reactive species and source apportionment', we review emissions that affect the Mediterranean atmospheric environment and report source apportionment results in both coastal urban and background air. In a separate text box, we also present the regional emission database ECCAD/ChArMEx dedicated to the Mediterranean region. We describe the particular cases of large urban centers, aeolian erosion, and biogenic emissions of volatile organic carbonaceous species. In the sub-chapter headed 'High concentrations of aerosols and pollutant and greenhouse gases', we address the question of the high atmospheric loads of atmospheric pollutants in the Mediterranean region and our understanding of the reasons. We include a focus on secondary organic aerosols, a major component of fine particles in the ambient air and a challenge for atmospheric chemistry models because they are formed by complex chemical reaction chains from gaseous compounds emitted by both human activities and natural sources. The sub-chapter headed 'Atmospheric deposition to nutrient-depleted seawater' is dedicated to the deposition of aerosol particles to the oligotrophic Mediterranean Sea, a major pathway for the transfer of nutrients and contaminants, and its impact on surface marine ecosystems. The sub-chapter headed 'Impact of atmospheric chemistry on the regional climate' describes the impacts of atmospheric chemistry on climate and reviews recent results on their assessment. In the sub-chapter headed 'Impacts of air quality on health in the Mediterranean region', we report recent results on the detrimental effect of air pollution on human health. In the sub-chapter headed 'The (uncertain) future of air quality', we question our knowledge on the evolution of air quality in the coming decades. Finally, we summarize the main recent advances, open questions and related ongoing research and perspectives.

Part 2

Vulnerability and impacts

< © IRD/R. Simenel – The semi-arid North African environment is particularly subject to climate change. Souss, Morocco, 2012.

Chapter 1

Climate change impacts on marine ecosystems and resources

Chapter coordinator

Yunne-Jai SHIN

IRD, UMR MARBEC, France

Abstract

The Mediterranean Sea is one of the biggest reservoirs of biodiversity in the world. Millions of people directly or indirectly depend on the ecosystem services it provides, in particular the provisioning of fisheries resources. Rather than a hot-spot of biodiversity, the Mediterranean Sea has now become a hot-spot of global change where climate change and other anthropogenic pressures (e.g., overfishing, pollution, habitat destruction) operate independently or synergistically to shape an altered Mediterranean Sea that may shift from the today picture. The set of physical-chemical changes triggered by climate change may disrupt the functioning of the biological components of ecosystems, from the individual up to the ecosystem scale, from the basis of the food webs (macrophytes, phytoplankton) up to the higher trophic levels (e.g., predator fish). Current research shows that the physiology and fish life history traits have changed, that fish distribution areas are moving northward and eastward, thus modifying the structure and the species composition of the communities. The dynamics of populations and food webs are modified as well, and species invasions increase at an

unprecedented rate. Combined with fishing, climate change renders marine ecosystems more vulnerable to anthropogenic pressures, to natural hazards and to invasions by non-indigenous species. Although uncertainties remain with regard to the magnitude of expected ecological changes, the projections based on IPCC scenarios all confirm that climate change is a serious threat for the biodiversity and the sustainable exploitation of fishing resources in the Mediterranean Sea. This calls for the reinforcement of innovative and integrated research and assessment capacities to support an ecosystem-based management at the scale of the Mediterranean basin.

Résumé

La Méditerranée constitue l'un des plus grands réservoirs de biodiversité à l'échelle mondiale. Des millions de personnes dépendent directement ou indirectement des services écosystémiques rendus par celle-ci, notamment l'approvisionnement en ressources marines. Plus qu'un point chaud de biodiversité marine, la Méditerranée est désormais un point chaud du changement global où changement climatique et autres pressions d'origine anthropique (e.g. surexploitation, pollution, destruction d'habitat) peuvent agir indépendamment ou en synergie pour former une Méditerranée différente de celle que nous connaissons aujourd'hui. L'ensemble des modifications physico-chimiques induites par le changement climatique conduit à un bouleversement des composantes biologiques des écosystèmes, de l'échelle individuelle à l'échelle écosystémique, des producteurs primaires (algues, phytoplancton) aux plus hauts niveaux trophiques (e.g. poissons prédateurs). Les recherches actuelles démontrent que la physiologie et les traits de vie des poissons changent et que leurs distributions spatiales se sont décalées vers le nord et l'est, modifiant la structure et la composition des communautés. La dynamique des populations et des réseaux trophiques s'en trouve également modifiée et les invasions biologiques se multiplient à un rythme encore jamais observé. Avec la pêche, le changement climatique induit une fragilisation des écosystèmes marins, rendant ces derniers moins résilients et plus instables face aux activités anthropiques, aux aléas naturels et aux invasions d'espèces exotiques. Bien que des incertitudes demeurent quant à l'ampleur des changements biologiques en Méditerranée, les projections faites à partir des scénarios émis par le GIEC s'accordent pour affirmer que le changement climatique est une sérieuse menace pour la biodiversité marine et la production de ressources vivantes. Il s'agit alors d'appuyer des systèmes de recherche et d'évaluation innovants et intégrés afin d'adopter une gestion écosystémique à l'échelle du bassin méditerranéen.

Introduction

The Mediterranean Sea is a hotspot of biodiversity. It hosts 4% to 18% of all identified marine species, which is considerable given that the Mediterranean Sea only accounts for 0.82% of the global ocean surface (Coll et al. 2010). Considered as a "factory" designed to produce endemics, the unique geological history of the Mediterranean Sea and the variety of climatic and hydrological situations have led to the co-occurrence of cold, temperate and subtropical biota (Lejeusne et al. 2010). This biodiversity hot-spot is at risk today as a result of multiple pressures. Based on global climate change projection scenarios, the Mediterranean Sea has been classified as one of the most responsive regions to climate (Giorgi, 2006). The Mediterranean Sea is also known to be the biggest recipient of exotic species with the rate of species introduction peaking at two species per ten-day period in the 2000s (Ben Rais Lasram and Mouillot 2009, Zenetos et al. 2010). Combined with critical overfishing (more than 90% of assessed-stocks were overfished in 2015 (STECF 2016)), pollution and habitat destruction, climate change may result in the Mediterranean Sea becoming a hot-spot of global change (Micheli et al. 2013).

In this chapter, we describe how marine ecosystems and resources have shaped and, through interlinked mechanisms, may continue to shape future responses to climate change: (i) changes in primary production and in the structure of foodwebs, (ii) changes in population dynamics and life history traits, (iii) changes in species distribution range and habitats, and (iv) changes in the invasion rate of non-indigenous species. Examples are provided from different regions of the Mediterranean Sea and different biota (with a focus on fish communities), whereas marine top predators such as birds and marine mammals are not included in this review. Interactions between climate change, overfishing and habitat destruction are discussed throughout the chapter, but interactions with other direct anthropogenic pressures such as pollution, shipping, and oil spills are not addressed here.

References

Ben Rais Lasram F, Mouillot D (2009)
Increasing southern invasion enhances congruence between endemic and exotic Mediterranean fish fauna. Biol Invasions 11:697–711.

Coll M, Piroddi C, Steenbeek J, Kaschner K, Ben Rias Lasram F, Aguzzi J, Ballesteros E, Bianchi CN, Corbera J, Dailianis T, others (2010)
The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. PloS One 5:e11842.

Giorgi F (2006)
Climate change hot-spots. Geophysical Research Letters 33(8): L08707.

Lejeusne C, Chevaldonné P, Pergent-Martini C, Bouďouresque CF, Perez T (2010)
Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. Trends Ecol Evol 25:250–260.

Micheli F, Halpern BS, Walbridge S, Ciriaco S, Ferretti F, Fraschetti S, Lewison R, Nykjaer L, Rosenberg AA (2013)
Cumulative human impacts on Mediterranean and Black Sea marine ecosystems: assessing current pressures and opportunities. PLoS One 8:e79889.

STECF (2016)
Reports of the Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF)-51st Plenary meeting Report (PLEN-16-01). 2016. Publications office of the European union, Luxembourg, EUR 27458 EN, JRC 101442, 95 pp.

Zenetos, A., Gofas, S., Verlaque, M., Cinar, M.E., Raso, G., Bianchi, C.N., Morri, C., Azzurro, E., Bilecenoglu, M., Froglia, C., Siokou, I., Violanti, D., Sfriso, A., San Martín, G., Giangrande, A., Katagan, T., Ballesteros, E., Ramos-Esplá, A., Mastrototaro, F., Ocaña, O., Zingone, A., Gambi, M.C., Streftaris, N. (2010)
Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution. Mediterranean Marine Science 11, 381-493.

Chapter 2

Impacts on the coastal zone

Chapter coordinator

Joël Guiot
CNRS, France

Abstract

Sea level rise is a major challenge for the Mediterranean Sea, where risks related to coastal flooding and shoreline retreat are already a serious concern, and where many human, cultural, industrial and environmental assets are concentrated near the coastlines. The first part of the chapter shows that marked impacts on the coastal zone are to be expected. While adaption to more frequent high water levels during storms is recognized as inevitable, large generalized shoreline retreats can still be avoided if the sea level does not rise too quickly and global warming remains below 2 °C. The second part of the chapter investigates the influence of climate and non-climate drivers on coastal zones. Using a multi-scale coastal risk index including hazard, vulnerability and exposure, risk assessment of Mediterranean coastal zones revealed many hot-spots along the southern and eastern shores, whose adaptability is limited by weaker economic and institutional conditions as well as poor availability of financial and technological resources. The third part of the chapter presents a threatened icon of the Mediterranean coast: Lithophyllum byssoides, a calcified cushion-like red alga, which, as the result of the coalescence, stacking and persistence of

individuals, forms algal rims that are highly resistant to waves and storms. The bioconstruction of these rims is only possible under a stable or slightly rising sea level. Today, these algal rims have begun to be submerged. As the current rate of sea level rise appears to be accelerating, the rims would seem to be condemned.

Résumé

L'élévation du niveau de la mer représente un défi majeur pour la mer Méditerranée, où les risques liés aux inondations et à la retraite du littoral sont déjà une préoccupation sérieuse, et où la population, des biens culturels, industriels et environnementaux sont concentrés près des côtes. La première partie du chapitre montre que de grands impacts sur la zone côtière sont attendus. Alors que l'adaptation à des hauts niveaux plus fréquents pendant les tempêtes est obligatoire, des retraites importantes et généralisées du littoral peuvent encore être évitées si le niveau de la mer ne monte pas trop rapidement et que le réchauffement climatique reste en dessous de 2 °C. La deuxième partie du chapitre examine le rôle des facteurs climatiques et non climatiques sur les zones côtières. L'utilisation d'un indice de risque côtier multi-échelle, qui intègre le risque, la vulnérabilité et l'exposition, pour évaluer les risques des zones côtières de la Méditerranée a fait ressortir de nombreux-points chauds sur les rives sud et est, là où la capacité d'adaptation est généralement limitée par de plus faibles conditions économiques et institutionnelles, ainsi que par la moindre disponibilité de ressources financières et technologiques pour les plus pauvres. La troisième partie du chapitre présente une icône menacée de la côte méditerranéenne: les byssoides *Lithophyllum*, une algue rouge qui forme des coussins calcifiés formant, par coalescence, empilement et persistance des individus, des trottoirs résistants aux vagues et aux tempêtes. La bioconstruction de ces trottoirs est seulement possible avec des niveaux de mer stables ou légèrement en hausse. Actuellement, ces trottoirs ont commencé à être submergés. Le taux actuel de l'élévation du niveau de la mer semble être trop rapide et les trottoirs semblent être condamnés à disparaître.

Chapter 3

Impacts on water and soils

Chapter coordinator
Gilles Boulet
IRD, UMR CESBIO, France

Abstract

This chapter presents research outputs concerning the expected relative impacts of anthropogenic and climate changes on water and soil resources in the Mediterranean region, and their associated vulnerabilities. First, in subchapter 2.3.1., the current methods and their limits are outlined. The main projected changes due to the rise in temperature concern evapotranspiration (increased climatic demand, more water limiting cases) and snowfall (less snow, melting occurs sooner), as well as the possible increased intensity and frequency of extreme events (droughts and floods, subchapter 2.3.2). Rainfed agriculture is particularly threatened. The expected impacts of changes in precipitation patterns and land use on soil erosion are assessed in subchapter 2.3.3. The challenge of foreseeing the impacts of extreme rainfall events on floods is documented in subchapter 2.3.4. The difficulty involved in maintaining long term monitoring of those resources, with little funding available to support a dense gauging network, encourages us to develop alternative observation systems based on distributed data acquired through remote sensing (2.3.2) or post-event inquiries (2.3.4), for example. Current human activities may occasionally reduce certain vulnerabilities

(for example through soil and water conservation systems) but more often exacerbate the negative impacts of climate change on soil and water resources; for example, unregulated groundwater extraction (subchapter 2.3.5), intensification of agriculture (2.3.2) usually amplify rather than mitigate the factors responsible for overexploitation of available blue and green, renewable and fossil water, or increased soil loss (2.3.3). Overall, the uncertainties on the various subparts of the coupled man-earth system make it difficult to build, if not reliable, then at least realistic scenarios for the evolution of water and soil resources even for the coming decades. Like for GHG emissions, several ongoing projects under the AllEnvi umbrella try to identify a range of individual evolution scenarios based on actual mechanisms and hydrological models that are calibrated and evaluated using hydrological extremes extracted from recent history (2.3.1).

Résumé

Ce chapitre présente les résultats de recherche concernant l'impact relatif attendu des changements anthropiques et climatiques sur les ressources en eau et en sols dans la région méditerranéenne, et leurs vulnérabilités associées. Les méthodes actuelles et leurs limites sont d'abord décrites dans le sous-chapitre 2.3.1. A travers l'élévation de température, les plus grand changements concernent l'évapotranspiration (plus grande demande climatique, stress hydrique plus fréquent) et les chutes de neige (moins de neige, la fonte se produit plus tôt), ainsi que la probable augmentation en nombre et en intensité des événements extrêmes (sécheresse, inondation, sous-chapitre 2.3. 2). Une menace particulière existe pour l'agriculture pluviale. L'impact sur l'érosion des sols des changements attendus dans la distribution des précipitations et les usages des terres est évalué dans le sous-chapitre 2.3.3. Le défi que constitue le besoin d'anticiper les impacts des événements précipitants extrêmes sur le risque d'inondation est documenté dans le sous-chapitre 2.3.4. La difficulté à maintenir une surveillance à long terme de ces ressources, avec peu de financements disponibles pour garantir un réseau de jaugeage suffisamment dense, nous encourage à développer des systèmes d'observation alternatifs, sur la base des données distribuées acquises par exemple par télédétection (2.3.2) ou à travers des enquêtes post-événement (2.3.4). Les activités humaines réduisent parfois certaines vulnérabilités (par exemple grâce à des ouvrages de conservation), mais amplifient le plus souvent les impacts négatifs du changement climatique sur les ressources en sols et en eaux: l'extraction non réglementée des eaux souterraines (sous-chapitre 2.3.5), l'intensification de l'agriculture (2.3.2) sont en général des facteurs aggravants plutôt que des facteurs d'atténuation pour la surexploitation de l'eau disponible bleue et verte, renouvelable et fossile, et participent de l'accroissement de la perte de sol. Dans l'ensemble, compte tenu des incertitudes sur les différents

sous-ensembles du système couplé Homme-Milieu, il est difficile de construire des scénarios fiables ou même réalistes pour l'évolution des ressources en eaux et en sols, même pour les prochaines décennies. Plusieurs projets en cours sous l'égide d'Allenvi proposent, de manière similaire à ce qui est fait pour les émissions de GES, des trajectoires limites basées sur les mécanismes à l'œuvre actuellement et des modèles hydrologiques calés et évalués sur les différents extrêmes climatiques identifiés pour des périodes récentes (2.3.1).

Chapter 4

Impacts on terrestrial biodiversity and ecosystems

Chapter coordinator

Wolfgang CRAMER
CNRS, France

Abstract

This chapter explores four selected aspects of the influence of climate change on Mediterranean land ecosystems. First, it explores the interaction between climate change, changes in land use, and the functioning of Mediterranean forests from the human perspective (Gauquelin et al.). Mediterranean forests are characterized by exceptional biodiversity, with 290 woody species and numerous plants and animals depending on them. Most of the trees are evergreen, adapted to some level of drought stress, but deciduous trees are also present. Many forests are actually open woodlands. Mediterranean forested landscapes therefore display high spatial heterogeneity, offering multiple functions for associated wildlife, as well as for human recreation. Risks to the functioning of these forests originate not only from climate change but also from destruction and unsustainable use.

In some forested sites this situation can now be considered typical of many Mediterranean ecosystems, and raises the question of their stability, or resilience

(Mouillot et al). Experimental treatments now make it possible to test the degree to which increased drought, for example, may have longer-lasting impacts on ecosystem function than simply a potentially temporary reduction in growth and productivity.

The Mediterranean is a large archipelago with approximately 10,000 small and large islands that alone explain a significant part of its biodiversity (Médail et al.). While these islands are subject to similar forcings i.e., warming, drought, land use change and sea-level rise, the local impacts differ strongly from place to place. One group of species with particular climate and local habitat requirements are orchids (Schatz et al.). Analysis of the few existing long observational series of these orchids makes it possible to distinguish between the most and the least sensitive groups, but more research is needed to develop predictive tools to assess future risks to them.

Résumé

Dans ce chapitre, on présente quatre aspects spécifiques des effets du changement climatique sur les écosystèmes continentaux. Tout d'abord, les interactions entre le changement climatique, les changements d'usage des sols et le fonctionnement des forêts méditerranéennes selon une perspective sociétale (Gauquelin *et al*.). La biodiversité des forêts méditerranéennes est exceptionnellement riche, avec 250 espèces ligneuses et de nombreuses espèces animales ou végétales qui en dépendent. La plupart des arbres sont sempervirents, adaptés à un certain niveau de stress hydrique, mais il existe aussi des espèces décidues et de nombreuses forêts sont aujourd'hui des forêts ouvertes. Ainsi, les paysages forestiers méditerranéens montrent une grande hétérogénéité spatiale, ce qui profite à la faune sauvage et leur confère un aspect récréatif. En plus du changement climatique, leur destruction et leur utilisation de manière non durable pèsent également sur les forêts méditerranéennes.

Dans le cas de sites forestiers considérés comme caractéristiques de nombreux écosystèmes méditerranéens, les questions actuelles sont celles de leur stabilité ou de leur résilience (Mouillot *et al*.). Certaines expériences permettent de tester avec quel degré une sécheresse prolongée peut par exemple impacter le fonctionnement de l'écosystème sur le long terme, au-delà d'une simple réduction temporaire de la croissance et de la productivité.

La Méditerranée est un large archipel avec environ 10 000 îles grandes et petites, ce qui explique une part significative de la biodiversité méditerranéenne (Médail *et al*.). Alors que ces îles sont toutes confrontées au réchauffement, à la sécheresse, aux changements d'occupation du sol et à la remontée du niveau de la mer, les impacts locaux diffèrent grandement selon les régions. Des espèces

comme les orchidées manifestent des besoins particuliers en termes de climat et d'habitat (Schatz *et al.).* L'analyse de quelques séries d'observation sur le long terme permet de distinguer différents groupes d'orchidées, plus ou moins sensibles. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires afin d'établir des outils prédictifs permettant d'estimer les risques futurs qu'ils encourent.

Introduction

Mediterranean land ecosystems are among the richest in the world. Located near one of the world's regions of origin of human agriculture and civilization, they have evolved in close interaction with human society over several millennia. Direct human impacts have consequently been very strong and visible, in the form of deforestation, the development of agricultural landscapes, gardening, soil degradation, urbanization, and (during the last century or so) air and water pollution, the arrival of alien species and the protection of some areas for conservation. Some of these impacts have reduced biodiversity, while others have enhanced it.

Despite these direct impacts of humans on biota, the highly specific Mediterranean climate remains one of the key determinants of the biodiversity and ecosystem structure in the region. Hot summers regularly lead to dry conditions in much of the basin, requiring little extra stress to cause biomass loss or dieback in a number of species. Mild humid winters provide the right conditions for high biological productivity. Warming is currently occurring faster in the Mediterranean than global averages, and affects land ecosystems in several different ways. First, direct heat stress may occur during heat waves in summer. Winter warming can be beneficial, but may also alter interactions with pests or alien species that find better conditions for survival and then have a negative impact on plant growth and survival. However, changes in water availability are more important than warming, and are the primary cause of productivity losses during the summer season, notably during dry spells which are tending to become longer. Reduced access to water is also an issue in the southern and eastern parts of the basin during winter, a tendency that will be exacerbated in the future. Remarkably, while global climate models still exhibit much regional uncertainty in terms of rainfall predictions, they all agree on the expected reduction in rainfall in the Mediterranean region. This enhanced drought has effects on all ecosystems, whether managed or unmanaged. In agro-ecosystems some potential for adaptation through irrigation exists, but is limited by the generally limited availability of water resources for irrigation, and also due to the limited economic potential in southern and eastern Mediterranean countries to pump and distribute more water to the fields. Finally, climate change also influences land ecosystems

through the sea-level rise which can cause “coastal squeeze”, in which circumstances no space is available for coastal ecosystems to move to higher areas, and notably by affecting coastal wetlands such as the Camargue, the Nile Delta and other similar areas.

Chapter 5

Health consequences in the Mediterranean region

Chapter coordinators

Jean-François Guégan
IRD, UMR MIVEGEC, France, FutureEarth/FutureHealth

Robert Barouki
INSERM, UPD, UMR Toxicology, Pharmacology and Cell Signaling, France

Isabella Annesi-Maesano
INSERM, UPMC, IPLESP EPAR, France

Abstract

The Mediterranean basin is highly vulnerable to climate change, and a warming trend with changes in rainfall patterns with more heavy rains has already been observed. The frequency of dust storm and wildfire has also increased. Both non-communicable and communicable diseases will be seriously impacted by climate change since climate modification or air pollution influence the development of the former and weather conditions the latter. Different socio-economic characteristics within the Mediterranean basin will also exacerbate or on the contrary reduce health outcomes. Surprisingly few quantitative studies have explored the impacts of climate change on health in the Mediterranean region, and the few are geographically limited to specific areas of the basin.

Here we review the scientific literature on this topic and make some recommendations for the development of national and regional research, preparedness and adaptation policy in the Mediterranean region.

Résumé

La zone méditerranéenne est très exposée aux changements climatiques, et un réchauffement régional de la température avec une modification du régime des pluies, généralement plus fortes, est actuellement observé. Les tempêtes de sable et les incendies non contrôlés sont en augmentation. Les maladies infectieuses et chroniques humaines peuvent être affectées par ces bouleversements de façon directe ou indirecte ; les conditions bioclimatiques conditionnent le développement des agents pathogènes et de leurs hôtes vecteurs ou réservoirs ; les modifications du climat ou la pollution atmosphérique qui en dérive ont une influence sur le développement de certaines maladies chroniques. Des déterminants, en particulier socio-économiques, prévalant ou en évolution dans la zone méditerranéenne affecteront aussi la santé de la population. Curieusement, peu de travaux scientifiques ont étudié les effets des changements climatiques sur la santé humaine dans la région, et les quelques rares études restent géographiquement limitées à des zones particulières du bassin méditerranéen. Dans ce chapitre, nous synthétisons la recherche réalisée dans le domaine, et proposons des recommandations en termes de recherches scientifiques nationales et régionales, et de stratégies de préparation et d'adaptation à ce nouveau contexte.

Introduction

The consequences of global environmental changes for human health are among the top priorities of citizens worldwide. Climate change is one of many global environmental changes (land-use changes, ocean acidification, biodiversity loss, transcontinental trade and transportation, etc.), and there is ample evidence that it has already had significant effects on population health and additional consequences are expected in coming decades (McMichael et al. 2006, Costello et al. 2009). One of the critical issues is how and to what extent climate change, together with other associated environmental and social stressors, has consequences for the health of individuals and whole populations (Corvalan et al. 2005). Understanding such effects and possible interactions between different stressors is critical for effective public health decisions and strategies.

Climate change will have health effects worldwide, but here we focus on the Mediterranean region. Climate change has both direct and indirect effects on human health and both are relevant in this region. Direct effects include higher temperatures, increased UV irradiation and localized storms and floods. There is evidence that extreme temperatures are clearly associated with increased human mortality and morbidity, and recent findings show that heavy rainfall may accelerate the development of water-borne or vector-borne diseases. Indirect health effects are related to the deterioration of air, soil and water quality, which are expected to occur in the Mediterranean region. As an example, increased exposure to allergens, air pollution and infectious diseases that are related to climate change, will all significantly contribute to the increased frequency of respiratory diseases. Importantly, each of these indirect effects can also be triggered by other activities; for example, air quality is altered by climate change but also by industry, transportation, urbanization, etc. Concerning communicable diseases, many examples suggest a climate-driven cascade of effects model, notably a trophic one, for infectious disease outbreaks worldwide. Furthermore, interactions between climate change and the other stressors are very likely to take place and a major challenge will be to find out whether they act in an additive, synergistic or antagonistic manner. A major conclusion at this stage is that an assessment of the effects of climate change on health would be improved if it were combined with that of other environmental stressors (Flahault et al. 2015). Such an integrative approach is in line with the exposome concept and framework developed by Chris Wild from the IARC (Wild, 2005).

The duration and impact of heat waves are expected to increase with climate change. In a study on heat-related mortality rates in several European cities, Mediterranean cities including Barcelona, Rome and Valencia were found to be the most vulnerable to increased heat (Baccini et al. 2009). Similarly, the heat-related death rates in Lisbon are expected to increase significantly during the 21st century (Casimiro et al. 2006). It is expected that these adverse effects will primarily affect vulnerable individuals, notably the elderly, who are more likely to suffer from chronic diseases (Oudin Åström et al. 2015). Another likely consequence is the increase in exposure to UV with its consequences for skin cancers. Modifications in atmospheric pollutants including ozone are discussed in the following subchapters.

Changes in the precipitation patterns are also expected with increased risks of floods and droughts. They may differ from one region/country to the other (Messeri et al. 2015). In addition to their direct effect on health notably through mosquitoes able to transmit tropical infections, these changes will most likely impact agriculture and the food supply, as described elsewhere in this book. There is reason for concern that it may eventually lead to a change in the Mediterranean diet, which is among the strongest assets in terms of health for the inhabitants of this region. It would be extremely deleterious if climate change were to alter the balanced nutritional habits of the Mediterranean population. While plans should be proposed to prevent the consequences of climate change

in the Mediterranean area affecting diet, it is equally important to ensure the sustainability of the assets of this region, in particular food habits.

When examining the literature on climate change and health in the Mediterranean region, it is striking to see that very little work - a large proportion of existing literature consists of reviews and editorials, not original studies - has been carried out both on non-communicable and communicable diseases, and there are still many open questions (Hosking and Campbell-Lendrum, 2012). It is thus crucial to increase the number and quality of the studies and to highlight the importance of health effects in the future. It is also crucial that research is carried out not only in the northern part of the Mediterranean region but also on its southern and eastern rims. This will also contribute to a better awareness of the citizens of the prospects of climate change.

Climate change will affect the health of the Mediterranean populations both directly and indirectly. It should be included with other changes in population, migration and nutritional habits since the combination of those changes could lead to even more harmful conditions. We believe that if health concerns are highlighted by international bodies, the involvement of the citizens will be stronger and more sustainable. We also believe that the effects of all stressors and changes should be taken into consideration and integrated, and that the assets of the Mediterranean population, such as healthy diets, should be supported and advertised. In addition to preventive and precautionary actions, more research should be conducted to support national and trans-Mediterranean public health decisions.

Part 3

Adaptation, resilience, conservation of resources and prevention of risk

< © IRD/G.Michon – Local knowledge can represent a powerful tool in managing the vulnerable Mediterranean highlands. High Atlas, Morocco, 2015.

Chapter 1

Societies and climate change in the Mediterranean

Chapter coordinator

Pascal Marty

CNRS, ENS de Lyon, France

Abstract

We may not have fully realized yet the full importance of climate change as a social issue in the Mediterranean region. Many studies are available to policy makers and to the public. They show how changes in climate parameters may drive deep societal transformation around the Mediterranean and should impact agricultural production, provision of ecosystem services, risk exposure to extreme weather events, or human and animal health. The chapters collected in this section hence offer particularly interesting insights into how climate change is a crucial driving force for the whole economic, political, and social structure in the region.

Sub-chapter 3.1.1 reveals how changes in the law, in three different North African contexts, take climate-related issues into account. The authors emphasize how fighting climate change or implementing adaptation measures cannot be done without setting legal policy frameworks. The best research and innovation ideas cannot be implemented without a robust legal system. Without clear and

ambitious climate acts, public action for climate will not resist the various counter-strategies elaborated by social actors; ambitious measures for sustainable development will thus be impeded or delayed. From this point of view, sub-chapter 3.1.1 is an interesting overview of the heterogeneous approaches of Maghreb countries in defining and implementing climate targets in their juridical framework.

Sub-chapter 3.1.2 deals with the massive issue of human migration. The Mediterranean is both a border and a crossing point between two highly contrasting regions – both economically and socially. It is a place where, for several years, we have observed the tragedy of migrants seeking to reach the shores of the European Union. Among the multiple causes and driving forces of these South-North migrations, climate change plays a key role that research can help us better understand. Sub-chapter 3.1.2 reveals the urgency of the need for a conceptual and methodological clarification for the analysis of migration and its links with the socio-environmental crisis. It demonstrates how challenging and necessary it is to conduct integrated research on socio-ecosystem dynamics on multiple scales, and particularly at macro-regional level.

Urban systems are, in this respect, particularly interesting socio-environmental objects in terms of adaptation to climate change (sub-chapter 3.1.3). The southern shore of the Mediterranean is engaged in deep urban transition, just as the North Shore was a few decades ago. This has resulted in huge demographic changes which increase the size and the population of coastal urban areas. Research, again, leads to a better understanding of the characteristics and complexities of urban climate change and its consequences. Modelling is a necessary tool if effective and fair public policies are to be created in future. Climate change will require more integrated urban management. Sustainable urban development needs to coadoptnduct integrated policies instead of dealing separately with, for instance, waste management, energy issues, transportation, river management, housing policies, and social integration – all elements of the same extraordinarily complex jigsaw puzzle. Assembling all its pieces will require a joint effort by scientists, public decision makers, and civil society.

Résumé

Le changement climatique en région méditerranéenne est un enjeu de société dont nous n'avons peut-être pas encore pris toute la mesure. De nombreux travaux existent pour attirer l'attention des décideurs publics et de l'opinion sur les risques qu'une modification des paramètres climatiques comporte pour les sociétés du pourtour méditerranéen au plan de la production agricole et de la fourniture des services écosystémiques, de l'exposition aux risques liés aux phénomènes climatiques extrêmes ou aux maladies émergentes. Les textes réunis

dans cette section permettent de voir mieux encore comment le changement climatique est une force qui travaille l'ensemble de la structure économique, politique et sociale.

Le sous-chapitre 3.1.1, en faisant un point sur la manière dont le droit, dans trois contextes différents au Maghreb, prend en compte les enjeux liés au climat rappelle de manière très claire que lutter contre le changement climatique ou mettre en place des mesures pour s'y adapter ne peut se faire sans cadres juridiques pour l'action publique. Les meilleures idées issues de la recherche et de l'innovation doivent pour prendre corps pouvoir s'appuyer sur un appareil juridique qui les rend possibles. En l'absence de cadres juridiques clairs et ambitieux, l'action publique en faveur du climat ne peut trouver sa place au sein de l'ensemble des stratégies portées par les acteurs sociaux et ne peut engager les sociétés et les économies sur la voie d'un développement soutenable. De ce point de vue, le sous-chapitre 3.1.1 est très éclairant sur la diversité des situations au Maghreb en matière de définition et de mise en œuvre d'objectifs pour le climat dans le droit de l'environnement.

Le sous-chapitre 3.1.2 est consacré à l'immense question des migrations. La Méditerranée, frontière et point de passage entre des ensembles régionaux très contrastés au plan économique et social, est le lieu où depuis plusieurs années s'observe la tragédie des migrants cherchant à rejoindre les rivages de l'Union européenne. Parmi les moteurs de ces migrations du Sud vers le Nord, le changement climatique joue un rôle que la recherche devra s'attacher à encore mieux comprendre dans le futur. Le sous-chapitre 3.1.2 introduit à ce travail de nécessaire clarification conceptuelle et méthodologique dans l'analyse des flux migratoires en relation avec les crises socio-environnementales. Il montre tout l'enjeu qu'il y a à mener des travaux intégrés sur les dynamiques des socio-écosystèmes à plusieurs échelles et particulièrement à l'échelle macro-régionale.

Les systèmes urbains sont de ce point de vue des objets socio-environnementaux particulièrement importants pour les défis du changement climatique (sous-chapitre 3.1.3). La rive sud de la Méditerranée est engagée dans une transition urbaine, comme la rive nord l'a été quelques décennies auparavant, dans un contexte démographique dynamique qui a pour résultat de produire des ensembles urbains de plus en plus étendus et qui concentrent des populations de plus en plus nombreuses. La recherche permet de mieux en mieux comprendre les caractéristiques du climat urbains, à échelle locale. La modélisation est un outil nécessaire dans l'optique de l'établissement de politiques publiques efficaces et justes. Le changement climatique rendra nécessaire une gestion des villes plus intégrée car, dans la visée d'un développement soutenable, il conviendra de considérer, par exemple, la gestion des déchets, la question énergétique, les transports, l'aménagement des cours d'eau, les règles et principes d'urbanisme, l'intégration sociale comme des éléments du même puzzle. Ce puzzle est d'une extraordinaire complexité. Pour en assembler les pièces, il faudra un effort conjoint des scientifiques, des acteurs publics et de la société civile.

Chapter 2

Agricultural management, livestock and food security

Chapter coordinators

Emmanuel TORQUEBIAU
CIRAD, France

Jean-François SOUSSANA
INRA, France

Abstract

Over the centuries, farmers from the countries bordering the Mediterranean have developed a variety of agricultural practices, providing a wide array of commodities that have made the Mediterranean diet world famous. However, climate change projections reveal that some of these practices are at risk because of the expected drier and hotter conditions coupled with soil and water constraints, as well as a higher fire frequency threat. Nevertheless, adapting to climate hazards has long been part of farming practice in this area. The growing of pulses or other drought-tolerant crops (olives, grapes, almonds, etc.), transhumance and the use of rangelands or tree fodder by livestock, as well as water harvesting techniques, are among some of the age-old solutions to erratic rainfall or hot summers. In this chapter, we highlight some of the challenges facing agriculture in the Mediterranean and provide a series of examples of how agricultural and livestock management can be better adapted to climate change.

Reliable metrics are necessary to enable the impact of climate change to be assessed and targeted agricultural policies to be designed. Long-term environmental observatories are essential to improve land management in the context of global change. Modelling the projected effects of current climatic trends shows that regional agricultural import dependence will increase as the impacts of climate change become more severe. Small ruminants (sheep, goats) have a good adaptation potential and can play a food security net role under climate change with a view to responding to the local food demand that emerges with new life styles. Local small ruminant breeds are adapted to harsh environments but this unique genetic heritage is now endangered. Perennial forage grasses are an alternative to cereals due to lower input requirement, year-round soil cover and optimal use of water. Mediterranean fruit trees, although well adapted, face increases in temperature and soil salinity as well as decreases in water availability. They will require improvements such as selection of early flowering varieties (olive), assessment of best pollinating conditions (figs) and salt tolerant rootstock (citrus).

Résumé

Depuis des siècles, les agriculteurs de la zone méditerranéenne ont mis au point une large gamme de pratiques agricoles à l'origine de productions qui ont rendu le régime alimentaire méditerranéen célèbre dans le monde entier. Les projections climatiques montrent cependant que des risques de sécheresse et de température élevée, associés à des contraintes concernant le sol, l'eau et les dangers d'incendie, menacent certaines de ces pratiques. L'adaptation à l'aléa climatique est néanmoins une habitude ancienne dans cette zone. La culture de légumes secs ou d'autres cultures tolérantes à la sécheresse (olives, raisin, amandes, etc.), la transhumance, l'utilisation des terrains de parcours et du fourrage arboré par le bétail, ou encore les techniques de capture de l'eau, font partie de ces solutions ancestrales au problème de la pluviométrie irrégulière ou des étés caniculaires. Dans ce chapitre, nous présentons certains des défis auxquels l'agriculture méditerranéenne est confrontée et nous proposons quelques exemples illustrant l'adaptation de l'agriculture et de l'élevage au changement climatique. Pour évaluer l'impact du changement climatique et concevoir des politiques agricoles appropriées, des mesures fiables sont nécessaires. Pour améliorer la gestion des terres dans un contexte de changement climatique, des observatoires environnementaux à long terme sont indispensables. La modélisation des effets attendus du changement climatique montre que la région deviendra progressivement plus dépendante des importations agricoles. Les petits ruminants (moutons, chèvres) ont un fort potentiel d'adaptation et peuvent jouer un rôle de filet de sécurité alimentaire en accord avec les nouvelles exigences alimentaires liées à de nouveaux styles de vie. Les races locales de petits ruminants sont adaptées à des

environnements contraignants mais ce patrimoine génétique est désormais menacé. Les graminées fourragères pérennes représentent une alternative aux céréales en raison de leurs exigences modestes en intrants, de leur capacité à couvrir le sol toute l'année et de leur utilisation optimale de l'eau. Bien qu'ils soient bien adaptés, les arbres fruitiers méditerranéens sont confrontés à l'augmentation de la température et de la salinité du sol ainsi qu'à une diminution des réserves en eau. Ils devront faire l'objet d'améliorations comme la sélection de variétés à floraison précoce (oliviers), la prise en compte des conditions de pollinisation (figuiers) ou le greffage sur des porte-greffes tolérants à la salinité (agrumes).

Introduction

The Mediterranean region is highly exposed to anthropogenic climate change. This will result in a hotter and drier climate, especially during the warm season (Lelieveld et al. 2016). Projected temperature changes in the region are often 50% higher than the global mean temperature increase and are combined with an increased frequency and intensity of droughts (Giorgi and Lionello, 2008).

Crop (wheat, maize and soybean) simulation models forced by climate change scenarios show projected yield impacts varying in the range of -22 to 0% and –27 to +5% for the Northern and Southern parts of the Mediterranean basin respectively (Porter et al. 2014). Adaptation through changes in sowing dates is likely to be difficult, since an early sowing of cereals could be restricted by the lack of adequate rainfall in autumn (Porter et al. 2014). Besides, recent studies have shown that more efficient irrigation systems are required if Mediterranean countries are to protect their water resources at the watershed level (Fader et al. 2016).

Several factors could potentially affect agriculture and livestock production in the Northern part of the Mediterranean basin (Kovats et al. 2014):

– Some of the non-climate trends, such as soil degradation – which is already intense in parts of the Mediterranean basin – may aggravate climate change impacts on agriculture;

– Regional projections show significant reductions in soil moisture, runoff and groundwater resources, which may limit irrigation options;

– Fire frequency and the extent of wildfire significantly increased after the 1970s compared with previous decades as a result of fuel accumulation, climate change, and extreme weather events in the Mediterranean basin, and were associated with strong winds during hot and dry periods. Nevertheless, in the Northern part of the Mediterranean region, the total burned area has decreased

since 1985 and the number of wildfires declined from 2000 to 2009, despite the broad interannual variability;

– The Mediterranean basin is expected to suffer multiple ecological stresses due to climate change, such as changes in plant species composition, increase of alien species, habitat losses and degradation, leading to agricultural and forest production losses due to increasing heat waves and droughts exacerbated by competition for water;

– A reduction of spring rainfall associated with higher temperatures is expected in some areas and an increase in groundwater use for irrigation may lead to further environmental concerns (Dono et al. 2016).

Although fewer data are available for the Southern part of the Mediterranean basin, the analysis and modelling of rainfall (Niang et al. 2014) points to a potential significant impact on agriculture. Over the last few decades, the northern regions of North Africa (north of the Atlas Mountains and along the Mediterranean coast of Algeria and Tunisia) have experienced a strong decrease in the amount of precipitation received in winter and early spring. The CMIP5 modelling ensemble projects very likely decreases in mean annual precipitation over the Mediterranean region of northern Africa in the mid- and late 21st century for RCP8.5.

High climatic variability and an inherently challenging climate are nevertheless nothing new for farmers in the Mediterranean. Traditional practices such as the growing of pulses or other drought-tolerant crops (olives, grapes, almonds, etc.), transhumance and the use of rangelands or tree fodder by livestock, and water harvesting techniques (e.g. spade irrigation) are widespread. They are often a response to erratic rainfall or hot summers. Food processing also constitutes a response to climate rigor, e.g. the drying of fruits such as apricots (Syria), figs or dates. The well-known Mediterranean diet (fruits, pulses, legumes, cereals, olive oil, combined with small quantities of meat and dairy products) has proven efficient in staying healthy and reducing risks such as cardio-vascular diseases. Therefore, although being vulnerable to climate change, the Mediterranean region can also be seen as a good example of a healthy food system well suited to the current climate.

In this chapter, we propose a series of examples of how agricultural and livestock management in the Mediterranean region can become better adapted to climate change. We first cover observatories and metrics which contribute to information for decision-making. We then provide a selection of adaptation options covering small ruminants, fodder grass and fruit trees. In a final section, the likely impact of climate change (coupled with demographic expansion and changes in eating habits) on agricultural trade and imports in the Middle East – North Africa region is analyzed. Despite multiple challenges, adaptation and transformation through technological, institutional and market innovations have strong potential in the region. The current knowledge base already provides important indications for the long-term adaptation to climate change of agriculture and food in the Mediterranean basin, but this major challenge is deserving of yet greater research efforts.

References

Dono, G., Cortignani, R., Dell'Unto, D., Deligios, P., Doro, L., Lacetera, N. et al. (2016)
Winners and losers from climate change in agriculture: Insights from a case study in the Mediterranean basin. *Agricultural Systems*, 147, 65-75.

Fader, M., Shi, S., von Bloh, W., Bondeau, A., Cramer, W. (2015)
Mediterranean irrigation under climate change: more efficient irrigation needed to compensate increases in irrigation water requirements. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, 12, 8459-8504.

Giorgi, F., Lionello, P. (2008)
Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63, 90-104.

Hewitson, B., A.C. Janetos, T.R. Carter, F. Giorgi, R.G. Jones, W.-T. Kwon, L.O. Mearns, E.L.F. Schipper, M. van Aalst (2014)
Regional context. 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. 1133-1197.

Kovats, R.S., R. Valentini, L.M. Bouwer, E. Georgopoulou, D. Jacob, E. Martin, M. Rounsevell, J.-F. Soussana (2014)
Europe. 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. 1267-1326.

Lelieveld, J., Proestos, Y., Hadjinicolaou, P., Tanarhte, M., Tyrlis, E., Zittis, G. (2015)
Strongly increasing heat extremes in the Middle East and North Africa (MENA) in the 21st century. *Climatic Change,* 1-16.

Niang, I., O.C. Ruppel, M.A. Abdrabo, A. Essel, C. Lennard, J. Padgham, 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.

Porter, J.R., L. Xie, A.J. Challinor, K. Cochrane, S.M. Howden, M.M. Iqbal, D.B. Lobell, M.I. Travasso (2014)
Food security and food production systems. 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. 485-533.

Chapter 3

Local knowledge, scientific knowledge and food security in the Mediterranean region

Chapter coordinators

Stéphanie THIÉBAULT
CNRS, INEE, France

Yildiz AUMEERUDDY-THOMAS
CEFE, CNRS, Biodivmex Mistrals, France

Abstract

Intricate linkages between climate change and socio-political dynamics in the Mediterranean region may give rise to new risks for crops and food security. As one of the world's biodiversity hotspots, the Mediterranean is also a major cradle of domestication and harbors a vast array of wild crop varieties and traditional landraces. We examine various situations in which local historical knowledge configures landscapes and produces agro-biodiversity – living matrices incorporating nature and culture and contributing to the history of the Mediterranean region.

These landscapes are suffering from urbanization and inappropriate public policies that overlook the importance of local farmers' knowledge. This chapter aims at evaluating local practices within a set of agroecosystems and their inputs to secure food security within the context of climate change.

The following cases are analyzed: (1) the use of wild olive (oleasters) grafted with olive varieties to create biological heterogeneity – an old technique perpetuated by farmers in northern Morocco and currently being replaced by large scale monoclonal olive plantations; (2) the ongoing taming of interactions between the Black truffle, their host trees and companion plants managed by truffle growers – currently under ecological experimentation; (3) the secular domestication of the Argan tree and associated bee keeping, favoring diversity through the engineering of differentiated spaces and protection of rich nut diversity – the latter is now marketed for the cosmetic industry; (4) locally differentiated bee populations in Cévennes in France, linked to local practices, and undergoing threats due to changes in practices and hybridization with imported bee populations.

The models described form part of a framework of biocultural and spatio-temporal interactions which it is now essential to understand. Above all, the situations described all bear within them key ideas for a more joined-up relationship between local and scientific knowledge.

Résumé

Les effets conjoints du changement climatique et des dynamiques sociopolitiques accroissent les risques sur les espèces cultivées et la sécurité alimentaire en Méditerranée. *Hotspot* de biodiversité à l'échelle mondiale, cette région est également un des berceaux de la domestication ; en outre, la région comporte de nombreux parents sauvages ainsi qu'un grand nombre de cultivars et de races traditionnelles. Nous examinons diverses situations illustrant le rôle des savoirs locaux historiques dans la configuration des paysages et de l'agrobiodiversité – des matrices vivantes incorporant nature et culture et ayant contribué à l'histoire de la région. Ces paysages souffrent de l'urbanisation et de politiques publiques ne prenant pas en compte l'importance des savoirs agricoles locaux. Ce chapitre évalue les pratiques locales dans une série d'agroécosystèmes et leurs apports à la sécurité alimentaire dans un contexte de changement climatique.

Nous abordons les cas d'étude suivants : (1) l'utilisation de la diversité biologique d'oliviers sauvages (oléastres) greffés par des variétés d'oliviers, une ancienne technique perpétuée par les paysans du nord du Maroc et en cours de remplacement par des plantations d'oliviers monoclonaux, à une large échelle ; (2) l'apprivoisement en cours de la Truffe noire, de son arbre hôte et de ses plantes compagnes par les trufficulteurs ; la gestion des plantes compagnes fait désormais l'objet d'expérimentation en écologie ; (3) la domestication séculaire de l'arganier associée à l'apiculture, favorisant la diversité à travers la différenciation des espaces et la protection d'une riche diversité de noix ; cette dernière est en forte demande pour l'industrie cosmétique ; (4) la différenciation

des populations locales d'abeilles dans les Cévennes en France, en lien avec des pratiques locales menacées par des changements de pratiques et l'hybridation avec des populations d'abeilles importées. Tous les modèles décrits font partie d'un cadre spatio-temporel et d'interactions bioculturelles qu'il est désormais essentiel de mieux saisir. Surtout, les situations décrites comportent toutes des idées clés pour une meilleure synergie entre savoirs locaux et savoirs scientifiques.

Introduction

Agricultural practices keep evolving, both because of social changes and the recomposition of various regions, and thus need to adapt to climate change and the sustainable management of resources, including biodiversity and water, to the increase in population and the emergence of new risks for crops.

Local knowledge is now at the heart of environmental issues; it is recognized by the Convention on Biological Diversity (CBD, Earth Summit, 1992), the Aichi targets (Nagoya CBD, 2010) and Intergovernmental Platform for Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES, 2015).

In the Mediterranean region, the gap between coastal urbanization and the hinterland exemplifies contemporaneous territorial dynamics, which lie at the origin of new links between urbanized areas, active agricultural areas, and less active areas (grazing areas, extensive crops, etc.) and "natural" areas (forests, wetlands, lagoons, etc.). The appeal of "modern" lifestyles, definitive or temporary migrations, the emergence of new social and economic inequalities, tensions of an agriculture that expresses divergent interests, ecological interactions, and water flows between these different territorial areas constitute issues which are either poorly controlled or insufficiently addressed by public modes of action.

The links between scientific knowledge and local knowledge requires that the latter be fully considered – no easy matter for entire swathes of human know-how that have often been sidelined, especially in the early 20th century with the advent of agricultural modernization and the foregrounding of an agricultural production paradigm based on specialization and improved varieties – all based on massive inflows of chemical inputs – which failed to take account of biodiversity and ecological processes. This agricultural model is now highly debatable in light of the environmental crisis we are experiencing on a global scale, particularly related to the impact of modern agriculture on greenhouse gases, energy issues (oil needed to produce chemical inputs), emissions and therefore climate change.

The deficit in agricultural production raises issues related to the farming systems and food of the people of the Mediterranean that will be considered over the

long term (drawing on archaeology, history and environmental archaeology). They enable scenarios to be developed for the management of natural resources in the long term, and for changes and the human impacts of biodiversity from a sustainable development perspective. Farming systems – an example of sustainability – are considered from an agro-sylvo-pastoral point of view and as a complement to the fishery environment.

The Mediterranean, one of the world's cradles of domestication, can help us reflect on the interactions between human societies and the environment, because of its role both as a biodiversity hotspot and as a place where human societies have interacted with nature since the Neolithic. The Mediterranean paradox (Biodivmex Mistrals, http://biodivmex.imbe.fr/) lies in the fact that Mediterranean agricultural landscapes have long nurtured Mediterranean societies, while retaining a large part of their biodiversity.

This chapter examines various situations in which local historical knowledge in the Mediterranean configures landscapes and produces agro-biodiversity – living matrices incorporating nature and culture and contributing to the construction of the history of these societies.

The questions raised are numerous and are located at the intersection of human activity, the biology of bees and their links to the territories, the complex interactions between truffles, their host trees and their companion plants, techniques for olive grafting onto oleasters that have been totally forgotten by science, and argan trees that have been domesticated and configured for millennia, and are now a key feature of the cosmetic industry. All the models described form part of a framework of biocultural and spatio-temporal interactions which it is now essential to understand. Above all, the situations described all bear within them key ideas for a more joined-up relationship between local knowledge and scientific knowledge.

Chapter 4

Risk prevention

Chapter coordinator

Eric Gaume

IFSTTAR, France

Abstract

The magnitude and occurrence of hydro-meteorological extremes around the Mediterranean are likely to be significantly affected by climate change, which also implies a number of related risks for our societies. Although projections of future trends remain uncertain, our societies must be prepared for these possible changes. This chapter discusses various adaptation measures to natural hazards and risks.

Significantly, the measures being considered are "non-structural": i.e. not based on civil engineering works such as dams, reservoirs or embankments. This corresponds to changes in risk prevention policies in the countries around the Mediterranean. Costly structural measures, designed to control or reduce natural hazards, have shown limited efficacy in the face of extreme events and equally limited resilience to climate change. Structural measures are no longer considered as the only or even the primary possible response to risks, but are being coupled with adaptation measures based on land-use planning and regulations or designed to increase response and crisis management capacities.

The first section of this chapter demonstrates how exposure to natural hazards has dramatically increased in most of the countries around the Mediterranean over the last century, due to significant population growth and the concentration of the inhabitants in urban areas. Socio-economic and demographic changes in the Mediterranean basin have proved far more influential in shaping the consequences of natural hazards than climate change over the last 50 years, and this will remain valid for the near future. Land use planning and regulations accounting for natural hazards are a matter of priority in order to limit the risks.

The next articles in this chapter present an overview of recent progress and future perspectives for weather and flood observation and forecasting methods. Better quality monitoring and forecasting, along with improved organization of population information and rescue services, also provide efficient adaptation measures. They will not help us escape unavoidable catastrophic events but may significantly limit their consequences.

Résumé

L'intensité et la fréquence des événements hydro-météorologiques extrêmes sont susceptibles d'évoluer notablement en région méditerranéenne du fait du changement climatique. Les projections climatiques concernant ces extrêmes restent certes incertaines, mais nos sociétés doivent se préparer à ces évolutions probables. Ce chapitre évoque des mesures d'adaptation aux risques naturels hydro-climatiques. Il est intéressant de noter que les mesures d'adaptation considérées sont des mesures « non structurelles » : i.e. elles ne sont pas fondées sur la construction d'ouvrages de génie civil, tels que les barrages et les digues. Cela correspond à l'évolution des politiques de prévention des risques naturels dans les pays bordant la Méditerranée. Les ouvrages de protection coûteux, dont le but est de contrôler ou de réduire le niveau de l'aléa naturel, ont une efficacité souvent limitée dans le cas d'événements exceptionnels et une faible résilience aux évolutions climatiques. La construction d'ouvrages de protection n'apparaît plus comme la principale, voire l'unique, réponse possible pour limiter les risques. Les politiques de prévention mettent désormais en avant des mesures d'adaptation fondées sur la maîtrise de l'occupation des sols et l'amélioration des capacités de gestion des crises et des catastrophes.

Le premier article de ce chapitre rappelle que le niveau d'exposition aux aléas naturels a considérablement augmenté en région méditerranéenne au cours du siècle dernier, du fait de la très forte croissance démographique et de la concentration des populations dans les villes. Au cours des cinquante dernières années, les évolutions socio-économiques et démographiques en Méditerranée ont bien plus fortement pesé sur l'augmentation des dommages liés aux risques naturels que les changements climatiques. Cela restera vrai dans un proche

avenir. La maîtrise de l'occupation des sols et de l'urbanisation est donc un élément essentiel des politiques de prévention des risques. Le reste du chapitre présente les progrès récents et les perspectives d'évolution des dispositifs d'observation et de prévision météorologiques et hydrologiques. L'amélioration des prévisions des sécheresses, des pluies et des crues, combinée à une meilleure organisation de l'information des populations et des services de secours, constitue un autre type de mesures d'adaptation et de prévention des risques. Ces mesures n'évitent pas la survenue de l'inévitable catastrophe, mais permettent d'en limiter notablement les conséquences.

Chapter 5

Land degradation and climate change

What challenges?

Chapter coordinator

Jean-Luc Chotte

IRD, UMR Eco&Sols, France

Abstract

This chapter sets out to present a short review of (i) the general context of land degradation under the framework of UNCCD – the international convention on desertification with a specific focus on Land Degradation Neutrality, and (ii) examples of the main processes responsible for soil degradation (e.g. surface crusting, runoff and water erosion, tillage erosion, wind erosion, and salinization), along with the principles of desertification control and land rehabilitation, in light of the socioeconomic context and ecological conditions and processes. It also focuses on two other key considerations for land restoration: the conservation/increase of soil carbon stocks (see Tunisian example), and the biological restoration of functioning soil through the management of mycorrhizal fungi.

Although there is plentiful scientific evidence for strategies to prevent land degradation and/or restore degraded land, new knowledge is needed to step up the fight against land degradation and allow Mediterranean ecosystems to deliver appropriate sustainable services. This chapter cites examples of these scientific gaps (e.g. sensitivity of soil organic matter to temperature increases, the dynamics of inorganic carbon and deep soil organic, and the most effective Plant-AM in ensuring the success of restoration programmes).

Résumé

L'objectif de ce chapitre est de présenter un bref aperçu i) du contexte général de dégradation des terres dans le cadre de la Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification avec un accent particulier sur la dégradation neutre des terres, et ii) quelques exemples des principaux processus responsables de la dégradation des sols (par exemple, l'encroûtement de surface, les eaux de ruissellement et de l'érosion de l'eau, l'érosion du travail du sol, l'érosion éolienne, salinisation), et les principes de lutte contre la désertification et la réhabilitation des terres, compte tenu des conditions et des processus écologiques, et le contexte socio-économique. De plus, ce chapitre met en lumière deux autres aspects pour la restauration des terres qui sont le maintien/l'augmentation des stocks de carbone du sol (voir l'exemple des stocks des sols en Tunisie) et la restauration biologique du fonctionnement des sols par la manipulation des champignons mycorhiziens.

Bien que les preuves scientifiques sont déjà disponibles pour aider les stratégies visant à prévenir la dégradation des terres et/ou à restaurer les terres dégradées, de nouvelles connaissances sont nécessaire pour intensifier les moyens de lutte contre la dégradation des terres et permettre aux écosystèmes méditerranéens de répondre aux enjeux de développant durable. Ce chapitre aborde quelques exemples de ces fronts de science (sensibilité des matières organiques des sols à l'augmentation de la température, dynamique du carbone inorganique, et du carbone stocké dans les horizons de profondeurs, choix des plantes et de leur hôte mycorhiziens adaptés aux conditions locales, valorisation des ressources végétales locales...).

Introduction: adaptation, resilience, conservation of resources and prevention

Under the framework of UNFCCC, the Paris agreement (December 2015), in place of the almost expired Kyoto Protocol, aims to limit the increase of the global temperature to below 2°C. Article 2.1 stresses the need "to strengthen the global response to the threat of climate change, in the context of sustainable development efforts to eradicate poverty", including actions aimed at "increasing the ability to adapt to adverse impacts of climate change and foster climate resilience and low greenhouse gas emission development, in a manner that does not threaten food production." The need to pursue mitigation and adaptation in tandem is therefore widely acknowledged.

Although humankind has always adapted to diverse weather and climate conditions using a wide range of practices (irrigation, water management, crop diversification, etc.), there is an urgent need to take action to consolidate and accelerate adaptation strategies, particularly in agriculture. This need is borne out by the following factors (Howden et al. 2007):

- A 0.1°C increase in world temperature during the past decade,
- More rapid than expected climate change because of increases in greenhouse gas (GHG)
- Lack of agreement for the reduction of GHG emissions.

Although adaptation has different meanings in ecology, climate policy and evolutionary biology (see Glossary IPPC, 2014), a broad definition would be "an adjustment to actual and expected climate conditions to reduce the risk and vulnerability of ecosystems and society and to seek opportunities to cope with climate change". Adaptation strategies must be formulated in response to well identified risks and vulnerabilities[1]. Two main categories of adaptation can be identified:

- Ecosystem-Based Adaptation (EBA) is the use of biodiversity and ecosystem services as part of an overall strategy to help people adapt to the adverse effects of climate change (SCBD, 2009),
- Community-Based Adaptation (CBD) refers to the participatory identification and implementation of community-based development activities that strengthen the capacity of local people to adapt to climate change (see in Archer et al. 2014).

Africa is the world's second most populous continent after Asia. Most African regions have faced an increase in extreme temperature (Seneviratne et al. 2012). Toward the end of the century, heat waves and extreme temperatures will increase whereas – except in East Africa – projected heavy precipitation will not increase. Observed and projected data lack sufficient scope.

Africa as a whole is the most vulnerable continent due to its high exposure and low adaptive capacity. Because of the lack of observations, the detection and attribution of observed climate change in Africa to anthropogenic emissions is not sufficiently clear-cut (Niang et al. 2014). This therefore reduces the effectiveness of any adaptive strategy, although action is urgently needed. Agriculture – the main economic domain in terms of employment – has witnessed stagnant yields relative to the population growth (FAO, 2002). Recent improvements (2000-2010) have not impacted significantly on the overall pattern, since they have been recorded from the lowest productive countries. Reliance on rainfed crop production (98% of the production relied on rainfed crops un SSA), high intra- and inter-seasonal climate variability, recurrent droughts or floods and persistent poverty limit the capacity to adapt. Africa's food production

1. « The propensity or predisposition to be adversely affected » (IPPC, 2014)

is therefore at risk. Simulations of main crop yields point to the consistently negative effect of climate change on major cereal crops in Africa. A study by Eid et al. (2007) stressed the high vulnerability of wheat production in North Africa. The temperature increases in West Africa are estimated to counteract the positive impact of rainfall increase (Sultan et al. 2013).

Climate uncertainties, lack of real-time and future climate projections, and complex interacting barriers at local, national and international levels need to be addressed to build long term and multi-scale adaptive plans for actions. The National Adaptation Plan for Action (NAPA) and the Comprehensive African Agriculture Development Program (CAADP) highlight the political will to enrich economic growth through agriculture. CAADP focuses on four pillars: land and water management, market access, food supply and hunger and agricultural research (NEPAD, 2010). For Africa, reduced crop productivity has been identified as one of nine key regional risks (Niang et al., 2014).

Research has demonstrated that no single adaptation can meet the needs of all communities in Africa. Moreover, adaptation and mitigation must be integrated in policy. For agriculture, sustainable land management techniques are particularly vital for Africa. This chapter explores the situation with a particular focus on soil functioning. It sets out to present a short review of (i) the general context of land degradation under the framework of UNCCD – the international convention on desertification with a specific focus on Land Degradation Neutrality, and (ii) examples of the main processes responsible for soil degradation (e.g. surface crusting, runoff and water erosion, tillage erosion, wind erosion, and salinization), along with the principles of desertification control and land rehabilitation, in light of the socioeconomic context and ecological conditions and processes. It also focuses on two other key considerations for land restoration: the conservation/increase of soil carbon stocks (see Tunisian example), and the biological restoration of functioning soil through the management of mycorrhizal fungi.

References

Archer E.R.M., Oettlé N.M., Louw R., Tadross M.A. 2008
Farming on the edge in arid western South Africa: climate change and agriculture in marginal environment. Geography, 93(2), 98-107.

Eid H.M., El-Marsafawy S.M., Ouda S.A. 2007
Assessing the Economic Impacts of Climate Change on Agriculture in Egypt: A Ricardian Approach. Policy Working Paper 4342, Development Research Group, Sustainable and Urban Development Team, The World Bank, Wahsington, DC, USA, 33pp.

Howden S.M., Soussana J-F., Tubiello F.N., Chletri N., Dunlop M., Meinke H. 2017
Adapting agriculture to climate change. PNAS 104, 19691-19696.

NEPAD, 2010
The Comprehensive Africa Agriculture Development Programme (CAADP) in Pratice; Highlighting the Success. Commissioned by the The NEPAD Planning and Coordinating Agency (NEPAD-Agency) and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH and implemented through the Overseas Development Institute (ODI), NEPAD Agency, Addis Ababa, Ethiopia, 39pp.

Niang I., Ruppel O.C., Abdrado M.A., Essel A., Lennard C., Padgham J., Urquhart P., 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 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. MacCraken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.)]* Cambridge University Press, Cambrigde, UK and New York, NY USA, pp 1199-1265.

SCBD (Secretary of the Convention on Biological Diversity), 2009
Connecting Biodoversity and Climate Change: Repport of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change. CBD, UNEP, Montreal, Canada.

Seneviratne S.I., Nicholls N., Easterling D., Goodess C.M., Kanae S., Kossin J., Luo Y., Marengo J., McInnes K., Rahimi M., Reichstein M., Sorteberg A., Vera C., Zhang X. 2012
Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment In : *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panell on Climate Change* [Field, C.B., Barros, T.F. Stocker, D. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambrigde, UK and New York, NY USA, pp 109-230.

Sultan B., Roudier P., Quirion P., Alhassane A., Muller B., Dingkuhn M., Ciais P., Guimberteau M., Traore S., Baron C. 2013
Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanien and Sahelian savannas of West Africa. Environmental Research Letters, 8(1), 14-40

Chapter 6

Adapting to global change in the Mediterranean Sea*

Chapter coordinator

Denis Lacroix
IFREMER, France

Abstract

The Mediterranean is one of the world's most remarkable regional seas, with a high level of activity in several sectors: fishing, mining, industry, town expansion, trade and tourism. However, the opportunities are currently outweighed by the threats, particularly in terms of marine and coastal resources. Nevertheless, the increasing knowledge and awareness amid the region's societies and States of the risk of negative impacts related to unpredictable changes lie behind an ever greater determination to understand the various phenomena involved and to make choices conducive to more positive change. Moreover, Mediterranean ecosystems seem to provide increasing opportunities for various forms of "Blue Growth" – as long as resources are considered as a legacy rather than a mine to be endlessly exploited: the management of resource flows should gradually take precedence over the exploitation of stocks. But for this to become a reality, comprehensive and relevant data sets, methods and objectives are needed in all disciplines, from physics to governance. Meanwhile, the social aspects of the issue are emerging in a variety of ways, via new demands from a public that is increasingly aware of food security, health, sustainability and ethics. There is therefore an urgent need for greater cooperation among all actors, coupled with an ability to outline the long-term

* Adapted from the final report of the workshop dedicated to the future of the Mediterranean Sea facing global change (ARP MERMED), *Adapting to Global Change in the Mediterranean Sea*, Agropolis International, 2016, https://www.agropolis.fr/pdf/gestion-projets/mermed-rapport-final-septembre-2014.pdf
ARP MERMED has been supported by the French National Research Agency.

choices in a context of uncertainty and increasing risk. In marine sciences – including social studies, research must draw on shared and open methods to (i) help facilitate the debates between all stakeholders; (ii) contribute to the collective selection of measures that will not later be regretted and (iii) promote a sense of ownership among all parties of the actions necessary in the Mediterranean. As with the climate change issues, research in the Mediterranean must contribute to avoiding the unbearable while managing the inevitable, at least as far as possible within this iconic maritime region.

Résumé

De toutes les mers régionales du globe, la mer Méditerranée est l'une des plus singulières. Elle concentre une intense activité extractive, industrielle, commerciale, urbaine et touristique, ce qui représente plus de menaces que d'opportunités, notamment pour ce qui concerne les ressources marines et côtières. Mais le progrès des connaissances sur cet espace et la prise de conscience par les sociétés et les Etats riverains des risques de changements non maîtrisés à forts impacts négatifs conduisent à une volonté croissante de compréhension des phénomènes en cours et de choix raisonnés de meilleurs scénarios d'évolution. De plus, ces espaces apparaissent de plus en plus comme des chances de croissance dite « bleue » mais sous réserve d'une approche plus patrimoniale que minière de valorisation des ressources. Désormais, la gestion des flux devrait prendre peu à peu le pas sur l'exploitation des stocks sous réserve de disposer d'ensembles structurés de données, de méthodes et d'objectifs dans tous les compartiments de ce vaste écosystème, de la physique à la gouvernance. Enfin, les dimensions sociétales émergent de manière multiforme via des demandes nouvelles d'un public mieux informé et soucieux de sécurité alimentaire, de santé, de sûreté, de durabilité et d'éthique. Dans ce contexte s'impose peu à peu le besoin récurent d'une concertation de tous les acteurs et d'une capacité d'éclairer les choix de long terme dans un contexte d'incertitudes et de risques accrus. Dans tous les domaines des sciences marines, dont les sciences sociales, la recherche, par l'usage de méthodes partagées et transparentes, peut et doit contribuer (i) à faciliter les débats entre porteurs d'enjeux, (ii) à la sélection collective des mesures inévitables à court comme à long terme, et enfin (iii) à l'appropriation par toutes les parties des actions nécessaires à mener en Méditerranée. A l'instar du changement climatique, il s'agit bien pour la recherche en Méditerranée de contribuer à éviter l'ingérable et de gérer l'inévitable au moins aux dimensions de cette mer régionale emblématique.

Conclusion

The Mediterranean Basin, climate change and our common future Engaging future research efforts to support policy

Joël Guiot
CNRS, France

Wolfgang Cramer
CNRS, France

Taken together, the chapters of this book constitute a rich fount of knowledge, drawing on the work of a large number of experts on climate change and its impacts in the Mediterranean basin. The observations and analyses contained in these pages prove once again that this region is a genuine hive of diversity, both in terms of its natural environment and the living conditions of the societies that surround it. It is therefore no surprise that the adaptive capacities and ability to mitigate climate change are also highly variable both between and within countries. Yet the Mediterranean countries are strongly linked by a common sea, which has always favored the exchanges of people and ideas, so the slogan 'our common future under climatic change' rings particularly true.

Over several millennia, human societies and their natural environment have co-evolved in the Mediterranean Basin. Paleoclimatological studies demonstrate that the Holocene witnessed regular abrupt climatic changes leading to important droughts, which probably played a significant role in the cultural evolution of Mediterranean societies. Even if the last millennium started with a warm period (Medieval Climate Anomaly) considered relatively similar to the recent warming, the megadroughts of the past decades are probably without precedent. Recent

warming has proceeded faster than global averages, especially for summer temperatures. There is also a general increase in extreme conditions for temperature and precipitation and these trends will likely accelerate in the future. But the detailed spatial distribution of these changes remains uncertain. The warming of the Mediterranean Sea is well documented but the future of its circulation patterns is still a matter for debate.

Direct risks to people and infrastructure in the Mediterranean are linked to the water cycle and notably to hydrometeorological extremes, such as heavy rainfall leading to flash floods, but also the large swells and storm surges. Heat waves and droughts reduce crop productivity in some years and also enhance the risk of forest fire. By their nature, these extremes are difficult to study with respect to temporal trends, but knowledge has advanced substantially in recent years thanks to the development of databases and dedicated research programs.

Climate change interacts with air and water pollution and other human pressures (urbanization, agricultural intensification, expanding industry and transportation). Throughout the Mediterranean Basin, air quality continues to deteriorate. The detrimental effects of air pollution on human health are known, but better observations are needed in many regions. Although Mediterranean countries have always been highly exposed to dust storms and wildfires, their specific effects have been insufficiently studied.

The Mediterranean Sea is a major reservoir of marine biodiversity. Millions of people directly or indirectly depend on the ecosystem services it provides, in particular the provisioning of fisheries resources. Although uncertainties remain with regard to the magnitude of expected ecological changes, projections based on IPCC scenarios all confirm that climate change, through warming and acidification, is a serious threat for the biodiversity and sustainable exploitation of fishing resources in the Mediterranean Sea. The terrestrial biodiversity is also exceptional, especially in the forests, on the numerous islands and along the entire coastal zone. Risks to the functioning of these ecosystems originate do not from climate change alone but also from the destruction and unsustainable use of the landscape.

Along the coasts, the major challenge is related to sea level rise and the induced risks related to flooding and shoreline retreat, which increase substantially above 2°C warming. Many human, cultural, industrial and environmental assets are concentrated near the coasts. A comprehensive risk study has shown that the most vulnerable shores are in the poorest and less developed countries, which depend on significant economic and technological transfer from the most developed regions.

Freshwater resources are naturally sparse in much of the region. While warming, increased evaporation and decreased precipitation create additional shortages, stability of soils may also be affected by erosion due to increased flash floods. The problems are linked and intensified by unsustainable groundwater extraction and the intensification of agriculture. The highly variable climate of the Mediterranean region has enabled the development of a rich range of agricultural

practices. This diversity might, if conserved, provide solutions for adaptation in the future. The Mediterranean diet is famous for its nutritional value and health advantages. Projections reveal important risks for food production in parts of the basin. Despite the fact that agriculture originated in the Fertile Crescent, modern farmers are not necessarily able to sustain long and intense droughts, especially if social and economic conditions cause additional stress, as illustrated by the 1998-2010 drought in Syria. It is currently unclear to which degree Mediterranean soils can be managed more sustainably in order to revert decades of degradation. However such strategies would not only enhance food security but also mitigate carbon losses.

Few quantitative research studies have explored the health impacts of climate change in the Mediterranean, and where available, they have been geographically limited to some specific areas within the basin. The connection between warming, new vectors, air pollution and other factors requires a new strongly interdisciplinary approach that integrates medicine, toxicology, natural and social science and engineering.

Given the multiple existing natural hazards, some of which may be enhanced by climate change, risk prevention is an acute issue throughout the region. Important progress has been made in weather and flood observation and forecasting methods. Improved communication of the population and rescue services is important for efficient adaptation measures. While catastrophic events cannot be fully avoided, improved warning systems can significantly limit their consequences.

The Mediterranean is a border and a crossing point between several highly contrasting regions in both economic and social terms – a situation which currently induces a migration influx from south to north, associated with immense human suffering and the loss of many lives. Among the multiple social and economic driving forces for this migration, climate change also plays a role that researchers are only beginning to understand.

Most contributions to this book illustrate clearly that climate change cannot be understood without deeper consideration of the human-environment co-evolution. This is true in most parts of the world but it appears that in the Mediterranean region, the problem of interdisciplinary assessment of change must reach a higher level of complexity, due to the age and intensity of the human imprint. There are indications that, given the multiple changes and large disparities, it may not have been fully realized how important the social issue of climate change is for future generations in the Mediterranean region. Climatic change affects not only nature, but also the entire economic, political and social fabric of Mediterranean society.

Action to reduce greenhouse gas emissions and enhance adaptive capacity will have to be borne by all countries and all social actors in them, in close international cooperation. Despite a great wealth of knowledge and observations, notably in the north, there is currently no state-of-the-art assessment of basin-wide risks and adaptive potential. Such an assessment would include the

outcomes of regionalized modelling activities of emissions, climate and impacts, but it should also consider local knowledge and specific experience with adaptation to climate variability in the region. Most importantly, it would have to be built on a comprehensive north-south and east-west partnership in the Mediterranean basin.

Such a bridge between scientists and society is the aim of the Mediterranean group of Experts on Climatic change (MedECC) which aims:

1) To bring together the scientific community working on climate change in the whole Mediterranean basin. This includes building a bridge between existing research structures and programs and facilitating data-sharing through existing or new fora and platforms.

2) To update and consolidate the best scientific knowledge about climate and environmental changes in the Mediterranean basin and render it accessible to policy-makers, key stakeholders and citizens.

3) To contribute to future assessments of international bodies (IPCC, IPBES and others) in the Mediterranean basin.

4) To bridge the gap between research and decision-making, contributing to the improvement of policies at national, regional, and local level by providing consolidated scientific assessments on particular issues and by responding to requests by decision-makers.

5) To identify possible gaps in the current research on climate change and its impacts in the Mediterranean and interact with funding agencies for the development of new research programs to fill these gaps.

6) To help build the capacity of scientists from all Mediterranean Countries, encouraging training, research and development through collaboration.

As a regional network, MedECC expects to have enhanced abilities to produce comprehensive "state of the art" reports about climate and environmental change for the entire Mediterranean basin, which also include local knowledge from different languages and "grey literature". Based on such assessments, national and international research efforts, such as the French MISTRALS program which has inspired a part of the work reported in this book, will hopefully enhance integrated research on environmental changes in the Mediterranean Basin.

Conclusion

Le bassin méditerranéen, le changement climatique et notre avenir commun Lancer de nouvelles initiatives de recherche pour guider les décisions politiques futures

Joël GUIOT
CNRS, France

Wolfgang CRAMER
CNRS, France

Au fil des chapitres, cet ouvrage apparaît comme une véritable somme de savoirs combinant les travaux de nombreux spécialistes du changement climatique et de ses impacts sur le bassin méditerranéen. Les observations et les analyses présentées confirment que cette région est un véritable creuset de diversité, tant du point de vue des environnements naturels que des conditions de vie des sociétés. Ainsi, il n'est pas surprenant que les impacts du changement climatique varient fortement d'un pays à l'autre, mais il en va de même des capacités d'adaptation et des possibilités d'atténuation face au changement. Les pays de la Méditerranée sont fortement liés par une mer commune qui a de tout temps favorisé la mobilité des hommes et la circulation des idées. L'expression « notre futur commun face au changement climatique » y prend une valeur toute particulière.

Depuis des millénaires, les sociétés humaines et leur environnement naturel ont évolué de concert dans le bassin méditerranéen. Les études paléoclimatologiques démontrent que l'Holocène a été rythmé par de brusques changements climatiques à l'origine de sécheresses importantes, qui ont probablement joué un rôle décisif dans l'évolution culturelle des sociétés méditerranéennes. Bien

que le début du dernier millénaire ait été marqué par une période chaude (optimum climatique médiéval) jugée assez semblable au réchauffement récent, les « mégasécheresses » des dernières décennies sont vraisemblablement sans précédent. La vitesse du réchauffement que connaît le bassin est désormais supérieure aux moyennes mondiales, en particulier en ce qui concerne les températures estivales. On observe en outre un accroissement général des épisodes de températures et de précipitations extrêmes, une tendance qui devrait s'accélérer à l'avenir. La distribution spatiale exacte de ces changements reste toutefois incertaine. Le réchauffement de la Méditerranée est largement documenté, mais l'évolution future des schémas de circulation est encore débattue.

Les risques directs pour les personnes et les infrastructures de la Méditerranée sont liés au cycle de l'eau et tout particulièrement aux extrêmes hydrométéorologiques, comme les fortes pluies provoquant des crues éclair, mais également aux fortes houles et aux marées de tempêtes causées par les vents violents. Certaines années, les vagues de chaleur et les sécheresses réduisent les rendements agricoles et accroissent le risque de feux de forêt. Par leur nature même, ces extrêmes sont difficiles à confronter aux tendances temporelles, mais la création de bases de données et de programmes de recherche spécifiques a fait progresser nos connaissances de manière substantielle au cours de ces dernières années.

Le changement climatique interagit avec la pollution de l'air et de l'eau et les autres pressions d'origine anthropique (urbanisation, intensification de l'agriculture, expansion de l'industrie et des transports). La qualité de l'air continue de se détériorer dans l'ensemble du bassin méditerranéen. Les effets délétères de la pollution atmosphérique sur la santé humaine sont connus, mais des observations de meilleure qualité s'imposent dans de nombreuses régions. Bien que les pays méditerranéens soient aujourd'hui fortement exposés aux tempêtes de poussière et aux incendies, leurs effets exacts sont insuffisamment étudiés.

La mer Méditerranée est un réservoir primordial de biodiversité marine. Des millions de personnes dépendent de façon plus ou moins directe des services écosystémiques qu'elle fournit, et notamment de ses ressources halieutiques. L'ampleur des bouleversements écologiques attendus est encore incertaine. Toutes les projections basées sur les scénarios du GIEC confirment cependant que le réchauffement et l'acidification associés au changement climatique constituent une menace grave pour la biodiversité et l'exploitation durable des ressources de pêche dans la mer Méditerranée. La biodiversité terrestre est elle aussi exceptionnelle, spécialement dans les forêts, dans les nombreuses îles et sur l'ensemble du littoral. Les risques qui pèsent sur le fonctionnement de ces écosystèmes dérivent non seulement du changement climatique, mais également de la destruction et de l'utilisation non durable du paysage.

Le long des côtes, le principal défi est celui de la montée du niveau de la mer et des risques induits liés aux inondations et au retrait du rivage, qui devraient

s'accentuer fortement au-dessus du seuil de 2 °C de réchauffement. De nombreuses ressources humaines, culturelles, industrielles et environnementales se concentrent à proximité des côtes. Une étude exhaustive des risques a montré que les rivages les plus vulnérables se trouvent dans les pays les plus pauvres et les moins développés. Ces pays ont besoin d'un important transfert de moyens économiques et technologiques en provenance des régions plus avancées.

Les ressources d'eau douce sont naturellement clairsemées dans une bonne partie de la région. Si le réchauffement, l'intensification de l'évaporation et la réduction des précipitations créent des pénuries d'eau supplémentaires, la multiplication des crues éclair peut d'un autre côté éroder et menacer la stabilité des sols. L'extraction non durable d'eaux souterraines et l'intensification de l'agriculture ont elles aussi un lien avec les problèmes observés, qu'elles contribuent à aggraver. Le climat extrêmement variable de la région méditerranéenne a donné naissance à un vaste éventail de pratiques agricoles. Si elle est préservée, cette diversité pourrait à l'avenir fournir des solutions d'adaptation. Le régime méditerranéen est célèbre pour sa valeur nutritionnelle et ses bienfaits sur la santé. Les projections révèlent des risques considérables pour la production alimentaire dans certaines zones du bassin. Bien que le Croissant fertile soit le berceau de l'agriculture, les agriculteurs ne sont pas nécessairement capables de surmonter les sécheresses longues et intenses, en particulier lorsque les conditions sociales et économiques génèrent un stress additionnel, à l'image de la sécheresse de 1998-2010 en Syrie. À l'heure actuelle, on ne sait pas avec certitude dans quelle mesure les sols méditerranéens pourront être gérés de façon plus durable dans l'espoir d'inverser des décennies de dégradation. En plus d'améliorer la sécurité alimentaire, de telles stratégies atténueraient pourtant les pertes de carbone.

Rares sont les études quantitatives à avoir examiné les impacts du changement climatique sur la santé en Méditerranée ; celles disponibles se limitent à certaines régions géographiques circonscrites du bassin. L'élucidation du lien entre le réchauffement, les nouveaux vecteurs, la pollution atmosphérique et d'autres facteurs exige une nouvelle approche résolument interdisciplinaire intégrant la médecine, la toxicologie, les sciences naturelles et sociales et l'ingénierie.

Étant donné la multiplicité des dangers naturels existants, dont certains peuvent être accentués par le changement climatique, la prévention des risques constitue une préoccupation majeure dans toute la région. D'importants progrès ont été réalisés dans les domaines de l'observation des conditions météorologiques et des inondations et des méthodes de prévision. Une meilleure communication avec la population et les services de secours est importante pour concevoir des mesures d'adaptation efficaces. Les événements catastrophiques ne peuvent être totalement évités, mais l'amélioration des systèmes d'alerte peut en limiter notablement les conséquences.

La Méditerranée est une frontière et un lieu de passage entre plusieurs régions très contrastées sur le plan tant économique que social. Cette particularité en fait aujourd'hui le théâtre d'un flux migratoire du sud vers le nord, avec les

immenses souffrances humaines et la perte de vies humaines que cela suppose. Cette migration est le résultat de multiples facteurs sociaux et économiques, mais également du changement climatique, dont le rôle n'est encore compris que très imparfaitement par les chercheurs.

La plupart des contributions à cet ouvrage indiquent clairement que le changement climatique ne peut être compris sans une prise en compte plus approfondie de l'évolution parallèle de l'homme et de son environnement. Ce constat est valable dans la majorité des régions du globe, mais il apparaît que l'évaluation interdisciplinaire du changement doit atteindre un niveau de complexité supérieur en Méditerranée, en raison de l'ancienneté et de l'intensité de l'influence humaine. Il semblerait que les nombreuses mutations et les grandes disparités de la Méditerranée n'aient pas permis de mesurer pleinement l'importance des répercussions sociales du changement climatique pour les générations futures de la région. Loin de n'influencer que la nature, le changement climatique touche également l'ensemble du tissu économique, politique et social de la société méditerranéenne.

La responsabilité de la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de l'optimisation de la capacité d'adaptation devra être assumée par tous les pays et tous leurs acteurs sociaux, dans le cadre d'une collaboration internationale étroite. Malgré l'abondance des connaissances et des observations, spécialement dans le Nord, aucune évaluation de pointe des risques et du potentiel d'adaptation à l'échelle de l'ensemble du bassin n'est disponible à l'heure actuelle. Une telle évaluation devrait inclure les résultats d'activités de modélisation régionalisées des émissions, du climat et des impacts, mais également considérer le savoir local et les expériences spécifiques dans le domaine de l'adaptation à la variabilité climatique de la région. Plus important encore, elle devrait prendre appui sur un partenariat Nord-Sud et Est-Ouest approfondi dans le bassin méditerranéen.

La création d'un tel pont entre les chercheurs et la société est l'objectif du MedECC (Mediterranean group of Experts of Climatic change), qui vise à :

1) Rassembler la communauté scientifique étudiant le changement climatique dans tout le bassin méditerranéen. Ceci suppose de jeter un pont entre les structures et programmes de recherche existants et de faciliter le partage de données sur les plateformes et forums actuels ou futurs.

2) Actualiser et regrouper les meilleures connaissances scientifiques sur les changements subis par le climat et l'environnement dans le bassin méditerranéen et les mettre à la disposition des décideurs, des principales parties prenantes et des citoyens.

3) Contribuer aux évaluations futures d'organismes internationaux (GIEC et IPBES, entre autres) dans le bassin méditerranéen.

4) Combler le fossé séparant la recherche de la prise de décision, de façon à contribuer à l'amélioration des politiques à l'échelle nationale, régionale et locale, en fournissant des évaluations scientifiques collectives sur des questions précises et en répondant aux demandes des décideurs.

5) Identifier d'éventuelles lacunes dans la recherche actuelle sur le changement climatique et ses impacts en Méditerranée et collaborer avec des organismes de financement afin de concevoir de nouveaux programmes de recherche comblant lesdites lacunes.

6) Contribuer au renforcement des capacités des scientifiques de tous les pays méditerranéens, en encourageant la formation, la recherche et le développement à travers la collaboration.

En tant que réseau régional, le MedECC pense être bien placé pour produire des rapports exhaustifs de la plus haute qualité sur le changement climatique et environnemental pour l'ensemble du bassin méditerranéen, en prenant également en compte les connaissances locales en différentes langues et la « littérature grise ». Grâce à des évaluations de ce type, nous espérons que des initiatives de recherche nationales et internationales telles que le programme français MISTRALS, qui a inspiré une partie du travail présenté dans le présent ouvrage, bénéficieront à la recherche intégrée sur les changements environnementaux dans le bassin méditerranéen.

Postface

From Paris to Marrakesh
Rediscovering universalism

Driss El Yazami
President of CNDH (National Human Rights Council of Morocco)
Head of the Civil Society Activities of the 22nd Conference of Parties
of the United Nations Framework Convention on Climate Change

The Paris agreement, adopted to great acclaim, marks a clear turning point in the long battle against the effects of climate change. No matter what reservations some people may voice, the international community has finally witnessed the acceptance of a multilateral framework accepted by countries with clearly divergent medium-term interests. It sets forth goals, including financial goals, but those objectives still need to be further defined, and steps for evaluation and revision still must be mapped out. It is clear that nothing can be taken for granted. The process of signing the agreement will be revealing in that regard. Nonetheless, the legal framework developed in Paris seems to have created real momentum.

Even more significant, in my opinion, are the signs of universal mobilization seen before, during, and after the Paris Summit.

For years, the battle for a transition to renewable energy has mainly been led by scientists, environmentalist non-governmental organizations, and a few international political figures, but today it seems to have gained new allies, and the expansion of the movement seems indisputable. Alongside these historically involved 'experts', new actors have signed up to the cause or have become more actively engaged in innovation, including development NGOs, businesses, regional and local governments, movements associated with various social forums, and others. Their growing involvement, though it can sometimes be hard to define, bears witness to the universal realization of the dangers climate

change poses to the entire human race and of the true urgency with which an alternative policy must be adopted, one that is common to all parties (countries, social and economic actors, etc.), and that, while respecting the diversity of those parties, is still a product of their combined efforts and ideas.

I see this as highly promising news.

This interest in climate issues and the belief that everyone must respond in tandem are developing in a world which seems, almost everywhere, to have turned its back on universalism. In all parts of the world, those who subscribe to ideas of cultural, religious, or national 'specificity' seem to be riding high. No matter the particularities of a country's national history, 'the ancestors redouble their ferocity' (Kateb Yacine) and an emphasis is being placed on 'roots' — to the detriment of the universal values of human rights and the human rights movement, active notably since the end of World War II. The globalization of human rights seemed irreversible, but it is being attacked and undermined from all sides. Populist parties in Europe are calling for national bias and close-mindedness towards others. In the Muslim world, but in the Americas and India as well, religious references are being exploited. Devotees of ethnic 'purity' are everywhere. Mythical origins are being glorified, in opposition to the need for human brotherhood and the imperative of a universal solidarity that extends to the most vulnerable peoples and individuals.

It is against this backdrop that mobilization on climate change and the growing interest in environmental problems areextremely timely.

Of course, this mobilization is not the first of its kind. Major international movements rallying crowds across the world around a single cause have already occurred, and some remain active today. Internationalism was not born of the climate movement momentum. However, in this particular historic moment, it is the cause itself behind this mobilization that seems both new and promising.

All life on Earth is threatened, and to save it, countries, political regimes, and all other actors alike must respond together. Not a single part of the world can still be solely self-sufficient and avoid disaster. Even though historic responsibilities and the effects to come are unequally distributed, we must respond together. The climate emergency requires us, in a way, to 'remake humanity',

Of course, overcoming this challenge requires us to raise public awareness, negotiate agreements (like the one in Paris), define the ways and means of implementation, and finally, mobilize all actors, in all their diversity. However, to do so we especially need a shared foundation of values which transcend national self-interest and any temptation to retreat. As we face different forms of relativism, we must identify the 'inviolable foundation of rights' (Mireille Delmas-Marty) that will provide a universal basis for the current climate movements and, at the same time, create an unprecedented space for action in favour of universalism and human rights.

Postface

De Paris à Marrakech
Retrouver l'universalisme

Driss El Yazami
Président du Comité national des droits de l'Homme (Maroc)
Chef du pôle de la société civile de la XXIIe Conférence des Parties
de la Convention Cadre des Nations unies sur les changements climatiques

Adopté sous les ovations, l'accord de Paris constitue d'évidence un tournant dans la longue bataille contre les effets des changements climatiques. En effet, quelles que soient les réserves exprimées par certains, la communauté internationale dispose enfin d'un cadre multilatéral accepté par des États aux intérêts clairement divergents sur le moyen terme, avec des objectifs y compris financiers, même s'il reste à leur donner un contenu précis et à tracer les étapes d'évaluation et de révision. Rien n'est évidemment définitivement acquis. Le processus de signatures de l'accord sera à cet égard révélateur. Néanmoins, avec le cadre légal acquis à Paris, une réelle dynamique semble avoir été enclenchée.

Plus significative à mes yeux est l'esquisse d'une mobilisation universelle que nous avons perçue avant, durant et après le Sommet de Paris.

Porté depuis des années, principalement par des scientifiques, les organisations non gouvernementales environnementalistes et quelques figures politiques internationales, le combat pour une réelle transition énergétique semble avoir gagné de nouveaux alliés et ce mouvement semble incontestablement s'étendre. Aux côtés des « experts » historiques, de nouveaux acteurs sont en effet entrés en résistance ou sont de plus en plus actifs dans l'innovation, tels les ONG de développement, les entreprises, les collectivités territoriales, les mouvements impliqués dans les divers forums sociaux, etc. Leur implication croissante, bien que parfois difficile à articuler, témoigne d'une prise de conscience universelle des dangers pour l'humanité tout entière des changements climatiques et de

l'absolue urgence d'adopter une véritable politique alternative, commune à tous (États, acteurs sociaux, économiques, etc.), respectueuse de leur diversité, mais agrégeant au final tous leurs efforts et réflexions.

C'est à mes yeux une très bonne nouvelle, riche de promesses.

Cet intérêt croissant pour la problématique du climat et la conviction de la nécessité d'une réaction commune à tous les hommes intervient en effet dans un monde qui semble, un peu partout, tourner le dos à l'universalisme. Dans toutes les régions du monde, les tenants de « la spécificité » culturelle, religieuse ou nationale semblent avoir le vent en poupe. Quelle que soit la particularité de l'histoire nationale des pays, « les ancêtres redoublent de férocité » (Kateb Yacine) et « les racines » sont mises en avant au détriment des valeurs universelles des droits de l'Homme et du mouvement qui les porte depuis, notamment, la fin de la Seconde Guerre mondiale. Alors qu'elle semblait irréversible, la mondialisation des droits de l'Homme est taraudée et minée de toute part. Partis populistes en Europe exigeant la préférence nationale et la fermeture face à l'autre, instrumentalisation du référent religieux dans le monde musulman mais aussi dans les Amériques et en Inde, tenants de « la pureté » ethnique un peu partout… l'origine mythifiée est glorifiée contre la nécessaire fraternité humaine et l'exigence d'une solidarité universelle, ouverte aux plus faibles d'entre les peuples et les individus.

C'est à cet égard que la mobilisation contre les changements climatiques et l'intérêt croissant pour les enjeux environnementaux sont plus que bienvenus.

Cette mobilisation n'est évidemment pas la première du genre. De grands mouvements internationaux rassemblant les foules en différents points du globe autour d'une cause unique ont déjà eu lieu ou sont encore actifs aujourd'hui. L'internationalisme n'est pas né avec cet élan sur le climat. Mais, dans ce moment historique particulier, c'est l'objet même de cette mobilisation qui semble à la fois inédit et prometteur.

C'est en effet l'ensemble de la vie sur Terre qui est menacé et le salut exige une réaction commune de chacun, pays, régimes politiques, tous types d'acteurs confondus. Aucune partie du monde ne peut plus se suffire à elle-même pour éviter la catastrophe. Même si les responsabilités historiques et les effets à venir sont inégalement répartis, c'est bien ensemble que nous nous devons de réagir. L'urgence climatique exige de nous en quelque sorte de « refaire humanité ».

Surmonter ce défi suppose bien évidemment d'amplifier la prise de conscience populaire, de négocier des accords (tel celui de Paris), d'en définir les modalités de mise en œuvre et, enfin, de mobiliser les acteurs dans leur diversité. Mais cela exige aussi et surtout un socle de valeurs communes, qui transcende les égoïsmes nationaux et les tentations de repli de toutes sortes. Face aux différentes formes de relativisme, il nous faut retrouver ce « socle indérogeable de droits » (Mireille Delmas-Marty), qui fournirait aux mobilisations en cours sur le climat un fondement universel et ouvrant, en même temps, un espace inédit d'action pour l'universalisme des droits de l'Homme.

Address by HSH the Prince Albert II of Monaco

International Conference "Savoirs en action pour un codéveloppement en Méditerranée", organized for the 350th anniversary of the Académie des sciences

MuCEM, Marseille
29 September 2016

Mr Minister,

Mr Prefect,

Madam Permanent Secretary,

Your Excellencies,

Assembled Presidents,

Mr Rector,

Ladies and Gentlemen,

Dear Friends,

Allow me first of all extend my warm thanks to all those who have helped organise this major event and congratulate them on their choice of subjects to be addressed throughout the day.

It is a matter of great satisfaction for me to be here with you to celebrate the 350th anniversary of the Académie des Sciences, which promotes and protects the spirit of research, and has contributed towards scientific progress and its applications since 1666.

As a great fan of the sciences, like Colbert – the founder of your Académie – I was delighted to accept this invitation to map out a few avenues for reflection concerning the theme of the 'challenges facing the Mediterranean coast' – a topic which you will shortly address in your round table.

As a unique forum where people, cultures and religions come face to face, the Mediterranean has always been a place of exchanges which have given rise to whole civilizations.

In addition to being a cradle for these civilizations, the Mediterranean region also now at the centre of an unprecedented set of political, demographic and economic issues.

As the crossroads between three continents and a meeting place of three civilizations, the Mediterranean remains a forum for encounters, but is also prone to political, economic, environmental and cultural tensions. With this in mind, we can be justly proud of having launched so many initiatives in favour of cooperation and partnership, in order to strengthen those exchanges and, breathe new life back into the region's economies, despite the inequalities and imbalances among the region's various countries.

With a surface area of 2.5 million km², the Mediterranean represents 0.7% of the world's seas. Its coastlines extend over 46,000 km, in 22 countries with over 400 million inhabitants.

From a planetary perspective, this is a modestly-sized region, almost entirely enclosed and a major reservoir of biodiversity – it is home to over 25,000 plant species and 650 marine fish species, including 28% found exclusively here.

As a semi-enclosed sea, the Mediterranean is fragile and highly exposed to the effects of climate change and pollution.

This maritime region faces many constraints – be they ecological, anthropogenic, maritime, demographic or economic.

As the location of 30% of the world's maritime trade, including 22% of its oil trade, the Mediterranean is an extremely busy sea trading region, not to mention the leisure boating sector which has grown exponentially in recent years.

The Mediterranean coastlines have also seen significant growth in terms of population density: over 150 million inhabitants – almost a third of the population of the coastal countries. This figure has virtually doubled in the last 40 years and some of the coastal areas have witnessed rampant urbanization. We know that by 2025, half the Mediterranean coastline will consist of built-up areas.

While the Mediterranean can be justly proud of being the world's first tourist region, it must nevertheless cope with an influx of some 200 million tourists per year who come to enjoy their holidays on its coasts. And this figure looks set to grow still further by 2025, half most visitors staying within an area less than 100 metres from the coastline.

How can this influx be managed and the seasonal tourist economy structured, given that we are already witnessing significant increases in summer pollution of the seawater?

The number of inhabitants living on the coastline and the increase in summer populations only serve exacerbate the pollution from the land where in some countries – for example the Middle East and North Africa – there is a lack of drinking water, often brought about by the discharge of waste or used water.

Needs are outstripping infrastructural development on the coastline, particularly in terms of water treatment.

And so we are witnessing increasing pressure on our water supply, brought about by growing demand. All of which is being exacerbated by climate change.

Aquaculture is another source of pollution. With 110 kg of nitrogen, 12 kg of phosphorus and 450 kg of carbon emitted per tonne produced by fish farms, this represents a considerable challenge to be addressed as we seek out food security solutions.

In all these cases, wastewater, whether from cities, agriculture or rain, transports significant amounts of non-biodegradable solid and chemical waste. This waste spreads with the currents and winds, and constitutes a threat to marine fauna and flora.

And yet it is on the coast that marine biodiversity needs to be regenerated.

We can all agree that the scenario I have painted is not a happy one. But underestimating it is no longer an option.

We have entered an era in which most significant environmental change is brought about by men and women. Humanity has become a force for change on a planet-wide scale.

In the phrase coined by Dutch Nobel laureate Paul Crutzen, we are now living in the 'Anthropocene', meaning that in just a few generations, the influence of anthropogenic actions on the earth's ecosystem has become the major factor.

The scientific studies being conducted today are beyond dispute: we simply must face up to our responsibilites.

Saving the planet – which was still seen as a minority-interest subject for the more daring spirits in Rio in 1992 – has become one of the key issues of the century. The climate question is an extremely potent symbol of the global threats which we must now manage and mitigate.

Beyond the question of the climate, other crucial topics are now beginning to attract the attention they deserve : in particular the questions of biodiversity, pollution and preserving water resources. Little by little, humanity is beginning to understand that these are matters of life and death.

They touch on the way we live and eat, but also on our health, security and – on a more general level – on economic and strategic balance throughout the world, and particularly here on the shores of the Mediterranean.

A few degrees more, a few species less, a couple of extra square kilometres in the desert – these are irreversible dramas, each of which will bring yet more tragedies and tales of exile, poverty and violence in their wake.

As we look into these climate and environmental issues, we are at last beginning to understand the central role of the seas and oceans. These vast stretches which for so long seemed incomprehensible, hostile, and devoid of interest other than for fishing are now – so science shows us – areas of great complexity, fragility and profound significance.

The international scene is now bearing witness to this new awareness. Major international gatherings are focusing on the issue, including of course the ongoing discussions at the UN about the high seas. As you know, the aim is to develop a "internationally binding legal instrument on the conservation and sustainable use of biological diversity" in the high seas.

These negotiations form part of a positive momentum, which has seen the emergence of several important milestones in recent months: the adoption last September of a sustainable development goal specific to the oceans; the decision of the IPCC to devote a forthcoming report to the relationship between the oceans and the climate; and the holding of a session dedicated to the subject at the COP 21 – an exercise which will be repeated at the COP22 in Marrakesh.

All of these are core areas to which I am deeply committed and to which I will be devoting unstinting effots with my Government and my Foundation.

On the national level, in Monaco I have introduced an unwavering energy transition policy designed to achieve carbon neutrality by 2050. We have undertaken several international cooperation missions regarding the environment and climate change. We have long been involved in drafting original policies to preserve the seas, like the RAMOGE accord signed with France and Italy for the prevention and management of marine pollution – an agreement now celebrating its fourth anniversary.

This work is complemented by that of my Foundation which has spent the last ten years fighting climate changes and its impacts, in order to preserve biodiversity, manage water and combat desertification.

All of these initiatives and actions – everything we are doing for the environment – is made possible by science.

One of the missions with which the Academy is entrusted is to monitor the quality of teaching and strive to integrate the findings from scientific developments into the general contemporary culture. I can only express my wholehearted support for this aim.

The decisions leaders make today must be based on our scientific awareness.

In light of the complex and barely perceptible realities of the climate, science brings us awareness and gives us power.

It is science that has convinced us of the urgency to act, it is in its name that we try to persuade those around us, and it is science that will help us construct a new development paradigm: a model based on innovative techniques which respect the environment.

We are all collectively indebted to scientists. Without science, none of the progress made in recent years would have been possible.

This is also why Monaco has long been supporting research as a key dimension of its policy. This has led to – amongst other things – the development of its science centre, the welcoming of the AIEA Marine Environmental Studies Laboratory supporter of research and also my Foundation's commitment to founding programmes and expeditions. And in the same spirit, we have strongly advocated for the IPPC to draft a report on the oceans and the cryosphere.

But our debt to science does not end there. While we owe much to researchers and their discoveries and inventions and the perspectives they open up, we should, I believe, draw inspiration from their methods.

Because both discovery and invention are the offsring of what makes science great: doubt. It is doubt that drives us to explore new avenues, try things out and seek new horizons.

Today I am convinced that our political and economic leaders, like all environmental leaders, must draw inspiration from this key state of mind. At all levels, we must question our habits, our lazy assumptions and our comfortable ways of thinking.

This is exactly what I am trying to do with my Foundation, as a complement to the activities my Government has been tasked with implementing.

This also underlies my attempts to bring together economists, scientists, politicians and environmentalists in conjunction with my Foundation.

And finally it also explains my search for new practical solutions to preserve our seas, oceans and climate. I mentioned the ongoing talks at the UN which are exploring new approaches to understanding the ocean, but I could also cite other initiatives, such as the protected marine reserves for which I have been fighting for many years. These structures constitute an appropriate framework for managing the seas, and only they can facilitate the joint economic development of the coastal populations and the preservation of the ecosystems.

This is why we have, together with the French Government, created a Trust Fund dedicated to the creation and strengthening of marine protected areas in the Mediterranean. And it is why we are currently working on the reform of the Pélagos sanctuary for the protection of sea mammals along the French, Italian and Monaco coastlines.

Here too, the key is to innovate, question existing received wisdom and devise new solutions that will help us save our seas and our climate.

It is now time for your exchanges to take place, so that you can discuss the future of the Mediterranean Basin in light of its history and its past, touching not only on the limitations but also on the opportunities ahead.

I would like to thank the Académie once again for its initiative, but also its partners, the Groupe Inter académique pour le développement (GID), the French National Research Institute for Sustainable Development (IRD) and the Union for the Mediterranean for this encounter, here at the MuCEM – a fitting venue to discuss the Mediterranean, its importance and its protection.

I hope therefore that the Mediterranean will inspire us – just as it has inspired so many great minds down the centuries, so that we may develp sustainable solutions and practices to help us achieve the best possible balance between human development and the preservation of our beloved Mare Nostrum.

Thank you.

Allocution de SAS le Prince Albert II de Monaco

Rencontre internationale « Savoirs en action pour un codéveloppement en Méditerranée » à l'occasion du 350e anniversaire de l'Académie des sciences

MuCEM, Marseille
29 septembre 2016

Monsieur le Ministre,

Monsieur le Préfet,

Madame le Secrétaire Perpétuel,

Excellences,

Messieurs les Présidents,

Monsieur le Recteur,

Mesdames et Messieurs,

Chers Amis,

Je veux d'abord remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'organisation de cet événement d'importance et les féliciter pour le choix des sujets qui seront abordés durant cette journée.

C'est une grande satisfaction pour moi d'être ici avec vous pour célébrer les 350 ans de l'Académie des Sciences, qui encourage et protège l'esprit de recherche, et contribue aux progrès des sciences et de leurs applications depuis 1666.

Attaché aux sciences, comme le fondateur de votre Académie – Colbert –, c'est avec infiniment de plaisir que j'ai accepté de tracer quelques pistes concernant « les défis du littoral méditerranéen », thème dont vous allez débattre en table ronde tout à l'heure.

Lieu de rencontre privilégié des hommes, des cultures et des religions, la Méditerranée a toujours été un espace d'échanges qui a permis l'émergence de civilisations.

Berceau de ces civilisations, elle est aujourd'hui au centre d'enjeux politiques, démographiques et économiques sans précédent.

Carrefour à la lisière de trois continents et de trois aires de civilisations, la Méditerranée demeure une zone de contacts mais également de tensions, politiques, économiques, environnementales ou culturelles. A ce titre, nous devons nous féliciter des nombreuses tentatives de coopération et de partenariat qui sont lancées pour renforcer les échanges et redynamiser les économies, malgré les clivages et les déséquilibres entre les Etats riverains.

D'une superficie de 2,5 millions de km², la Méditerranée représente 0,7 % de la surface des mers du globe. Ses côtes s'étendent sur 46 000 km, le long de 22 pays peuplés de plus de 400 millions d'habitants.

De taille modeste à l'échelle de la planète, elle est quasiment fermée et constitue un réservoir majeur de biodiversité qui accueille plus de 25 000 espèces de végétaux, 650 espèces de poissons – dont 28 % seraient introuvables ailleurs.

Par sa nature même de mer semi-fermée, la mer Méditerranée est fragile, très sensible aux modifications climatiques et aux pollutions.

Or, l'espace maritime méditerranéen est menacé par diverses contraintes, qu'elles soient écologiques, anthropiques, maritimes, démographiques ou économiques.

Support de 30 % du commerce maritime mondial dont 22 % de trafic pétrolier, la mer Méditerranée est très fréquentée en matière de commerce maritime. S'y ajoute la navigation de plaisance dont l'augmentation ces dernières années est exponentielle.

Le littoral de la mer Méditerranée connaît, par ailleurs, une évolution importante de densité de ses populations : plus de 150 millions d'habitants, soit quasiment un tiers de la population des pays riverains. Ce chiffre a quasiment doublé au cours des quarante dernières années et les rives sont soumises, pour certaines, à une urbanisation galopante. Nous savons qu'à l'horizon 2025, la moitié du littoral méditerranéen devrait être construit.

Si la région méditerranéenne peut s'enorgueillir d'être la première région touristique du monde, elle doit toutefois faire face à un afflux de quelque 200 millions de touristes qui, chaque année, viennent en villégiature sur ses côtes. Ce chiffre devrait encore augmenter à l'horizon 2025 avec une majorité localisée dans une zone inférieure à 100 m du rivage.

Comment gérer cet afflux et structurer une économie touristique saisonnière alors que nous sommes déjà témoins d'une augmentation très sensible, en été, de la pollution des eaux marines ?

Le nombre d'habitants sur les rives et le surcroît estival de population augmentent le phénomène de pollution d'origine terrestre avec, pour certains pays – comme par exemple ceux du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord – un manque d'eau potable, laquelle est souvent affectée par le rejet de déchets ou d'eaux usées.

Sur la bordure littorale, l'accroissement des besoins dépasse souvent le développement des infrastructures, notamment des systèmes d'épuration.

Ainsi assiste-t-on à des pressions sur les ressources en eau, engendrées par des demandes croissantes. Et ces tendances sont exacerbées par les impacts du changement climatique.

Une autre source de pollution provient de l'aquaculture. Avec 110 kg d'azote, 12 kg de phosphore et 450 kg de carbone émis par tonne produite dans les fermes aquacoles, elle n'est pas à négliger au titre des défis à analyser alors que nous cherchons des solutions de sécurité alimentaire.

Dans tous les cas, les eaux usées qu'elles soient urbaines, agricoles ou pluviales charrient et drainent des déchets solides ou chimiques tous peu biodégradables. Ces déchets se répandent au gré des courants et des vents ; et constituent une menace pour la faune et la flore marines.

Or, c'est justement sur le littoral maritime que la biodiversité marine se régénère.

Les constats que je viens d'énoncer, vous en conviendrez, sont peu réjouissants, je vous le conçois, c'est vrai. Mais nous ne pouvons plus les sous-estimer.

Nous sommes entrés dans une ère où les principales modifications de l'environnement sont provoquées par l'homme, l'humanité étant devenue une force de modification à l'échelle de la planète.

Comme l'annonçait le nobélisé néerlandais Paul Crutzen, dans son néologisme, nous assistons à l'« anthropocène », ce qui signifie qu'en quelques générations, l'influence des activités anthropiques sur le système terrestre est désormais prépondérante.

Aujourd'hui, des études scientifiques ont été menées, dont les résultats ne sont pas remis en cause ; nous devons prendre la mesure de nos responsabilités.

La préservation de la Planète, qui passait jusqu'au sommet de Rio de 1992 pour un sujet mineur, porté seulement par quelques esprits audacieux, est devenue l'un des enjeux majeurs de ce siècle. La question climatique en est l'un des puissants symboles, symbole des risques globaux qu'il nous faut aujourd'hui gérer et limiter.

Au-delà même du climat, d'autres sujets essentiels commencent à recueillir l'attention qu'ils méritent, en particulier les questions de biodiversité, de pollution, ou de préservation des ressources en eau. Peu à peu, l'humanité comprend qu'il s'agit-là de problématiques vitales pour elle.

Elles touchent en effet à notre cadre de vie et à notre alimentation, mais aussi à notre santé, à notre sécurité et, plus globalement, à tous les équilibres économiques ou stratégiques de ce monde et plus particulièrement des rives de la Méditerranée.

Quelques degrés en plus, quelques espèces en moins, quelques kilomètres carrés de désert supplémentaires, ce sont pour beaucoup des drames irréversibles, entraînant leur lot de tragédies, d'exils, de misères, de violences.

Au cœur de ces enjeux climatiques et environnementaux, nous comprenons enfin le rôle central des mers et des océans. Ces vastes étendues qui, longtemps, ont semblé à l'homme intangibles, hostiles et dénuées d'intérêt autre que la pêche, révèlent, grâce aux travaux de la science, leur complexité, leur fragilité et leur importance.

L'actualité internationale témoigne également de cette nouvelle conscience. De grands rendez-vous internationaux s'y consacrent, comme bien sûr les négociations actuellement en cours à l'ONU sur la haute mer. Il s'agit, vous le savez, de rédiger un « instrument international juridiquement contraignant sur la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique » en haute mer.

Ces négociations s'inscrivent dans une dynamique positive. Elle a été marquée au cours des derniers mois par plusieurs étapes importantes : l'adoption, en septembre dernier, d'un objectif de développement durable spécifique aux océans ; la décision du GIEC de consacrer un prochain rapport au rôle des océans pour le climat ; ou encore la tenue d'une session dédiée aux océans au cours de la COP21 – initiative qui sera reconduite, lors de la COP 22 à Marrakech.

Tous ces chantiers sont au cœur de mon engagement. Je m'y implique sans relâche, avec mon Gouvernement et ma Fondation.

Au niveau national, j'ai mis en place à Monaco une politique résolue de transition énergétique, avec l'ambition de parvenir à la neutralité carbone dès 2050. Nous avons engagé de nombreuses missions de coopération internationale centrées autour de l'environnement et du changement climatique. Depuis longtemps, nous avons conçu des politiques originales de préservation des mers, comme l'accord RAMOGE signé avec la France et l'Italie pour la prévention et la gestion des pollutions marines, dont nous venons de célébrer les quarante ans.

Cette action est complétée par celle de ma Fondation, qui agit depuis dix ans contre le changement climatique et ses effets, pour la préservation de la biodiversité et pour la gestion de l'eau et la lutte contre la désertification.

Toutes ces initiatives, toutes ces actions, tout ce que nous accomplissons pour l'environnement, nous le faisons grâce à la science.

L'une des missions confiées à l'Académie est de veiller à la qualité de l'enseignement et d'œuvrer pour que les acquis du développement scientifique soient intégrés dans la culture des hommes de notre temps. Je ne peux que souscrire à cette orientation et je la plébiscite.

La prise de décisions des leaders, aujourd'hui, doit largement se fonder sur la prise en compte de la science.

Face aux réalités complexes et difficilement perceptibles du climat, la science nous a donné la conscience et la puissance.

C'est par la science que nous avons été convaincus de l'urgence d'agir, c'est en son nom que nous parlons pour convaincre nos contemporains, et c'est aussi par elle que nous avons les moyens de construire un autre modèle de développement. Un modèle fondé sur des techniques innovantes et plus respectueuses de l'environnement.

Nous devons aux scientifiques une gratitude collective. Sans la science, aucune des avancées de ces dernières années n'aurait été possible.

C'est la raison pour laquelle Monaco a depuis longtemps fait du soutien à la recherche un axe important de sa politique avec, notamment, le développement de son centre scientifique, l'accueil du laboratoire d'environnement marin de l'AIEA, mais aussi l'engagement de ma Fondation sur des programmes et expéditions. C'est dans le même esprit que nous avons conduit un travail important de persuasion en faveur de l'établissement par le GIEC d'un rapport consacré aux océans et à la cryosphère.

Notre dette envers la science ne s'arrête pas là. Si nous sommes redevables aux chercheurs de leurs découvertes, de leurs inventions et des perspectives qu'elles ouvrent, nous devons aussi, je crois, nous inspirer de leur démarche.

Car la découverte, comme l'invention, naissent de ce qui fait la grandeur de la science : le doute. C'est le doute qui pousse vers d'autres chemins, suscite des tentatives, ouvre de nouveaux horizons.

Je suis aujourd'hui convaincu que les dirigeants politiques ou économiques, comme tous les acteurs environnementaux, doivent s'inspirer de cette posture d'esprit essentielle. A tous les niveaux, nous devons remettre en question nos habitudes, nos paresses, nos conforts.

C'est ce que je tâche de faire avec ma Fondation qui agit en complément de l'action que j'assigne à mon Gouvernement.

C'est aussi ce que je tâche de faire en associant, dans le cadre de ses actions, des acteurs économiques et scientifiques, politiques et environnementaux.

C'est enfin ce que je tâche de faire en cherchant de nouvelles solutions concrètes pour préserver nos mers, nos océans et notre climat. J'ai évoqué les négociations onusiennes en cours, qui doivent explorer de nouvelles approches des enjeux océaniques. Mais je pourrais aussi citer d'autres initiatives, comme les aires marines protégées, pour lesquelles je milite depuis de nombreuses années. Ces structures offrent un cadre approprié de gestion des mers, seul à même de permettre à la fois le développement économique des populations côtières et la préservation des écosystèmes.

C'est pourquoi nous avons créé avec le Gouvernement français un Fonds fiduciaire dédié à la création et au renforcement d'aires marines protégées en Méditerranée. C'est pourquoi aussi nous travaillons actuellement à la réforme du sanctuaire Pélagos pour la protection des mammifères marins au large des côtes françaises, italiennes et monégasques.

Là encore, il s'agit d'innover, de remettre en cause les anciennes recettes et d'en inventer de nouvelles, qui nous permettront de sauver nos mers et notre climat.

Je vais maintenant laisser la place à vos échanges afin d'envisager l'avenir du bassin méditerranéen au regard de son histoire et de son passé, de ses contraintes mais aussi de ses opportunités.

Je tiens à remercier encore l'Académie pour son initiative, mais aussi remercier ses partenaires, le Groupe inter académique pour le développement (GID) et l'Institut de recherche pour le développement (IRD) ainsi que l'Union pour la Méditerranée de cette rencontre, dans ce lieu du MuCEM qui se prête aux réflexions sur la mer méditerranée, son importance et sa protection.

J'espère donc que la Méditerranée saura nous inspirer, comme elle a inspiré tant de grands esprits à travers l'histoire, afin de valoriser les solutions et les pratiques durables qui permettront de mieux concilier le développement humain et la préservation de cette MARE NOSTRUM qui nous est si chère.

Je vous remercie.

List of acronyms

ACCOBAMS	Agreement on the Conservation of Cetaceans in the Black Sea, Mediterranean Sea
ADRIMED	Aerosol Direct Radiative Impact on the regional climate in the Mediterranean region
AED	Atmospheric evaporative demand
AMO	Atlantic Multidecadal Oscillation
AOGCM	Atmosphere-ocean general circulation models
AORCM	Atmosphere-ocean regional climate models
AVISO	A reference portal in alimetry
BL	Boundary layer
BVOC	Biogenic volatile organic compound
CMIP	Coupled Model Intercomparison Projects
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
DAD-IS	Domestic Animal Diversity Information System
DRF	Direct radiative forcing
EC	elemental carbon
EMDW	Eastern Mediterranean deep water
EMT	Eastern Mediterranean Transient
ENM	Ecological Niche Model
ENSO	El Niño-Southern Oscillation
E-OBS	high-resolution gridded data set of daily climate over Europe
ETCCDI	Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices
EU	European Union
EVI	Enhanced Vegetation Index
FAO	Food and Agriculture Organization

FF	Flash floods
GCM	Global climate model
GCM	General circulation model
GFCM	General Fisheries Commission for the Mediterranean
GFCS	Global Framework for Climate Services
GHG	Greenhouse gases
GLAM	Gradient in Longitude of Atmospheric constituents in the Mediterranean basin
HPE	Heavy precipitation events
ICZM	Integrated coastal zone management
IPBES	Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IUCN	International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources
LEK	Local ecological knowledge
MCA	Millennium Challenge Account
MCS	Mesoscale convective systems
MEA	Middle East Area
MedCOF	Mediterranean Climate Outlook Forum
MENA (region)	Middle-East North-Africa
MINOS	Mediterranean Intensive Oxidant Study
MTE	Mediterranean-type ecosystem
MPA	Marine protected area
MTC	Mean temperature of the catch
NAO	North Atlantic Oscillation
NMHC	Non methane hydrocarbons
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NPF	New particle formation
OVOC	Oxidized volatile organic compound
PAH	Polycyclic aromatic hydrocarbons
PAR	Photosynthetically active radiation
PDO	Protected Designation of Origin
PES	Post-event surveys
PSM	Plant secondary metabolite
PMV	*Plan Maroc Vert* (Moroccan Green Plan)

PMF	Positive matrix factorization
POP	Persistent organic pollutant
RCC	Rapid climatic change
RCCI	Regional climate change index
RCM	Regional climate model
RCP	Representative concentration pathway
RCSM	Regional climate system models
ROV	Remotely operated vehicle
SLR	*Sea level rise*
SOA	Secondary organic aerosol
SOP	Special observation period
SPEI	Standard precipitation evapotranspiration index
SSS	Sea surface salinity
SST	Sea surface temperature
SWC	Soil and water conservation measures
SWI	Soil water index
SY	Sediment yields
TEE	Throughfall exclusion experiment
TOA	Top of the atmosphere
TRAQA	Transport and air quality
UNWTO	*United Nations World Tourism Organization*
VOC	Volatile organic compound
WeMO	Western Mediterranean Oscillation
WMO	World Meteorological Organization
WUE	Water use efficiency
VAI	Vegetation anomaly index
VCI	Vegetation condition index

List of chapter coordinators

This document is the abridged version of the book
The Mediterranean Region under Climate Change – A Scientific Update.
To get the full version of the book,
please contact diffusion@ird.fr or http://www.editions.ird.fr/

Ce document est la version abrégée de l'ouvrage
The Mediterranean Region under Climate Change – A Scientific Update.
Pour en obtenir la version intégrale,
contacter diffusion@ird.fr ou http://www.editions.ird.fr/

Chapter 1.1.

Stéphanie Thiébault
Environmental ecologist
INEE, CNRS, Paris, France
stephanie.thiebault@cnrs-dir.fr

Chapter 1.2

Véronique Ducrocq
Atmospheric physicist
Centre National de Recherches Météorologiques,
Météo-France and CNRS, France
veronique.ducrocq@meteo.fr

Chapter 1.3

Véronique Ducrocq
Atmospheric physicist
Centre National de Recherches Météorologiques,
Météo-France & CNRS, France
veronique.ducrocq@meteo.fr

Chapter 1.4.

François Dulac
Aerosol science, ChArMEx coordinator
Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), CEA, CNRS, UVSQ, Saclay, France
Francois.dulac@cea.fr

Eric Hamonou
ChArMEx project manager
Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), CEA, CNR, UVSQ, Saclay, France
eric.hamonou@lsce.ipsl.fr

Chapter 2.1.

Yunne-Jai Shin
Marine ecologist
IRD, Unité de Recherche Mixte « MARine Biodiversity, Exploitation and Conservation » (UMR 248 MARBEC),
Université de Montpellier, France
yunne-jai.shin@ird.fr

Chapter 2.2.

Joël Guiot
Paleoclimatologist
Aix-Marseille University,
CNRS, IRD,
Collège de France, CEREGE,
Aix-en-Provence, France
guiot@cerege.fr

Chapter 2.3.

Gilles Boulet
Hydroclimatologist
IRD, UMR CESBIO, University of
Toulouse, CNES/CNRS/IRD/UPS,
Toulouse, France
gilles.boulet@ird.fr

Chapter 2.4.

Wolfgang Cramer
géographe, écologue
Institut Méditerranéen
de Biodiversité et d'Écologie marine
et continentale (IMBE),
Aix-Marseille Université,
CNRS, IRD, Avignon Université,
Aix-en-Provence, France
wolfgang.cramer@imbe.fr

Chapter 2.5.

Isabella Annesi-Maesano
Epidemiologist
Institut Pierre Louis d'Epidémiologie
et de Santé Publique (IPLESP),
Institut National de la Santé
et de la Recherche Médicale
(INSERM) - UPMC Sorbonne
Universités, Paris, France
isabella.annesi-maesano@inserm.fr

Robert Barouki
UMR-S 1124 « Pharmacologie,
Toxicologie et Signalisation
cellulaire » INSERM-Université
Paris Descartes, Paris, France.
robert.barouki@univ-paris5.fr

Jean-François Guégan
UMR « Maladies Infectieuses
et Vecteurs : Ecologie, Evolution,
Génétique et Contrôle » IRD-CNRS-
Université de Montpellier, France,
and international U.N. program
FutureEarth/FutureHealth.
jean-francois.guegan@ird.fr

Chapter 3.1.

Pascal Marty
Geographer
CNRS, ENS de Lyon,
Environnement, ville, sociétés
(UMR 5600), France
pascal.marty@cnrs-dir.fr

Chapter 3.2.

Emmanuel Torquebiau
Ecologist
UR AIDA, CIRAD,
Montpellier, France
emmanuel.torquebiau@cirad.fr

Chapter 3.3.

Stéphanie Thiébault
Environmental ecologist
INEE, CNRS, Paris, France
stephanie.thiebault@cnrs-dir.fr

Yildiz Aumeeruddy-Thomas
Ethnoecologist
CNRS, Centre d'Ecologie
Fonctionnelle et Evolutive
(UMR CEFE, 5175), France
yildiz.thomas@cefe.cnrs.fr

Chapter 3.4

Eric Gaume
Hydrologist
IFSTTAR, France
eric.gaume@ifsttar.fr

Chapter 3.5.

Jean-Luc Chotte
Soil scientist - ecologist
Institut de Recherche
pour le Développement (IRD),
France
jean-luc.chotte@ird.fr

Chapter 3.6

Denis Lacroix
Scientific watch and Foresight
analysis IFREMER, Scientific
directorate. France
denis.lacroix@ifremer.fr

Contents of the full version

To get the full version of the book,
please contact diffusion@ird.fr or http://www.editions.ird.fr

Pour en obtenir la version intégrale,
contacter diffusion@ird.fr ou http://www.editions.ird.fr/

Preface/*Préface* 11
Hakima El Haité

Introduction/*Introduction*
Climate change in the Mediterranean 17
Le changement climatique en Méditerranée 23
Stéphanie Thiébault, Jean-Paul Moatti

Part 1
Mechanisms, observed trends, projections 29

Chapter 1
People and climate change in the past 31
Stéphanie Thiébault, coord.

Sub-chapter 1.1.1
Rapid climatic change and social transformations
Uncertainties, adaptability and resilience 35
Laurent Lespez, Laurent Carozza, Jean-François Berger et al.

Sub-chapter 1.1.2
Improving knowledge on the climate
and environmental context of past Mediterranean societies 47
Marie-Alexandrine Sicre, Paulo Montagna, Laurent Dezileau et al.

Sub-chapter 1.1.3
Past hydrological variability in the Moroccan Middle Atlas
inferred from lakes and lacustrine sediments 57
Laurence Vidal, Ali Rhoujjati, Rachid Adallal et al.

Chapter 2
Climate change in the Mediterranean region 71
Véronique Ducrocq, coord.

Sub-chapter 1.2.1
The water cycle in the Mediterranean 73
Véronique Ducrocq, Philippe Drobinski, Silvio Gualdi et al.

Sub-chapter 1.2.2
The climate of the Mediterranean regions in the future climate projections. . . 83
Serge Planton, Fatima Driouech, Khalid El Rhaz et al.

Sub-chapter 1.2.3
The Mediterranean Sea in the future climate projections 93
Samuel Somot, Gabriel Jorda, Ali Harzallah et al.

Chapter 3
Hydro-meteorological extremes 105
Véronique Ducrocq, Eric Gaume, coord.

Sub-chapter 1.3.1
Heavy precipitation in the Mediterranean basin
Observed trends, future projections 107
Gilles Molinié, Michel Déqué, Erika Coppola et al.

Sub-chapter 1.3.2
Strong winds
Observed trends, future projections 115
Philippe Drobinski, Pinhas Alpert, Leone Cavicchia et al.

Sub-chapter 1.3.3
Drought: observed trends, future projections 123
Pere Quintana-Seguí, Eric Martin, Enrique Sánchez et al.

Sub-chapter 1.3.4
Mediterranean extreme floods and flash floods. 133
Eric Gaume, Marco Borga, Maria Carmen Llasat et al.

Chapter 4
Air quality and climate in the Mediterranean region 145
François Dulac, Eric Hamonou, coord.

Sub-chapter 1.4.1
Sources of reactive species and source apportionment. 151

Sub-chapter 1.4.2
High atmospheric concentrations of aerosols, greenhouse gases
and other pollutants 159

Sub-chapter 1.4.3
Atmospheric deposition to nutrient depleted seawater 165

Sub-chapter 1.4.4
Impact of atmospheric chemistry on the regional climate. 169

Sub-chapter 1.4.5
Impacts of air quality on health. 177

Sub-chapter 1.4.6
The (uncertain) future of air quality. 183

Sub-chapter 1.4.7
Conclusion and recommendations. 189

Part 2
Vulnerability and impacts. 205

Chapter 1
Climate change impacts on marine ecosystems and resources 207
Yunne-Jai Shin, coord.

Sub-chapter 2.1.1
Climate change impact on planktonic production in the Mediterranean Sea. . . 211
Fabio Benedetti

Sub-chapter 2.1.2
Climate change induces bottom-up changes in the food webs
of the Mediterranean Sea. 219
Fabien Moullec, Fabio Benedetti, Claire Saraux et al.

Sub-chapter 2.1.3
Climate change impacts on marine resources
From individual to ecosystem responses 229
Fabien Moullec, Frida Ben Rais Lasram, Marta Coll et al.

Sub-chapter 2.1.4
Climate change and fisheries. 249
Fabien Moullec, Frida Ben Rais Lasram, Marta Coll et al.

Chapter 2
Impacts on the coastal zone 263
Joël Guiot, coord.

Sub-chapter 2.2.1
Sea level rise and its impacts on the Mediterranean. 265
Marta Marcos, Gabriel Jorda, Gonéri Le Cozannet et al.

Sub-chapter 2.2.2
Vulnerability of the Mediterranean coastal zones faced
with the risk of climate change. 277
Maria Snoussi, Alessio Satta

Sub-chapter 2.2.3
The sea level rise and the collapse of a Mediterranean ecosystem,
the *Lithophyllum byssoides* algal rim 285
Aurélie Blanfuné, Charles François Boudouresque, Thierry Thibaut et al.

Chapter 3

Impacts on water and soils 291
Gilles Boulet, coord.

Sub-chapter 2.3.1

Hydrological impacts of climate change in North African countries 295
Yves Tramblay, Denis Ruelland, Lahoucine Hanich et al.

Sub-chapter 2.3.2

Water resources in South Mediterranean catchments
Assessing climatic drivers and impacts 303
Lionel Jarlan, Saïd Khabba, Camille Szczypta et al.

Sub-chapter 2.3.3

Challenges for mitigating Mediterranean soil erosion under global change 311
Damien Raclot, Yves Le Bissonnais, Mohamed Annabi et al.

Sub-chapter 2.3.4

Inter-disciplinary post-event surveys to disentangle hazard
from vulnerability in the impacts of Mediterranean flash-flood events 319
Guy Delrieu, Isabelle Ruin, Eric Gaume et al.

Sub-chapter 2.3.5

Changes in Mediterranean groundwater resources 327
Christian Leduc, Antonio Pulido Bosch, Boualem Remini et al.

Chapter 4

Impacts on terrestrial biodiversity and ecosystems 335
Wolfgang Cramer, coord.

Sub-chapter 2.4.1

Mediterranean forests, biocultural heritage and climate change
A social-ecological perspective 339
Thierry Gauquelin, Geneviève Michon, Richard Joffre et al.

Sub-chapter 2.4.2

Mediterranean ecosystems facing global change
Resilient or close to tipping point? 349
Florent Mouillot, Serge Rambal, Jean-Marc Limousin et al.

Sub-chapter 2.4.3

Plant biodiversity and vegetation on Mediterranean islands
in the face of global change 363
Frédéric Médail

Sub-chapter 2.4.4

Using the past to predict the future
The case of French Mediterranean orchids 377
Bertrand Schatz, Hélène Vogt-Schilb, François Munoz et al.

Chapter 5

Health consequences in the Mediterranean region 387
Jean-François Guégan, Robert Barouki, Isabella Annesi-Maesano, coord.

Sub-chapter 2.5.1

Climate change and infectious diseases in the Mediterranean region 391
Jean-François Guégan

Sub-chapter 2.5.2

The impacts of climate change on non-communicable diseases in the Mediterranean region 403
Isabella Annesi-Maesano

Sub-chapter 2.5.3

Final remarks and recommendations for the future 411
Jean-François Guégan, Robert Barouki, Isabella Annesi-Maesano

Part 3
Adaptation, resilience, conservation of resources and prevention of risk 419

Chapter 1

Societies and climate change in the Mediterranean 421
Pascal Marty, coord.

Sub-chapter 3.1.1

When law addresses the environment
A matter of principle or a deep-seated concern? 425
Ammar Belhimer, Jean-Philippe Bras, Baudouin Dupret et al.

Sub-chapter 3.1.2

Human migration and climate change in the Mediterranean region 439
Mohamed Charef, Kamel Doraï

Sub-chapter 3.1.3

Observation systems and urban climate modelling. 445
Elodie Briche, Nicolas Martin, Salem Dahech

Chapter 2

Agricultural management, livestock and food security. 455
Emmanuel Torquebiau, Jean-François Soussana, coord.

Sub-chapter 3.2.1

Metrology and quality management 461
Abderafi Charki, Vincent Dollé, Luc Martin et al.

Sub-chapter 3.2.2

Long term agro-ecosystem observatories in the Mediterranean 467
Marc Voltz, Insaf Mekki, Jérôme Molénat et al.

Sub-chapter 3.2.3

Adaptability of small ruminant farmers facing global change
A North-South Mediterranean analysis (France/Egypt) 477
Jacques Lasseur, Véronique Alary, Adel Aboul-Naga et al.

Sub-chapter 3.2.4

Managing genetic resources of small ruminants in a context of climate change. . . . 485
Anne Da Silva, Badr Benjelloun

Sub-chapter 3.2.5

Fodder grass selection in the Mediterranean
The role of summer dormancy. 495
Florence Volaire, Rajae Kallida, Mark Norton et al.

Sub-chapter 3.2.6

Adaptation of Mediterranean fruit tree cultivation to climate change 503
Evelyne Costes, Bouchaib Khadari, Hayat Zaher et al.

Sub-chapter 3.2.7

Climate change and dependence on agricultural imports in the MENA region . . . 511
Chantal Le Mouël, Agneta Forslund, Pauline Marty et al.

Chapter 3

Local knowledge, scientific knowledge and food security in the Mediterranean region. 519
Stéphanie Thiébault, Yildiz Aumeeruddy-Thomas, coord.

Sub-chapter 3.3.1

Grafted oleaster-olive agrosylvopastoral systems in Northern Morocco. 523
Yildiz Aumeeruddy-Thomas, Alicia Bailly, Samuel Alleaume et al.

Sub-chapter 3.3.2

Taming the Black Truffle (*Tuber melanosporum*)
Safeguarding Mediterranean food and ecological webs 533
Yildiz Aumeeruddy-Thomas, Elisa Taschen, Franck Richard

Sub-chapter 3.3.3

The argan agroecosystem
Local meanings of argan tree and bee diversity within man-made territories. . 543
Romain Simenel, Yildiz Aumeeruddy-Thomas

Sub-chapter 3.3.4

Pollination: threats and opportunities in European beekeeping 551
Bertrand Schatz, Edmond Dounias

Chapter 4

Risk prevention 559

Eric Gaume, coord.

Sub-chapter 3.4.1

Urbanization and land use as a driver of flood risk 563

Freddy Vinet, Mohammed El Mehdi Saidi, Johnny Douvinet et al.

Sub-chapter 3.4.2

Forecast of heavy precipitation events 577

Nadia Fourrie, Hassan Haddouch, Pierre Brousseau et al.

Sub-chapter 3.4.3

Improving flash flood forecasting and warning capabilities 587

Pierre Javelle, Isabelle Braud, Clotilde Saint-Martin et al.

Sub-chapter 3.4.4

Seasonal forecast of droughts and water resources 597

Lauriane Batté, Fatima Driouech, Constantin Ardilouze

Chapter 5

Land degradation and climate change 605

Jean-Luc Chotte, coord.

Sub-chapter 3.5.1

Land degradation neutrality 611

Jean-Luc Chotte, Nabil Ben Kathra, Maud Loireau et al.

Sub-chapter 3.5.2

Soils and desertification in the Mediterranean region 617

Houcine Khatteli, Rafat Ramadan Ali, Gilles Bergametti et al.

Sub-chapter 3.5.3

Soil carbon as an indicator of Mediterranean soil quality 627

Tiphaine Chevallier, Salwa Hamdi, Tahar Gallali et al.

Sub-chapter 3.5.4

Rethinking the management of mycorrhizal soil infectivity to restore Mediterranean and tropical forest ecosystems 637

Robin Duponnois, Lahcen Ouahmane, Mohamed Hafidi et al.

Chapter 6

Adapting to global change in the Mediterranean Sea 647

Denis Lacroix, coord.

Conclusion/*Conclusion*
The Mediterranean Basin, climate change and our common future. Engaging future research efforts to support policy 661
Le bassin méditerranéen, le changement climatique et notre avenir commun. Lancer de nouvelles initiatives de recherche pour guider les décisions politiques futures 665
Joël Guiot, Wolfgang Cramer

Postface/*Postface*
From Paris to Marrakesh. Rediscovering universalism 671
De Paris à Marrakech. Retrouver l'universalisme 673
Driss El Yazami

Address by HSH the Prince Albert II of Monaco 675
Allocution de SAS le Prince Albert II de Monaco. 681

List of acronyms 687

List of chapter coordinators and contributors. 691

Table of contents. 725

Imprimé en France - JOUVE, 1, rue du Docteur Sauvé, 53100 MAYENNE
N° 2456199B - Dépôt légal : octobre 2016

This book has been published by Allenvi (French National Alliance for Environmental Research) to coincide with the 22nd Conference of Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP22) in Marrakesh. It is the outcome of work by academic researchers on both sides of the Mediterranean and provides a remarkable scientific review of the mechanisms of climate change and its impacts on the environment, the economy, health and Mediterranean societies. It will also be valuable in developing responses that draw on "scientific evidence" to address the issues of adaptation, resource conservation, solutions and risk prevention. Reflecting the full complexity of the Mediterranean environment, the book is a major scientific contribution to the climate issue, where various scientific considerations converge to break down the boundaries between disciplines.

Cet ouvrage, publié par l'Alliance nationale de recherche sur l'environnement (Allenvi) à l'occasion de la 22e Conférence des Parties de la Convention Cadre des Nations unies sur le changement climatique (COP22) de Marrakech, est le fruit de la mobilisation de chercheurs et d'universitaires des deux rives de la Méditerranée. Il constitue une synthèse scientifique exceptionnelle sur les mécanismes du changement climatique, ses impacts sur l'environnement, l'économie, la santé et les sociétés de la Méditerranée. Il représente par ailleurs un précieux outil pour élaborer des réponses, fondées sur l'« évidence scientifique », en matière d'adaptation, de conservation des ressources, de solutions ou de prévention des risques. Mettant en exergue toute la complexité de l'environnement méditerranéen, cet ouvrage est une contribution scientifique majeure à la question climatique, au croisement des questionnements scientifiques dans une perspective de décloisonnement disciplinaire.

IRD Éditions
www.edition.ird.fr
ISBN 978-2-7099-2254-8
9 782709 922548