

# Région & méditerranéenne et changement climatique

*Une nécessaire anticipation*

STÉPHANE HALLEGATTE

SAMUEL SOMOT

HYPATIE NASSOPOULOS

*Cette étude, réalisée à la demande d' IPEMED, a été publiée une première fois en avril 2008.*

**IPEMED** L'Institut de prospective économique du monde méditerranéen est une association reconnue d'intérêt général, créée en 2006. Think tank promoteur de la région méditerranéenne, il a pour mission de rapprocher par l'économie, les pays des deux rives de la Méditerranée. Il est indépendant des pouvoirs politiques dont il ne reçoit aucun financement. IPEMED est dirigé par Jean-Louis Guigou et Radhi Meddeb.

→ [www.ipemed.coop](http://www.ipemed.coop)

# SOMMAIRE

RÉSUMÉ	
INTRODUCTION	
<b>I LA FRACTURE NORD-SUD DE LA RÉGION MÉDITERRANÉE</b>	
Démographie : des évolutions opposées .....	12
Économie : un écart de 1 à 5 .....	13
Énergie : tension maximale sur la demande au Sud .....	14
Eau : une pénurie qui s'aggrave .....	15
<b>II LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN MÉDITERRANÉE</b>	
Deux types de modèles climatiques .....	18
Au xx <sup>e</sup> siècle, un réchauffement plus prononcé au Sud .....	19
Les projections climatiques pour le xxi <sup>e</sup> siècle.....	20
La Méditerranée devrait se réchauffer moins vite que les terres avoisinantes .....	26
Un risque majeur pour la biodiversité .....	27
De nombreuses incertitudes .....	28
<b>III L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE</b>	
Repenser la gestion de l'eau .....	33
Des effets sur l'agriculture et le monde rural .....	38
La pénurie d'eau : source de conflits ou de coopération .....	40
Transport et urbanisme : des adaptations indispensables .....	43
Le tourisme, un secteur sensible aux variations climatiques ....	47
Diversifier la production électrique .....	49
<b>IV CONCLUSION .....</b>	<b>51</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	

*Les auteurs de ce rapport remercient  
Andrea Bigano, Jacqueline  
M. Hamilton, M. A. Mimikou,  
Richard S.J. Tol, et le WWF  
pour avoir autorisé l'utilisation  
de leurs résultats de recherche.*

## RÉSUMÉ

**L**A RÉGION MÉDITERRANÉENNE est au centre des thématiques les plus importantes de ce début de XXI<sup>e</sup> siècle, à la fois du point de vue environnemental, économique et politique. C'est une zone écologiquement très fragile ; l'environnement y est déjà dégradé au point de pénaliser la population et le développement économique. Le changement climatique sera donc un défi important auquel la région sera confrontée. D'ici à la fin du siècle, la température annuelle moyenne devrait y augmenter de 2,2 à 5,1°C, soit nettement plus que la moyenne planétaire. Ce réchauffement devrait être détectable d'ici quinze à vingt-cinq ans suivant les saisons. En été, les hausses maximales de température seront comprises entre 2,7 et 6,5°C, contre 1,7 et 4,6°C en hiver. Les périodes de canicule seront donc plus longues et plus intenses.

Les précipitations totales vont probablement diminuer de 4 à 27 %, avec un net recul en été qui pourrait atteindre 53 %. La disponibilité en eau diminuera considérablement, notamment sur la rive sud de la Méditerranée déjà fragile. En revanche, la fréquence des précipitations extrêmes pourrait ne pas baisser, voire augmenter. Les risques de pénurie d'eau semblent donc très probables. Ces changements s'accompagneront d'une hausse du niveau de la mer qui est pour l'heure difficile à prévoir. À l'échelle globale, le Giec (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat), dont les projections sont réputées optimistes, prévoit une augmentation entre 23 et 47 cm pour la fin du siècle. En l'absence d'adaptation, le risque d'inondations côtières en cas de tempête serait accru. Ces changements menacent les écosystèmes de la région, déjà fragilisés : certains devraient migrer vers le Nord ou vers de plus hautes altitudes, ce qui peut engendrer des problèmes pour la santé des végétaux, des animaux, voire des hommes ; d'autres risquent de disparaître.

Les incertitudes sur les changements climatiques locaux et sur la réaction des écosystèmes sont importantes et l'on ne peut pas écarter l'éventualité de scénarios plus optimistes ou plus négatifs. Les conséquences

de ces changements concernent tous les secteurs. La gestion de l'eau est bien entendu en première ligne, et certaines projections évaluent à trois cents millions le nombre de personnes, en Afrique du Nord, qui subiront le stress hydrique en 2070. Des investissements pourraient améliorer nettement la situation (contrôle de la demande, chasse aux gaspillages, réutilisation des eaux usées, stockage additionnel, transport d'eau, production par dessalement). Cela requiert une anticipation notable en raison des délais que nécessitent ce type d'investissements. Mais l'incertitude qui pèse sur l'évolution des précipitations est un obstacle. Des ressources en eau amoindries pourront provoquer des conflits (entre usagers, régions voire entre pays). Pour les éviter, il faudra anticiper ces problèmes, de manière à partager les ressources avant de se trouver dans une situation de crise qui rendrait toute négociation plus difficile.

L'agriculture est également un secteur très vulnérable, surtout sur la rive sud. Des baisses de productivité sont attendues dans toute la zone, avec des chutes pouvant atteindre 50 %. Certaines stratégies permettraient de maintenir les niveaux de production, à condition toutefois que l'eau soit suffisamment disponible. L'avenir de ce secteur est donc lié à la disponibilité en eau.

FACE À LA PÉNURIE D'EAU ATTENDUE et à l'usage important qu'en fait l'agriculture, il est probable que la priorité soit donnée à la consommation domestique et à l'industrie. L'avenir des agriculteurs pauvres dont la capacité de reconversion est limitée, doit être considéré avec attention : il est probable qu'une perte de productivité agricole accélérera l'exode rural ; ce qui engendrerait des problèmes de capacité d'accueil dans les villes. Le développement économique rapide de la zone et une transition vers des activités non agricoles, d'ici le milieu de ce siècle, limiteraient ces impacts.

L'architecture et l'urbanisme doivent dès aujourd'hui tenir compte de ces évolutions climatiques ; la répétition des canicules, le manque d'eau, le risque de pluies intenses et plus fréquentes, doivent être intégrés dans le dimensionnement des infrastructures urbaines (assainissement, bâtiment, protection contre les inondations, réseaux de transport, etc.). En parallèle, il faut tenir compte du coût de l'énergie qui risque d'augmenter. Des villes plus denses avec des réseaux de transport en commun efficaces réduiraient la dépendance aux véhicules individuels et à la consommation de pétrole. Quelle que soit l'ampleur du changement climatique, les bénéfices macroéconomiques de telles politiques pourraient se révéler très élevés.

Le tourisme est également un secteur à risque: certaines régions pourraient devenir moins attractives à cause du réchauffement et de la hausse du prix des transports. Les régions dépendantes des revenus touristiques doivent s'interroger dès aujourd'hui.

ENFIN, LA DIVERSIFICATION DES SOURCES D'ÉNERGIE (y compris les énergies renouvelables qui ont un grand potentiel dans la région) est essentielle, compte tenu des évolutions du prix des hydrocarbures et des prochaines mesures qui vont être mises en place pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Dans un tel contexte, on peut dès maintenant faire plusieurs recommandations. D'abord, les changements climatiques futurs doivent être pris en compte dans les décisions d'investissements à long terme (urbanisation, transport, énergie, gestion de l'eau, agriculture, tourisme, etc.). Pour cela, il faut améliorer la capacité de prospective dans la région et la création d'institutions régionales, visant au rapprochement des décideurs et des experts, serait opportune. Ces institutions devraient réunir tous les acteurs, publics et privés, afin d'informer et de coordonner les stratégies d'adaptation. Ces institutions régionales pourraient favoriser les transferts de technologies, le partage d'expériences et la collaboration dans la zone. La région méditerranéenne forme un tout; la convergence des normes et réglementations, ainsi que des stratégies de gestion de l'eau et d'adaptation aux changements climatiques, serait hautement bénéfique. Il faudrait également mettre en commun des moyens pour réagir et prévenir: réseaux d'observation météorologique et hydrologique, services d'alerte, moyens aériens pour lutter contre les feux, brigades de sécurité civile spécialisées dans la gestion de catastrophes, réponses aux accidents technologiques et industriels...

Le chiffrage du coût socio-économique du changement climatique reste hors de portée, principalement parce qu'il dépend de la capacité de nos sociétés à gérer ce risque nouveau. Des exemples passés montrent que le meilleur comme le pire sont possible. Quoi qu'il en soit, la prise en compte du risque climatique et météorologique dans de multiples décisions publiques et privées deviendra indispensable. Il faut s'y préparer.



## INTRODUCTION

**C**E DOCUMENT VISE À FAIRE UNE SYNTHÈSE des travaux scientifiques sur le changement climatique prévu au XXI<sup>e</sup> siècle et de ses possibles impacts sur les systèmes environnementaux et humains dans la région méditerranéenne. Il s'appuie largement sur les derniers rapports du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (Giec, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)) parus en 2007. Le Giec a pour mandat d'évaluer, sans parti pris et de manière méthodique, claire et objective, les informations scientifiques, techniques et socio-économiques disponibles sur le changement climatique. Le Giec rend compte des différents points de vue et des incertitudes, tout en dégageant les éléments qui relèvent d'un consensus de la communauté scientifique. Ce n'est donc pas un organisme de recherche, mais un lieu d'expertise qui vise à synthétiser des travaux menés dans les laboratoires du monde entier. Les derniers rapports recensent les travaux scientifiques les plus récents et ont été approuvés par les représentants de tous les pays membres du Giec (plus de cent pays).

La région méditerranéenne est située entre l'Europe et l'Afrique. Le Giec la définit grossièrement comme un rectangle allant de 30°N à 48°N et de 10°W à 38°E. Elle est composée de vingt-deux pays et territoires qui pèsent 13 % de la production économique mondiale, avec plus de 420 millions d'habitants. C'est une zone très fragile écologiquement : l'environnement y est déjà dégradé au point de pénaliser la population et le développement économique. Les impacts liés au changement climatique risquent donc d'être importants, ce qui justifie une étude détaillée des risques climatiques, afin de proposer des stratégies d'anticipation qui permettraient d'en limiter l'ampleur.

Des hypothèses sur l'évolution des émissions de gaz à effet de serre sont nécessaires et elles dépendront des évolutions démographique, économique et technologique de la planète et des décisions qui seront prises concernant le changement climatique.



Pour guider ces études, le Giec définit plusieurs scénarios d'émissions de gaz à effet de serre pour le  $xxi^e$  siècle. Le scénario A1B, qui est un scénario intermédiaire, sera souvent choisi comme référence dans ce document même si on s'attachera à préciser les incertitudes autour des valeurs numériques fournies. La période couverte par les scénarios d'émissions et les scénarios climatiques présentés ici, s'arrête en 2100. Cela ne veut pas dire que certains impacts n'apparaîtront pas au-delà de cette date (par exemple la fonte des glaces du Groenland), mais on se concentre ici sur le siècle courant.

La première partie de cet ouvrage présente un état des lieux démographique, économique et environnemental de la région. La deuxième partie décrit les évolutions climatiques et hydrologiques que l'on peut attendre au cours du siècle. La troisième partie passe en revue les secteurs économiques dont les activités seront perturbées et propose des pistes de réflexion pour en limiter les effets négatifs. La quatrième partie conclut en rappelant les points les plus importants du document.



I

LA FRACTURE NORD-SUD  
DE LA  
RÉGION MÉDITERRANÉE

**L**A RÉGION MÉDITERRANÉENNE est l'un des thèmes majeurs de réflexion de ce début du XXI<sup>e</sup> siècle, sur le plan environnemental, économique et politique. Elle est notamment, comme le montre le remarquable rapport du Plan Bleu de 2005, écologiquement très fragile. D'où la nécessité de concilier le développement de l'économie avec le maintien de conditions environnementales acceptables.

En 2000, les vingt-deux pays et territoires riverains de la Méditerranée abritaient environ 7 % de la population mondiale (près de 430 millions d'habitants), sur près de 6 % des surfaces émergées de la planète. Leurs économies représentaient 13 % du PIB mondial (part diminuant avec le développement économique rapide de l'Asie) et 32 % du tourisme international (218 millions de touristes chaque année).

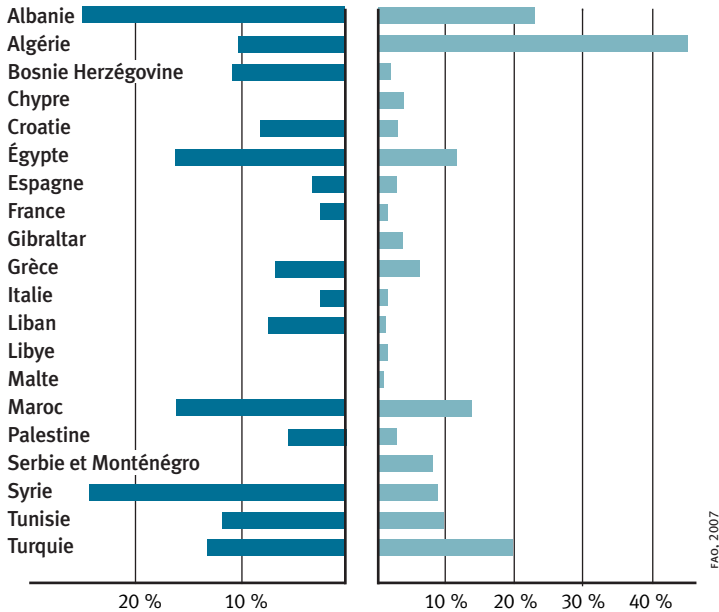
L'environnement y était déjà largement dégradé à la fin du XX<sup>e</sup> siècle. On trouve ainsi dans cette région près de 60 % de la population mondiale dite « pauvre en eau », c'est-à-dire la population de pays où les ressources naturelles renouvelables en eau sont inférieures à 1 000 m<sup>3</sup> par an et par habitant.

## **■ DÉMOGRAPHIE : DES ÉVOLUTIONS OPPOSÉES**

BIEN QUE LES INDICES DE FÉCONDITÉ se soient beaucoup rapprochés et doivent en principe converger dans les prochaines décennies, les deux rives de la Méditerranée connaissent des évolutions démographiques divergentes. Alors que la population du Nord (193 millions d'habitants en 2000) ne devrait plus augmenter que marginalement, la population du Sud (234 millions en 2000) devrait s'accroître d'environ 100 millions d'ici à 2025. En conséquence, les problèmes rencontrés sur les deux rives sont opposés : d'une part, l'Europe méditerranéenne doit gérer le vieillissement de sa population et le financement des retraites, d'autre part le Sud doit, pour maintenir le taux d'activité actuel, développer son économie de façon à occuper 34 millions d'actifs supplémentaires dans les vingt prochaines années.

Les populations rurales sont stables sur les deux rives (avec 60 millions de ruraux au Nord et 90 millions au Sud). La transition urbaine est quasiment terminée au Nord (130 millions d'urbains, en lente augmentation). En revanche, la population urbaine du Sud croît très rapidement et devrait passer de 150 millions en 2000 à près de 250 millions

**FIGURE 1** Le secteur agricole dans le PIB La population active dans l'agriculture



en 2025. Toutes les composantes du développement sont influencées par cette évolution. En particulier l'état de l'environnement local, notamment côtier; les consommations de transport et d'énergie ou la vulnérabilité aux catastrophes naturelles.

### ÉCONOMIE : UN ÉCART DE 1 À 5

L'ÉCONOMIE DE LA ZONE N'A PAS ÉTÉ TRÈS PERFORMANTE AU COURS de la dernière décennie, avec des taux de croissance de l'ordre de 4 à 5 % à l'Est et au Sud, et de seulement 2,5 % au Nord. Les écarts en termes de PIB sont restés importants dans la région, à l'exception des pays méditerranéens de l'Union européenne qui se sont rapprochés des niveaux du reste de l'Europe. Entre les deux rives, l'écart n'a guère changé; le pouvoir d'achat au Sud est toujours environ cinq fois inférieur à celui du Nord. D'où un fort chômage, avec des taux de l'ordre de 10 % au Nord et de 20 % au Sud.

Pour les jeunes, la situation est encore plus difficile, avec des taux de chômage qui atteignent régulièrement les 30 %. Dans les pays du Sud où ces jeunes représentent une partie importante de la population, c'est un grave problème social.

Avec une chute de 74 % de l'emploi agricole en quarante ans, l'agriculture ne représente plus au Nord que quelques pourcents des emplois et quelques pourcents du PIB.

Au Sud et à l'Est, en revanche, ce secteur contribue à environ 15 % du PIB. Les effectifs agricoles ont augmenté de 10 millions en quarante ans, pour atteindre 70 millions en 2000. L'agriculture a donc un rôle social et économique essentiel. Les surfaces irriguées ont doublé en quarante ans, avec 23 millions d'hectares en 2000, mais ne représentent que 20 % des terres arables. L'agriculture dépend donc essentiellement de la fréquence des pluies, ce qui la rend très vulnérable aux conditions climatiques et peu productive. Cette activité souffre de la désertification, de l'épuisement des sols et de la salinisation. En conséquence, la région a une balance commerciale agricole largement déficitaire, l'Égypte ou l'Algérie étant devenus de grands importateurs. Même si la productivité s'améliore, on n'attend pas de changement significatif du taux d'autosuffisance dans les décennies prochaines.

Au Sud, la diminution de la mortalité infantile, le développement de l'éducation primaire et un meilleur accès à l'eau potable et à l'assainissement devraient se traduire par un dynamisme économique accru.

## **■ ÉNERGIE : TENSION MAXIMALE SUR LA DEMANDE AU SUD**

ENTRE 1970 ET 2000, LES BESOINS EN ÉNERGIE primaire ont doublé. La demande concerne surtout les transports au Nord (30 % du total) alors qu'au Sud, la consommation résidentielle (chauffage, éclairage) représente 40 % du total et augmente rapidement. Si les hydrocarbures satisfont les trois quarts de la demande au Nord, ils représentent 96 % de la consommation au Sud et à l'Est. Ces combustibles sont essentiellement importés ; seuls quatre pays sont exportateurs d'hydrocarbures (Algérie, Libye, Égypte, Syrie), pour l'essentiel vers la région méditerranéenne (50 % pour le pétrole, 90 % pour le gaz).

D'ici à 2025, en l'absence de politique volontariste visant à contrôler les besoins, on s'attend à une augmentation de 65 % de la demande d'énergie. Dans un tel contexte, la rive sud représenterait 40 % de la demande du bassin contre 10 % en 2000 et la dépendance énergétique

de la région atteindrait 38%. D'autres scénarios sont envisageables, notamment si des efforts sont faits pour rationaliser l'usage de l'énergie. Dans ce cas (par exemple, le scénario alternatif du Plan Bleu), la demande d'énergie serait réduite de plus de 10%, soit une économie de 44 milliards de dollars par an avec un baril de pétrole à 60 dollars.

## ■ EAU : UNE PÉNURIE QUI S'AGGRAVE

L'EAU EST UN ÉLÉMENT VITAL qui concentre les intérêts environnementaux, sociétaux et économiques de la Méditerranée. C'est un enjeu majeur pour les pays méditerranéens car ils disposent uniquement de 3% des ressources en eau douce du globe et concentrent plus de la moitié de la population pauvre en eau (moins de 1 000 m<sup>3</sup> par habitant par an) soit 108 millions de personnes. Ce chiffre pourrait grimper à 165 millions de personnes en 2025. 45 millions sont actuellement en situation de pénurie (moins de 500 m<sup>3</sup>/hab./an), et cette population pourrait s'élever à 65 millions d'ici à 2025 (Plan Bleu, 2005).

Le problème de la rareté en eau des ressources méditerranéennes existe depuis longtemps. L'irrégularité de répartition des ressources dans l'espace (la rive sud ne dispose que de 13% de la ressource) et dans le temps pourrait s'aggraver en raison du changement climatique. Dans l'année, les pluies sont concentrées sur quelques jours (50-100 jours); le bassin méditerranéen subit une sécheresse estivale, au moment où il y a les plus fortes demandes en eau pour l'irrigation et le tourisme.

La demande en eau du bassin méditerranéen est de 200 km<sup>3</sup> par an avec comme principal secteur l'irrigation (65% de la demande totale), puis les besoins domestiques (15%) et enfin le tourisme. À l'horizon 2025, cette demande pourrait augmenter de 25% au Sud et à l'Est, avec des hausses particulièrement sensibles en Turquie et en Syrie.

En termes d'indice d'exploitation<sup>(1)</sup>, la région est divisée en quatre groupes : l'indice dépasse 75% en Égypte, Israël et Libye; il se situe entre 50 et 75% à Malte, en Syrie et Tunisie; entre 25 et 50% au Liban, à Chypre ou Maroc; il est inférieur à 25% en Grèce, en France et Italie.

Le premier groupe est confronté à un problème de disponibilité en eau, tandis que les autres groupes sont plutôt limités dans leur capacité à mobiliser l'eau; ils pourraient réaliser de nouvelles infrastructures de

---

(1) Indicateur qui mesure la pression relative des prélèvements annuels sur les ressources d'eau douce naturelles renouvelables conventionnelles.

gestion de l'eau. Par ailleurs, seulement 60 % des ressources en eau sont exploitables et les trois quarts de ces ressources sont irrégulières. Elles nécessitent la construction d'ouvrages de régulation permettant le stockage de l'eau, afin d'assurer l'été un approvisionnement suffisant pour l'irrigation et le tourisme (Plan Bleu, 2005).

Pour satisfaire une demande en forte croissance, deux stratégies ont été mises en place : les grands travaux et la production d'eau à partir de sources non conventionnelles. Plus de cinq cents grands barrages ont été construits au xx<sup>e</sup> siècle, stockant un total de 230 km<sup>3</sup> et de nombreux grands projets sont en cours de construction ou programmés, notamment en Égypte, Libye, Algérie, Maroc, Turquie, Chypre, Espagne, Grèce.

Toutefois, les endroits où l'on peut construire des barrages ne sont pas si nombreux. D'autres stratégies devront donc être mises en œuvre pendant la deuxième moitié de ce siècle. C'est pourquoi on envisage déjà la production d'eau par récupération du drainage agricole, réutilisation des eaux usées et production d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre. Cependant, ces méthodes ne peuvent avoir qu'un impact limité : le total des réutilisations et dessalements ne devrait pas dépasser 25 km<sup>3</sup> en 2025, dont 90 % proviendront des eaux de drainage agricole en Égypte. La maîtrise de la demande sera donc l'outil principal pour conjurer la pénurie.





# LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN MÉDITERRANÉE\*

---

(\*) Cette partie présente les résultats scientifiques les plus récents sur les changements des variables météorologiques et hydrologiques que l'on peut attendre au cours de ce siècle. Elle se fonde en particulier sur le rapport du premier groupe de travail du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (Giec), publié en 2007.



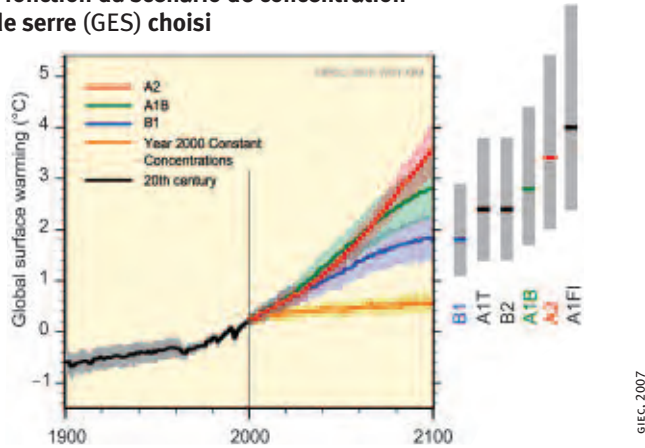
**É**TÉS CHAUDS ET SECS, HIVERS DOUX et précipitations essentiellement hivernales caractérisent le climat méditerranéen. Le passage de dépressions provoque des précipitations sur les reliefs des Pyrénées, Alpes, Apennins, Alpes dinariques (Balkans), relief turc (massif de l'Anatolie orientale, chaîne pontique, Taurus), Atlas (Maghreb). En revanche leur absence en été engendre des orages. C'est un climat de transition entre le climat désertique au Sud et le climat des moyennes latitudes au Nord. De petites fluctuations climatiques peuvent donc suffire à engendrer des évolutions sensibles aux frontières sud et nord de la zone méditerranéenne ou en altitude.

## **D DEUX TYPES DE MODÈLES CLIMATIQUES**

LES RÉSULTATS PRÉSENTÉS SONT EXTRAITS de deux types de modèles numériques qui simulent la période 1900-2100 : les modèles globaux, et les modèles régionaux. Les modèles globaux incluent tous les facteurs qui influent sur le climat (atmosphère, océan, glace de mer, végétation, fleuves et parfois chimie atmosphérique et cycle du carbone). Ils couvrent l'ensemble du globe mais possèdent une faible résolution spatiale (chaque point de grille fait 150 à 250 km de côté). À l'occasion du dernier rapport du Giec, de nombreux modèles ont été utilisés dans différents laboratoires à travers le monde et chaque groupe a réalisé des simulations afin de couvrir toute la gamme des incertitudes liées aux projections climatiques (choix du scénario, choix du modèle global, choix de codage d'un modèle donné).

À côté des modèles globaux, il existe des modèles régionaux qui couvrent seulement une partie du globe à plus haute résolution. Ces modèles possèdent une meilleure résolution spatiale (50 à 20 km) sur la zone étudiée. Ils simulent mieux les processus physiques régionaux essentiels à la bonne représentation du climat méditerranéen (reliefs, trait de côte complexe, îles, contraste terre-mer). Mais ce que ces modèles régionaux gagnent en résolution spatiale, ils le perdent sur le nombre de simulations que chaque centre peut réaliser et sur le nombre de facteurs simulés : ils ne représentent que l'atmosphère et la végétation, tandis que les caractéristiques de l'océan (température de la mer, couverture de glace) sont extraites des modèles globaux.

**FIGURE 2 Anomalies de température** (par rapport à la moyenne 1980-1999) **sur le globe en fonction du scénario de concentration en gaz à effet de serre (GES) choisi**



La moyenne multimodèles est en trait plein, les zones colorées représentent une gamme d'incertitudes ( $\pm 1$  écart-type à partir des différents modèles), la ligne orange représente le comportement du système climatique si on garde la concentration de GES constante à la valeur de 2000. Les barres grises indiquent, pour la fin du siècle, la meilleure estimation pour chaque scénario ainsi que la gamme d'incertitude probable.

## ■ AU XX<sup>e</sup> SIÈCLE, UN RÉCHAUFFEMENT PLUS PRONCÉ AU SUD

AU XX<sup>e</sup> SIÈCLE, EN EUROPE, la température a augmenté sur terre de 0,8°C, mais avec de nombreuses disparités régionales. On note une hausse particulièrement sensible sur l'Europe du Sud et la région méditerranéenne avec un réchauffement de près de 2°C sur le Sud-Ouest de l'Europe (péninsule Ibérique, Sud de la France) et très net sur le Nord de l'Afrique même s'il est plus difficilement quantifiable en raison d'un manque de données fiables.

En Europe, la hausse est surtout sensible avant 1940 et après 1970, alors qu'en Grèce et dans certaines zones de l'Europe de l'Est la température, au cours de cette période, a diminué. Pendant les années 1980 et 1990, les régions méditerranéennes sont particulièrement sensibles au réchauffement avec une hausse plus prononcée en hiver qu'en été et qui porte davantage sur les minimales de température que sur les maximales. L'amplitude du cycle diurne diminue donc.

En ce qui concerne les précipitations, l'Europe est divisée en deux : les pluies ont augmenté au Nord des Alpes, diminué au Sud de l'Europe avec une baisse de 20 % dans certaines régions de la Méditerranée. La tendance est plus contrastée en Afrique du Nord.

## ■ LES PROJECTIONS CLIMATIQUES POUR LE XXI<sup>e</sup> SIÈCLE

NOUS PRÉSENTONS ICI LES PROJECTIONS des modèles climatiques regroupées dans le rapport du Giec.

### Les grandes tendances

DEPUIS LE RAPPORT DU GIEC EN 2001, les projections régionales du changement climatique pour le XXI<sup>e</sup> siècle sont plus sûres grâce à des avancées en modélisation du climat et à des processus physiques du système climatique mieux compris. Les grandes tendances sont les suivantes :

- le réchauffement sera plus marqué sur continent que sur océan (plus faible inertie thermique et hydrique) ;
- le réchauffement provoque moins de pluies dans les zones subtropicales (dont la région méditerranéenne), davantage sous les latitudes moyennes et hautes ainsi que dans certaines zones des tropiques. La frontière entre ces zones reste floue ;
- la diminution des pluies dans les subtropiques combinée aux anticyclones subtropicaux qui migrent vers les pôles, accroît la baisse des pluies dans la partie nord des subtropiques (où se situe l'Europe du Sud) ;
- quant aux extrêmes, les conséquences liées aux vagues de chaleur, aux précipitations intenses et aux sécheresses sont désormais plus significatives au niveau régional.

Nous allons voir comment les différentes variables météorologiques (températures, précipitations, et autres) vont évoluer dans la région méditerranéenne au cours du siècle.

### Un réchauffement probable de 3,5°C dans la région

LA TEMPÉRATURE ANNUELLE MOYENNE dans la région méditerranéenne (Europe et Afrique) afficherait une hausse plus marquée que la moyenne planétaire. Le réchauffement le plus fort se situerait en été. Les températures maximales devraient augmenter plus que les minimales et davantage que la moyenne. Le **TABLEAU 1** résume les résultats des vingt et un modèles globaux du rapport du Giec de 2007 pour le scénario A1B.

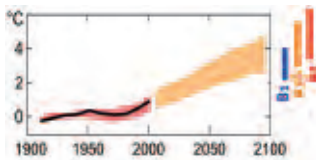
À la fin du siècle, dans ce scénario A1B, le réchauffement moyen annuel serait de 2,2 à 5,1°C avec une valeur la plus probable de 3,5°C. Le réchauffement a 50 % de chances d'être compris entre 3 et 4°C si on admet que les modèles du Giec couvrent toute la gamme des incertitudes. Le **TABLEAU 1** souligne qu'en Méditerranée, le début du réchauffement devrait devenir évident dans quinze à vingt-cinq ans suivant les saisons. Par ailleurs, à la fin du siècle, 100 % des étés seront considérés

**TABLEAU 1** Changements de la température de surface, des précipitations et de certains extrêmes pour la zone Méditerranée

	Température (°C)						Précipitations (%)						Saisons extrêmes		
	min.	25	50	75	max.	tan	min.	25	50	75	max.	tan	chaude	humide	sèche
Hiver (DJF)	1,7	2,5	2,6	3,3	4,6	25	-16	-10	-6	-1	6	>100	93	3	12
Printemps (MAM)	2,0	3,0	3,2	3,5	4,5	20	-24	-17	-16	-8	-2	60	98	1	31
Été (JJA)	2,7	3,7	4,1	5,0	6,5	15	-53	-35	-24	-14	-3	55	100	1	42
Automne (SON)	2,3	2,8	3,3	4,0	5,2	15	-29	-15	-12	-9	-2	90	100	1	21
Annuel	2,2	3,0	3,5	4,0	5,1	15	-27	-16	-12	-9	-4	45	100	0	46

Les différences sont calculées entre les périodes 1980-1999 et 2080-2099 pour le scénario A1B. Pour les 21 modèles globaux du Giec, on note les valeurs minimales, maximales, la médiane (50), les premiers (25) et dernier (75) quartiles. En faisant l'hypothèse que le signal est linéaire en temps entre les deux périodes, on indique également dans combien d'années (tan) le signal sera détectable par rapport à la variabilité naturelle du climat. La fréquence (% d'occurrence) des saisons extrêmement chaudes, humides et sèches est également indiquée. GIEC, 2007

**FIGURE 3** Anomalies de température par rapport à la période 1901-1950



GIEC, 2007

La courbe noire représente les observations, la zone rouge les simulations par les modèles du Giec et la zone orange les projections par ces mêmes modèles pour le scénario A1B. Les barres de couleur montrent la gamme d'incertitudes du réchauffement pour la période 2091-2100 pour les trois scénarios.

comme extrêmement chauds. La **FIGURE 3** donne une vision transitoire: elle montre la capacité des modèles globaux à reproduire le début du réchauffement observé sur la période récente et les projections pour la période 2001-2100.

### Des précipitations moyennes en baisse

CONTRAIREMENT AUX IDÉES REÇUES, les précipitations moyennes sur l'année diminueront dans la majeure partie de la région méditerranéenne (Europe et Afrique). Le nombre de jours de pluie devrait baisser et le risque de sécheresse augmenter. Là où elles existent, les périodes d'enneigement seront plus courtes. D'après les modèles du Giec, les précipitations seraient en baisse en toutes saisons, avec un assèchement maximum en été et une diminution médiane de 24 % des pluies à la fin du siècle pour le scénario A1B. Tous les modèles soulignent le

même phénomène dans la zone méditerranéenne pendant cette saison. Le **TABLEAU 1** (page 21) montre que cette baisse de précipitations devrait se faire sentir nettement à partir de 2050-2060, soit plus tardivement que pour les températures.

La diminution des précipitations sera principalement due à des effets thermodynamiques, comme la baisse de l'humidité relative au-dessus des continents du fait de l'augmentation du gradient terre-mer (taux de variation de température entre terre et mer) de la température. La réduction de l'humidité des sols au printemps contribuera à ce phénomène. Le **TABLEAU 1** souligne qu'à la fin du siècle, 42 % des étés seront extrêmement secs par rapport aux standards actuels.

La baisse des précipitations, associée à la hausse de l'évaporation de l'eau au printemps et au début de l'été provoquera une faible humidité des sols en été et donc des risques accrus de sécheresse. Ce phénomène est accentué par un assèchement plus précoce des sols avec une fonte des neiges plus avancée et une réduction du contenu en eau du sol au printemps. L'effet refroidissant de l'évaporation en été sera donc limité. Dans une grande partie de la région, les sols devraient s'assécher et le débit des fleuves diminuer en moyenne sur l'année (**FIGURE 18** en annexe) malgré une probable redistribution saisonnière (plus d'eau en hiver, moins au printemps et en été). La **FIGURE 4** montre que les changements hydrologiques les plus significatifs sont attendus pour la période 2080-2099 suivant le scénario A1B d'après les modèles globaux du Giec, et la **FIGURE 5** (page 25) représente un zoom sur l'Europe et la Méditerranée du comportement moyen des modèles globaux du Giec.

## **La circulation atmosphérique se déplace**

À PROPOS DE LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE, on note une extension des anticyclones subtropicaux (l'anticyclone des Açores) vers les pôles, avec un déplacement des vents d'Ouest et de la route des dépressions vers ces pôles. Ce qui peut également signifier un renforcement de la phase positive de la NAO (North Atlantic Oscillation).

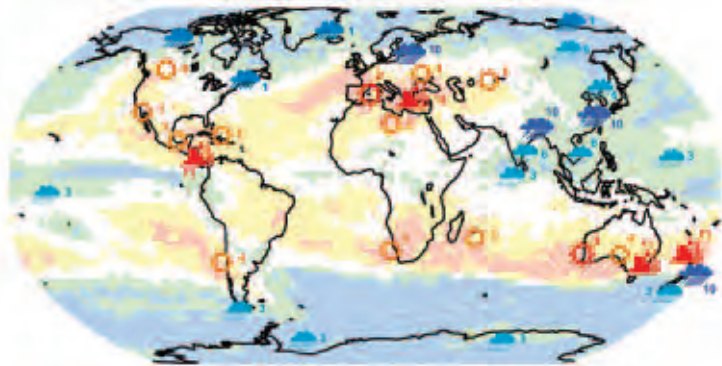
## **Extrêmes climatiques : plus de vagues de chaleur, moins de périodes froides**

À PROPOS DES EXTRÊMES, liés aux températures (voir aussi **FIGURE 19** en annexe), la région, comme une grande partie du globe, peut s'attendre à :

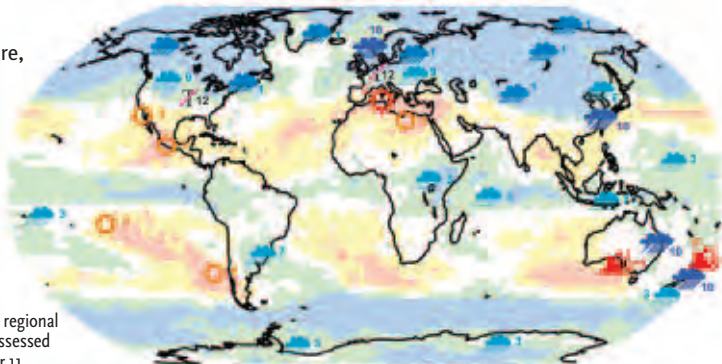
- des vagues de chaleur plus longues, plus intenses et plus fréquentes ;
- des nuits plus chaudes et des nuits froides plus rares ;

**FIGURE 4** Illustration des changements hydrologiques les plus importants en été et en hiver

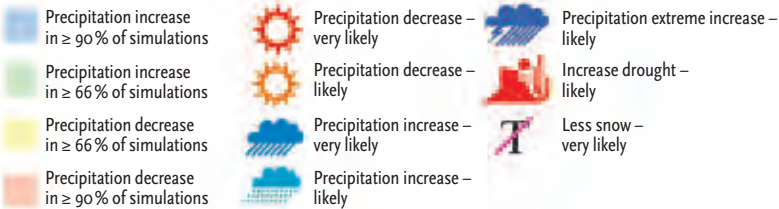
Juin,  
juillet,  
août  
(JJA)



Décembre,  
janvier,  
février  
(DJF)



Based on regional studies assessed in chapter 11



Le fond de carte représente la fraction des 21 modèles globaux qui prédisent une augmentation des précipitations moyennes en chaque point. Le scénario A1B est utilisé et on compare les périodes 1980-1999 et 2080-2099. Les résultats robustes pour les changements régionaux concernant les précipitations moyennes, les extrêmes du cycle hydrologique (pluies extrêmes, sécheresse, neige) sont explicités par des symboles :  
 symbole (2) : diminution très probable de la valeur moyenne annuelle des précipitations dans la majeure partie de la région Méditerranée ;  
 symbole (5) : diminution probable de la valeur moyenne annuelle des précipitations en Afrique du Nord ;  
 symbole (11) : augmentation probable du risque de sécheresse en Méditerranée en été.

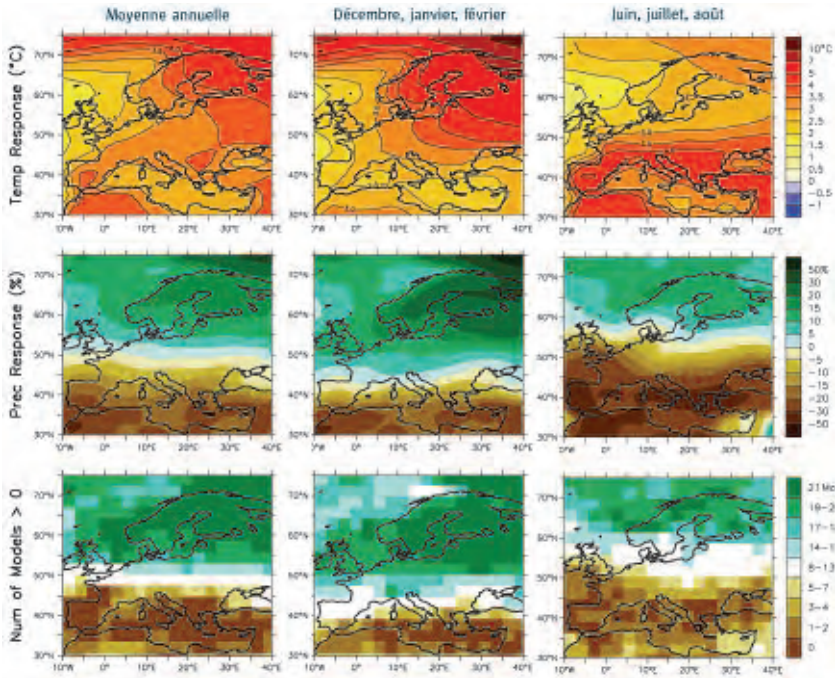
- moins de jours de gel ;
- moins de périodes froides et des vagues de froid moins fortes et moins longues ;
- une diminution de l'amplitude du cycle diurne ;
- une baisse de la variabilité temporelle (interannuelle et quotidienne) des températures en hiver surtout dans les zones enneigées mais rarement dans la région méditerranéenne ;
- une augmentation de la variabilité interannuelle des températures en été. L'intensité de cette hausse est cependant incertaine. En effet, des simulations ne montrent quasiment pas de changement là où d'autres simulent un doublement de la variabilité interannuelle qui s'explique par une humidité des sols plus faible et plus irrégulière. La capacité de l'évaporation à amortir les variations de température en est amoindrie ;
- une hausse de la variabilité quotidienne des températures en été. Les températures les plus chaudes augmentent plus que les températures moyennes pour les mêmes raisons physiques. On devrait donc connaître des étés avec plus de jours très chauds.

Quant aux extrêmes liés à l'humidité (**FIGURE 19** en annexe), les conclusions sont :

- une diminution du nombre de jours de pluie ;
- une augmentation du nombre de jours peu ou pas pluvieux ;
- une grande incertitude sur les précipitations intenses (courtes échelles de temps) dans la région. En effet, il existe une corrélation entre l'augmentation du contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère, qui tend à augmenter les pluies extrêmes, et une diminution du nombre de jours de pluie. Ce qui revient à dire qu'il y a corrélation entre une augmentation de la variabilité temporelle des pluies et une diminution de la moyenne. Au final, les événements de précipitations intenses pourraient donc augmenter ou diminuer. Des études sont en cours dans les laboratoires français (projet Cyprim, [www.cnrm.meteo.fr/cyprim](http://www.cnrm.meteo.fr/cyprim) et futur projet HyMex, [www.cnrm.meteo.fr/hymex](http://www.cnrm.meteo.fr/hymex)) afin de déterminer si les événements dits *cévenols* (pluies très intenses sur les contreforts du Massif central en automne) sont susceptibles d'augmenter en fréquence et en intensité ;
- une augmentation de la variabilité interannuelle, à plus grande échelle temporelle (mois, années), mais l'intensité des extrêmes mensuels ou annuels devrait diminuer ;
- des périodes sèches plus nombreuses, plus longues et plus fréquentes ;
- et des sécheresses continentales (liées au bilan précipitation-évaporation) en hausse en été.

**FIGURE 5** Changement de température et de précipitations pour l'Europe à partir des 21 modèles globaux du Giec pour le scénario A1B<sub>GIEC, 2007</sub>

Comparaison des périodes 1980-1999 et 2080-2099 en moyenne annuelle, en hiver et en été



En ce qui concerne la circulation atmosphérique, les dépressions et les vents, on remarque :

- un déplacement de la route des dépressions vers le Nord ;
- une baisse du nombre total de dépressions dites méditerranéennes, c'est-à-dire créées (ou renforcées) en Méditerranée, principalement au Sud des Alpes, dans le golfe de Gênes ;
- une augmentation du nombre de dépressions intenses et ce, malgré une baisse du nombre total ;
- une diminution des précipitations associées aux dépressions. Certaines études montrent que les précipitations automnales associées aux dépressions méditerranéennes pourraient cependant augmenter ;
- une baisse des vents forts (souvent associés aux dépressions). Notons que les résultats concernant les vents sont relativement incertains et dépendent des changements de circulation atmosphérique simulés.



## ► LA MÉDITERRANÉE DEVRAIT SE RÉCHAUFFER MOINS VITE QUE LES TERRES AVOISINANTES

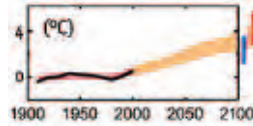
LA MÉDITERRANÉE DEVRAIT SE RÉCHAUFFER mais moins rapidement que les terres environnantes. La **FIGURE 6** illustre ce réchauffement. Une étude récente conclut à un réchauffement moyen de 2,6°C pour la période 2070-2099 comparée à 1961-1990 dans un scénario A2 (Somot et al. 2007). La salinité devrait augmenter fortement sous un climat plus sec (Somot et al. 2006). Le niveau de la mer afficherait une hausse à l'échelle globale de 0,35 mètre (entre 0,23 et 0,47 mètre, d'après le rapport du Giec en 2007) pour la période 2090-2099 par rapport à 1980-1999 dans un scénario A1B. Cette hausse ne sera pas homogène à l'échelle du globe à cause des changements de densité de l'océan et de circulation océanique. Pour la Méditerranée, plusieurs facteurs, dont certains peuvent engendrer des conséquences opposées, vont avoir une incidence sur le niveau de la mer :

- l'augmentation de la température devrait entraîner une hausse du niveau de la mer ;
- un ralentissement des courants est envisagé en raison des changements de circulation locale des courants, provoquant ainsi une augmentation relative du niveau de la mer au centre du bassin ;
- l'augmentation de salinité due à un climat plus sec pourrait, en revanche, faire baisser le niveau de la mer car une eau plus salée est plus dense ;
- les changements de pression atmosphérique seraient susceptibles d'augmenter la pression, ce qui contribuerait à abaisser le niveau de la mer ;
- le bilan hydrique, c'est-à-dire la différence entre l'évaporation et les précipitations plus l'apport des rivières, devrait être modifié. Il faut également tenir compte des échanges entre la Méditerranée, la mer Noire et l'océan Atlantique ;
- le changement global du niveau de la mer devrait se transmettre par le détroit de Gibraltar.

Le problème est complexe. Seules des études méthodologiques ont été réalisées par le laboratoire anglais Noc (National Oceanographic Center) en collaboration avec Météo-France et aucune estimation solide ne peut être donnée pour la Méditerranée. Selon cette étude (Tsimplis et al. 2007), l'élévation serait au maximum de 0,35 mètre pour la fin du siècle avec des valeurs plus faibles près des côtes. Notons qu'au xx<sup>e</sup> siècle, la hausse du niveau de la Méditerranée s'est faite au rythme de 1,1-1,3 mm/an, dans la fourchette basse par rapport aux autres régions du globe.

**FIGURE 6 Anomalies de température par rapport à la période 1901-1950 pour la mer Méditerranée**

Ce schéma reprend la méthode appliquée pour la figure 2 mais en tenant compte des zones maritimes et pas uniquement des points continentaux.



À propos des vagues et des inondations dues aux tempêtes, là encore les résultats sont préliminaires mais la diminution du nombre de dépressions et du vent devrait réduire ces risques. Une étude sur la mer Adriatique conclut à une diminution des vagues hautes et à aucun changement sur les surcôtes liées aux dépressions et au vent.

La salinisation des nappes phréatiques et des sols situés au bord de la mer Méditerranée pourrait également devenir un problème. À notre connaissance, la question de l'érosion côtière n'a pas été abordée pour le moment dans des études réalistes pour le  $xxi^e$  siècle.

Il y aura peu de cyclones tropicaux en Méditerranée. Le cisaillement de vents en altitude et la faible extension maritime devraient freiner leur développement. Cependant, une étude récente fait état de l'apparition d'un cyclone tropical dans certains modèles régionaux au cours de la période 2070-2099 dans un scénario A2. D'autres études révèlent que certains cyclones présents dans l'Atlantique pourraient avoir une trajectoire qui, en fin de vie, se rapprochent du Maroc et de la péninsule Ibérique.

**UN RISQUE MAJEUR POUR LA BIODIVERSITÉ**

IL EST ENCORE DIFFICILE DE PRÉVOIR les impacts précis, espèce par espèce, du changement climatique en Méditerranée. Cependant on peut en résumer les grands principes. Un déplacement vers le Nord et en altitude des espèces (plantes, insectes, animaux) a été observé au  $xx^e$  siècle. Ce déplacement est lié principalement à la migration des niches écologiques, c'est-à-dire de la zone où ces espèces peuvent vivre, au fur et à mesure du réchauffement des températures.

On a noté la modification des dates de migration des oiseaux ou des récoltes de certains fruits. Ce phénomène s'amplifierait. Certaines espèces devraient donc disparaître à partir du moment où la migration des niches écologiques se fera plus vite que celles des espèces (certains arbres en particulier) ou que la migration des espèces rencontrera des barrières physiques infranchissables (mer Méditerranée, montagne). La

disparition de certaines niches écologiques, comme celles situées en altitude, n'est pas exclue.

La migration vers le Nord ou en altitude d'insectes pourra aussi affecter la santé animale et humaine si certains vecteurs de maladies tropicales sont capables de s'adapter au climat de régions jusque là non colonisées. Des recherches sont en cours mais on est toujours incapable de mesurer avec précision comment les risques sanitaires vont évoluer.

80 % des impacts observés au xx<sup>e</sup> siècle sur les systèmes biologiques et écologiques vont dans le même sens que ceux attendus au xxi<sup>e</sup> siècle pour le changement climatique, telle est une des conclusions majeures du dernier rapport du Giec de 2007. Ce rapport précise également qu'en 2050, le risque d'extinction des espèces animales s'élèvera de 30 à 40 %. C'est donc un risque majeur pour la biodiversité dans le monde.

## **D DE NOMBREUSES INCERTITUDES**

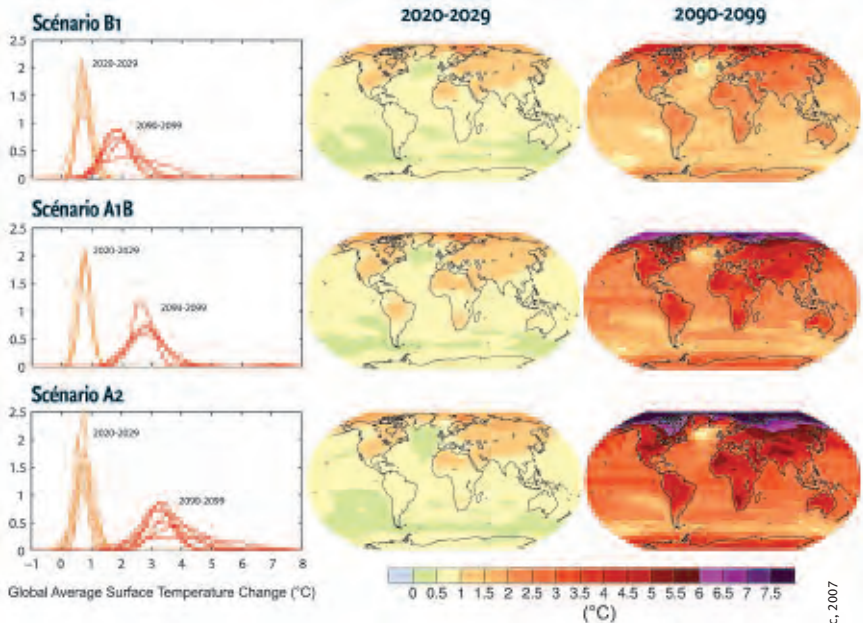
LA ZONE MÉDITERRANÉENNE EST UNE RÉGION où les modèles s'accordent le plus sur les impacts du changement climatique. Les résultats précédents sont donc relativement certains et, en tous cas, nettement plus que pour d'autres régions du globe. Cependant la localisation précise des changements, comme par exemple la frontière entre l'augmentation et la diminution des pluies en Europe, reste incertaine et varie d'un modèle à l'autre (**FIGURES 16 et 17** en annexe). Comme le montre le **TABLEAU 1** (page 21), le réchauffement à l'échelle de la région varie de plus d'un facteur 2, quels que soient les modèles du scénario A1B.

Ces incertitudes reflètent la sensibilité du climat méditerranéen à l'amplitude du changement climatique global, aux changements de circulation atmosphérique et aux variations d'intensité de la circulation thermohaline<sup>(1)</sup> en Atlantique. À ces incertitudes, s'ajoutent celles liées au choix du scénario, c'est-à-dire aux choix futurs de l'humanité en terme énergétique, économique et démographique (**FIGURE 2**, page 17 et **FIGURE 7**).

Il reste également des défauts dans la modélisation des processus physiques qui régulent localement les cycles de l'eau et de l'énergie, d'où des incertitudes sur les valeurs moyennes et sur les extrêmes. Les Anglais du Met-Office ont essayé de caractériser cette incertitude interne aux modèles en perturbant de manière aléatoire les paramètres de leur modèle (**FIGURE 8** pour la zone méditerranéenne).

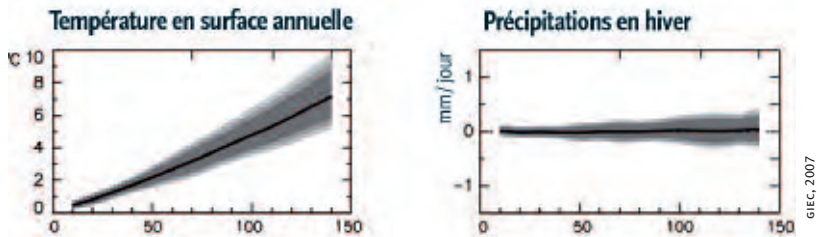
(1) Circulation à grande échelle de l'eau des océans, engendrée par des écarts de température et de salinité des masses d'eau.

**FIGURE 7** Changement de température de surface pour le futur proche (2020-2029) et le futur lointain (2090-2099) par rapport à la période 1980-1999. Scénarios B1, A1B et A2



Les courbes de gauche montrent les incertitudes autour de la valeur moyenne sur le globe pour les deux périodes et chaque scénario.

**FIGURE 8** Résultats pour la région méditerranéenne issus d'un ensemble de simulations réalisées en perturbant les paramètres de la physique du modèle anglais pour des simulations de 150 ans incluant une croissance de 1% par an du taux de CO<sub>2</sub>



La médiane et les intervalles de confiance à 80 %, 90 % et 95 % sont tracés.

Autre source d'incertitude, la rétroaction positive de l'eau du sol sur l'assèchement et le réchauffement de la région méditerranéenne est certes identifiée mais mal quantifiée. Par ailleurs, la prise en compte d'une mer Méditerranée à haute résolution et interactive semble renforcer le réchauffement climatique simulé par les modèles régionaux (Somot et al. 2007). Des progrès majeurs sont donc à attendre au cours des prochaines années, ce qui permettra d'affiner les projections.

La variabilité naturelle du climat méditerranéen est également un frein à des projections précises notamment lorsqu'on s'intéresse aux projections climatiques à moyen terme.

Dans les dix à vingt prochaines années, cette variabilité interannuelle d'origine naturelle risque de rendre moins perceptible l'impact du changement climatique. C'est ce qu'illustre la **FIGURE 7** (page 29) qui montre le début du réchauffement – la mesure de l'impact propre au réchauffement sur le climat – pour les années 2020 et 2090. Ce schéma met en évidence que le signal en 2020 reste faible et a même une probabilité non nulle d'être non détectable. Le changement climatique serait alors masqué par la variabilité naturelle du climat. Rappelons cependant que le **TABLEAU 1** (page 21) indique qu'il est probable que les changements annoncés pour l'été soient visibles d'ici quinze ans pour la température et cinquante-cinq ans pour les précipitations.

Actuellement, l'impact que pourrait avoir un ralentissement de la circulation thermohaline en Atlantique (prévue par une majorité de modèles globaux) n'est pas clair. Il semble toutefois probable que ce phénomène affectera peu la réaction du climat méditerranéen au changement climatique. Il est peu probable que ce ralentissement transforme le réchauffement en refroidissement même sur les côtes du Nord de l'Europe. L'hypothèse, reprise par les médias, que le changement climatique pourrait mener à un refroidissement important en Europe, n'est donc pas fondée.

Les différents types d'incertitudes listés ci-dessus dans la réponse physique (température, précipitations) au changement climatique, se traduisent dans la réponse des extrêmes climatiques, des écosystèmes et des autres domaines influencés par le changement climatique (agriculture, tourisme, économie). Le travail sur ces incertitudes mobilise la communauté scientifique à travers des projets d'intercomparaison européens ou internationaux ; on peut donc espérer des progrès rapides.



III

L'IMPACT DU CHANGEMENT  
CLIMATIQUE

**D**ES ESTIMATIONS CHIFFRÉES sur les impacts démographiques et financiers du changement climatique, sont proposées par le deuxième groupe de travail du Giec dans le quatrième rapport. Mais ces études se concentrent sur de grandes régions, notamment l'Europe et l'Afrique, et ne s'intéressent pas spécifiquement à la région méditerranéenne. Par exemple, le risque de stress hydrique ou d'inondation s'amplifiera en Europe et en Afrique pour des centaines de millions d'individus (**TABLEAU 2**). Et le risque lié à la sécurité alimentaire augmentera en Afrique pour des dizaines de millions de personnes. Or, une part importante de cette population à risque se trouve dans le bassin méditerranéen.

Quelques auteurs (Nordhaus, Fankhauser, Tol, Mendelsohn) évaluent, toujours par grandes régions, les dommages macroéconomiques attendus. Là encore, la zone méditerranéenne est divisée entre l'Europe et l'Afrique. Certaines études (**TABLEAUX 3 et 4** page 35) soulignent l'immense vulnérabilité de l'Afrique, identifiée comme la zone la plus touchée, avec des chutes du PIB qui peuvent atteindre 8 % pour un doublement de la concentration de CO<sub>2</sub>. Cette fragilité n'est que partiellement attribuable à la rive sud de la Méditerranée, mais l'Afrique du Nord est identifiée comme une zone à hauts risques.

Tous les auteurs et bien d'autres spécialistes rappellent que les résultats de ces études sont incertains et que de nombreux processus techniques ou économiques ne sont pas pris en compte par les modèles utilisés. Il est quasiment impossible d'évaluer le coût économique des dommages futurs qui dépendent avant tout de l'évolution du modèle de développement choisi pour les prochaines décennies et de la capacité de réaction mise en œuvre par les sociétés pour répondre à ces défis (voir par exemple Hallegatte, 2007).

Ce document ne proposera pas un chiffrage du coût économique du changement climatique dans la zone méditerranéenne, d'abord parce que c'est impossible et parce qu'ensuite ce n'est pas le plus utile. Cette étude tentera plutôt d'identifier les points de vulnérabilité de la zone méditerranéenne, afin de proposer des pistes de réflexion sur les stratégies à adopter pour réduire ces impacts.

**TABEAU 2** Population avec un risque de stress hydrique, d'inondation, ou de pénurie alimentaire, en Europe et en Afrique, pour quatre scénarios du Giec (A1, A2, B1, B2), en utilisant les projections du modèle HadCM3

	Population vivant avec un risque accru de stress hydrique Arnell, 2004 (min/max)				Augmentation du nombre annuel moyen de victimes d'inondations côtières Nicholls, 2004 (%)				Population supplémentaire en risque de sous-nutrition Parry et al., 2004 (min/max)			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
Europe	270	382/ 493	233	172/ 183	1,6	0,3	0,2	0,3	0	0	0	0
Afrique	408	691/ 909	397	492/ 559	2,8	12,8	0,6	13,6	21/ 157	-2/ 200	8/ 23	-8/ 89
En millions												GIEC, 2007

## REPENSER LA GESTION DE L'EAU

LA CONSÉQUENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE sur les ressources en eau et donc sur l'agriculture est préoccupante pour plusieurs raisons. Tout d'abord, tout impact négatif sur la disponibilité en eau et la sécurité alimentaire peut avoir des effets désastreux sur le bien-être des populations. Ensuite, l'agriculture est un secteur économique important dans la plupart des pays de la Méditerranée et une réduction, même limitée, de la productivité entraînerait une dégradation générale. Pour ces deux raisons, un choc pourrait déclencher des migrations, notamment des campagnes vers les villes. Enfin, on utilise pour gérer l'eau des infrastructures lourdes qui doivent être planifiées de nombreuses années à l'avance et qui, une fois construites, sont difficilement modifiables. C'est donc un secteur où les changements non (ou mal) anticipés ont des effets particulièrement négatifs. Il faut donc prendre en compte dès aujourd'hui les évolutions futures du climat dans la planification des infrastructures de gestion de l'eau.

### Le stress hydrique va s'amplifier

LE CHANGEMENT ET LA VARIABILITÉ DU CLIMAT vont ajouter une pression sur la disponibilité, l'accessibilité et la demande en eau dans le bassin méditerranéen. Or, même en l'absence de changement climatique, de nombreux pays de la rive sud vont excéder les limites de leurs ressources en eau «économiquement utilisable» avant 2025 (Ashton, 2002) du fait de la croissance des populations et d'une utilisation plus intense de l'eau.



L'indice d'exploitation des ressources en eau est déjà très élevé dans la région, avec des valeurs supérieures à 50 % en Tunisie, Algérie ou Soudan, et supérieures à 90 % en Égypte et en Libye (ECA, 2005). La **FIGURE 9** (page 37) montre le nombre de gens pour qui le risque de stress hydrique (et de sous-nutrition) va augmenter en Afrique du Nord, suivant l'intensité du réchauffement. Plusieurs centaines de millions de personnes subiront des réchauffements de l'ordre de 2°C (prévu pour la fin du siècle). Le choc engendré est loin d'être négligeable. Les gouvernements devront intégrer ce problème pour en limiter les conséquences.

L'Égypte est un exemple frappant. On estime que le pays utilisait environ 70 km<sup>3</sup> d'eau en 2000, ce qui est largement supérieur aux ressources disponibles (ECA, 2005). Il est donc urgent de réduire l'écart grandissant entre l'eau disponible et une demande qui augmente rapidement. L'agriculture consomme environ 85 % des ressources totales en eau. En Égypte, c'est un secteur important qui représente près de 20 % du PIB. Plus de 70 % des surfaces cultivées dépendent de systèmes d'irrigation peu efficaces qui causent des pertes importantes dans les récoltes, une baisse de la productivité et des problèmes de salinisation. De plus, des pratiques agricoles non respectueuses de l'environnement et une irrigation inadaptée affectent la qualité des ressources en eau du pays. Pour faire face à ces problèmes, des mesures ambitieuses ont été mises en place dans le cadre d'un plan national d'amélioration.

Le changement climatique complique la situation. La montée du niveau de la mer réduira probablement la surface du delta du Nil : entre 12 et 15 % des surfaces agricoles risquent de disparaître, sans compter les pertes occasionnées par le développement des villes côtières. La hausse de la température va probablement réduire la productivité agricole et augmenter les besoins en eau pour l'agriculture. Le changement climatique engendre une incertitude sur l'évolution du débit du Nil, essentiel à l'activité agricole. De plus, la population devrait augmenter pour atteindre de 115 à 180 millions d'habitants en 2050, amplifiant d'autant le stress hydrique dans tous les secteurs. Et l'augmentation des surfaces irriguées réduit la capacité du pays à gérer des variations de flux (Conway, 2005).

## **Adapter les infrastructures aux changements hydrologiques**

DE NOMBREUX BARRAGES ASSURENT un certain niveau d'approvisionnement malgré la grande variabilité des précipitations et des écoulements dans la région méditerranéenne. Pour évaluer précisément l'effet du changement climatique, il est donc important de déterminer la sensibi-

**TABLEAU 3** Dommages annuels provoqués par le doublement de la concentration de CO<sub>2</sub>, exprimés en termes financiers

	Frankhauser, 1995		Tol, 1995	
	Md US\$	% PIB	Md US\$	% PIB
Union européenne	53,6	1,4	-	-
USA	61,0	1,3	-	-
Autres membres de l'OCDE	55,9	1,4	-	-
OCDE Amérique	-	-	74,2	1,5
OCDE Europe	-	-	56,5	1,3
OCDE Pacifique	-	-	59,0	2,8
<b>Total OCDE</b>	<b>180,5</b>	<b>1,3</b>	<b>189,5</b>	<b>1,6</b>
Europe de l'Est/CEI	18,2	0,7	-7,9	-0,3
Économies planifiées d'Asie	16,7	4,7	18,0	5,2
Afrique	-	-	53,5	8,6
Amérique latine	-	-	30,3	8,7
Moyen-Orient	-	-	31,0	4,3
<b>Total non OCDE</b>	<b>89,1</b>	<b>1,6</b>	<b>126,2</b>	<b>2,7</b>
<b>Total mondial</b>	<b>269,6</b>	<b>1,4</b>	<b>315,7</b>	<b>1,9</b>

GIEC, 2001

**TABLEAU 4** Estimation régionalisée des dommages du changement climatique

	Mendelsohn et al.			Nordhaus et al.	Tol
	+ 1,5°C 2000	+ 2°C 1997	+ 2,5°C 2000	+ 2,5°C	+ 1°C 2002
Am. du Nord	-	-0,3	-	-	-3,4 (1,2)
USA	-	-	-0,3	0,5	-
OCDE Europe	-	-0,4	-	-	-3,7 (2,2)
UE	-	-	-	2,8	-
OCDE Pacifique	-	-	-	-	-1,0 (1,1)
Japon	-	-	0,1	0,5	-
Europe de l'Est/CEI	-	-	-	-	-2,0 (3,8)
Europe de l'Est	-	-	-	0,7	-
Russie	-1,1	-11,1	-0,7	-	-
Moyen-Orient	-	-	-	2,0	-1,1 (2,2)
Amérique latine	1,3	-	-	-	0,1 (0,6)
Brésil	-	1,4	-	-	-
Asie du Sud/Sud-Est	0,8	-	-	-	1,7 (1,1)
Inde	-	2,0	4,9	-	-
Chine	-	-0,4	-1,8	0,2	-2,1 (5,0)
Afrique	-	4,7	-	3,9	4,1 (2,2)
<b>Pays développés</b>	-0,12	-0,1	0,03	-	-
<b>PVD</b>	-0,05	0,8	-0,17	-	-
<b>Total mondial</b>					
Pond. PIE	-0,09	0,3	-0,1	1,7	-2,3 (1,0)
Pond. Pop	-	-	-	2,2	-
Prix moyen mond.	-	-	-	-	2,7 (0,8)
Pond. Équité	-	-	-	-	-0,2 (1,3)

Les dommages en positif, les effets positifs en négatif ;  
les nombres entre parenthèses sont les écarts-type dans l'étude de Tol

GIEC, 2001

lité de ces barrages aux ratios niveaux/volumes et de regarder comment des investissements supplémentaires dans ce type d'infrastructures pourraient améliorer la situation.

Les volumes stockés sont extrêmement sensibles au moindre changement des écoulements. La question est donc de savoir si, en gardant les mêmes infrastructures et en changeant les règles opérationnelles, il est possible de s'adapter aux différents scénarios d'écoulement. Selon la thèse de Lettenmaier and Sheer (1991), une adaptation est envisageable mais elle augmenterait le risque d'inondations.

La construction de barrages reste une solution possible mais le choix des sites adéquats devient de plus en plus difficile, d'autant qu'un barrage engendre des coûts économiques, environnementaux et sociaux importants. Une autre solution consisterait à augmenter la capacité de stockage des barrages existants. Ce qui permet, lorsque l'écoulement moyen diminue, de régulariser l'apport en eau en utilisant plus efficacement la variabilité interannuelle. Cependant, avec une augmentation de la surface d'eau libre des réservoirs et la hausse des températures, les pertes dues à l'évaporation seront accrues. De même, au-delà d'une certaine taille de barrage, toute l'eau est captée et la diminution du ruissellement ne peut plus être compensée.

Par ailleurs, la conception de ce type d'infrastructures se heurte à un problème majeur. Avec les incertitudes qui planent sur les paramètres météorologiques, il faudrait réviser les hypothèses classiques de variations répétitives du climat dans la conception et la gestion des infrastructures. Le défi consiste à intégrer, en plus de la variabilité naturelle déjà prise en compte, le changement climatique afin d'assurer leur fiabilité à long terme (Pacific Institute, 2003). Le ruissellement, particulièrement difficile à prévoir, est le paramètre le plus important à intégrer dans la conception des ouvrages, tandis que c'est la hausse des températures qui a un impact majeur sur la demande en eau.

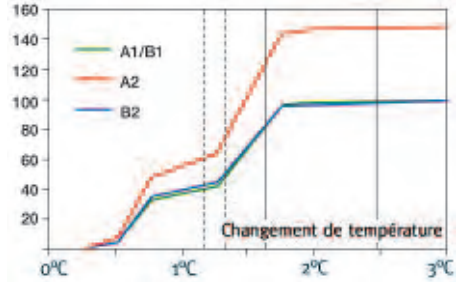
Des études menées en Grèce par Mimikou (1991) sur des bassins montagneux présentant une couverture neigeuse saisonnière et des mécanismes de rétention de l'eau, révèlent un risque accru de ne pas satisfaire la demande en eau et la production d'électricité.

Les niveaux de risque sont beaucoup plus affectés par la réduction des précipitations que par la hausse des températures. Pour satisfaire les demandes en eau et en énergie à des niveaux de risque acceptables, il faudrait augmenter le volume de stockage en cas de diminution des précipitations (Mimikou, 1991). Toutefois, même en tenant compte des

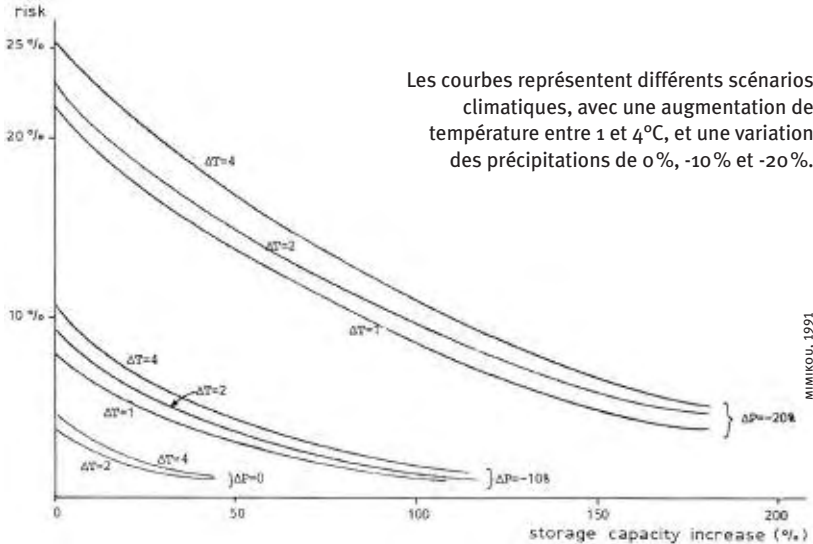
**FIGURE 9** Nombre de personnes en Afrique du Nord vivant avec un stress hydrique accru en 2055 (en millions)

Les scénarios sont basés sur le modèle HadCM3 et les couleurs représentent différentes projections pour l'évolution de la population.

ARNELL, 2005 ; GIEC, 2007



**FIGURE 10** Risque d'incapacité à satisfaire la demande en eau pour la production d'électricité au niveau du réservoir de Mesohora (Grèce), en fonction du volume de stockage d'un barrage



mesures d'adaptation possibles, le risque d'être incapable de satisfaire la demande augmente dans tous les scénarios envisagés.

Le changement climatique aggrave le problème de la rareté de l'eau qui existe déjà en Méditerranée. Il complique les décisions à prendre en termes d'investissements et requiert une expertise supplémentaire pour redimensionner des infrastructures déjà existantes ou en cours de conception. Construire un barrage dépend donc du niveau de demande d'eau que l'on veut garantir mais aussi des prévisions de précipitations. Si les précipitations diminuaient considérablement, certains projets

devraient être remis en question. En revanche, une baisse modérée des précipitations pourrait avoir un effet atténué grâce à la construction d'ouvrages plus importants. Attention toutefois aux coûts d'opportunité : de tels investissements pourraient être utiles dans d'autres secteurs.

## ■ DES EFFETS SUR L'AGRICULTURE ET LE MONDE RURAL

### La productivité agricole réduite

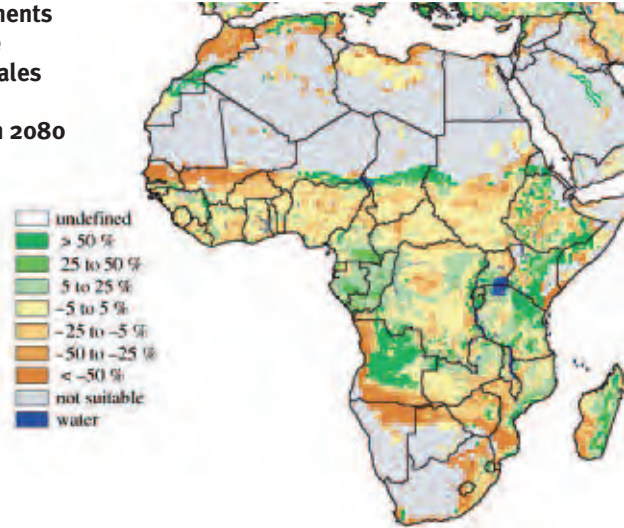
DES BAISSES DE PRODUCTIVITÉ AGRICOLE sont attendues dans la région méditerranéenne (Olesen and Bindi, 2002 ; Maracchi et al., 2005 ; Agoumi, 2003 ; Olesen et al., 2007). Les fourchettes basses suggèrent une diminution de la productivité, (de -30 à +5% pour les légumes en 2050) et des augmentations de la demande en eau pour les cultures de printemps (de 2 à 4% pour le maïs et de 6 à 10% pour les pommes de terre en 2050. Audsley et al., 2006 ; Giannokopoulos et al., 2005). En Égypte, le changement climatique pourrait réduire la production de nombreuses cultures, -11% pour le riz, -28% pour le soja, d'ici à 2050 (Eid and El-Marsafway, 2002). Ces changements sont cependant très variables dans l'espace, comme l'illustre la **FIGURE 11**, extraite de Fischer et al. (2005), qui souligne les changements de productivité pour les céréales dans toute l'Afrique.

Une étude de Bindi et Moriondo (2005) analyse les conséquences du changement climatique sur quatre grands types de culture : culture d'été de type C4 (maïs), légumes (haricot, soja ou lentilles selon les pays), culture d'été de type C3 (tournesol), plantes à tubercule (patate) et céréales (blé ou orge). Cette étude a évalué les changements de productivité de ces cultures, en tenant compte de la fertilisation par le CO<sub>2</sub>, puisqu'une plus grande concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère favorise la croissance de la végétation. Leurs résultats, reproduits sur la **FIGURE 12** (page 41), sont inquiétants : on constate des baisses de toutes les cultures dans tous les pays, quels que soient les scénarios (pessimistes ou optimistes).

Adopter des stratégies d'adaptation réduirait, selon les auteurs, les effets du changement climatique, voire les rendraient positifs ; en effet, anticiper les semis éviterait aux cultures le stress hydrique pendant la période de croissance ; utiliser des cultures à croissance plus lente compenserait certains effets négatifs du changement climatique. Ces choix nécessiteraient davantage d'eau pour l'irrigation, notamment pour les

**FIGURE 11** Changements de la productivité agricole des céréales en Afrique, dans un scénario A2 en 2080

FISCHER ET AL., 2005



cultures à long cycle (entre 25 et 40 % d'eau supplémentaire). Mais cette eau peut ne pas être disponible dans le futur.

Enfin, la plus grande fréquence d'événements extrêmes à des étapes précises du développement de certaines cultures (par exemple, le stress thermique pendant la période de floraison ou la pluie lors des semis), des précipitations plus intenses et des périodes sèches plus longues risquent de réduire la productivité des cultures d'été (par exemple le tournesol). Il est important de noter en effet que la plupart des études sur l'agriculture se sont concentrées sur la variation des conditions moyennes et n'ont pas tenu compte des phénomènes extrêmes, qui pourraient jouer un rôle capital.

### De plus en plus d'exode rural

DANS CES SCÉNARIOS, LES ZONES DE PRODUCTION agricole se concentrent dans les pays du Nord tandis que les pays du Sud deviennent de plus en plus dépendants des importations. En fait, cette tendance existe déjà dans les scénarios de référence sans changement climatique mais elle est plus marquée avec les importations des pays du Sud croissant jusqu'à 25 %. Enfin, le changement climatique pourrait amoindrir la sécurité alimentaire<sup>(1)</sup> des populations rurales des régions en dévelop-

(1) « Food Security exists when all people, at all time, have physical and economic access to sufficient, safe and nutritious food to meet their dietary needs and food preferences for an healthy and active life. » ([www.fao.org/sprf](http://www.fao.org/sprf)).

pement. Souvent, celles-ci pratiquent une agriculture vivrière dont l'ex-cédent assure un revenu pécuniaire. Beaucoup sont établies sur des terres aux rendements faibles. L'épuisement des sols, l'absence de nouvelles terres, la déforestation et l'érosion, ajoutés aux risques accrus de pénurie d'eau, remettent en cause leur subsistance.

Les impacts du changement climatique s'ajouteront à la liste des facteurs favorisant l'exode rural, voire accéléreront ce phénomène. L'implantation de ces populations dans les mégalo-poles du tiers-monde reviendrait essentiellement à une urbanisation de la pauvreté rurale : installations précaires dans des zones sans accès aux services de base (adduction et assainissement d'eau, électricité...) et soumises aux risques naturels (glissement de terrain dans des territoires impropres à l'urbanisation). Ainsi, le changement climatique pourrait aggraver la pauvreté et la criminalité dans les zones urbaines et entretenir un état latent de troubles sociaux.

La vulnérabilité des économies de la rive sud de la Méditerranée, en particulier du secteur agricole, dépend largement du développement économique de la région d'ici au milieu de ce siècle. Un développement rapide permettrait de diminuer la part de l'agriculture dans l'économie, ce qui réduirait la fragilité macroéconomique des pays, et limiterait le nombre de personnes employées dans ce secteur sensible. Le recul de l'agriculture vivrière au profit d'activités à plus forte valeur ajoutée diminuerait largement la vulnérabilité des populations les plus pauvres. Le moyen le plus efficace de limiter les impacts du changement climatique reste donc le développement économique et la lutte contre la pauvreté.

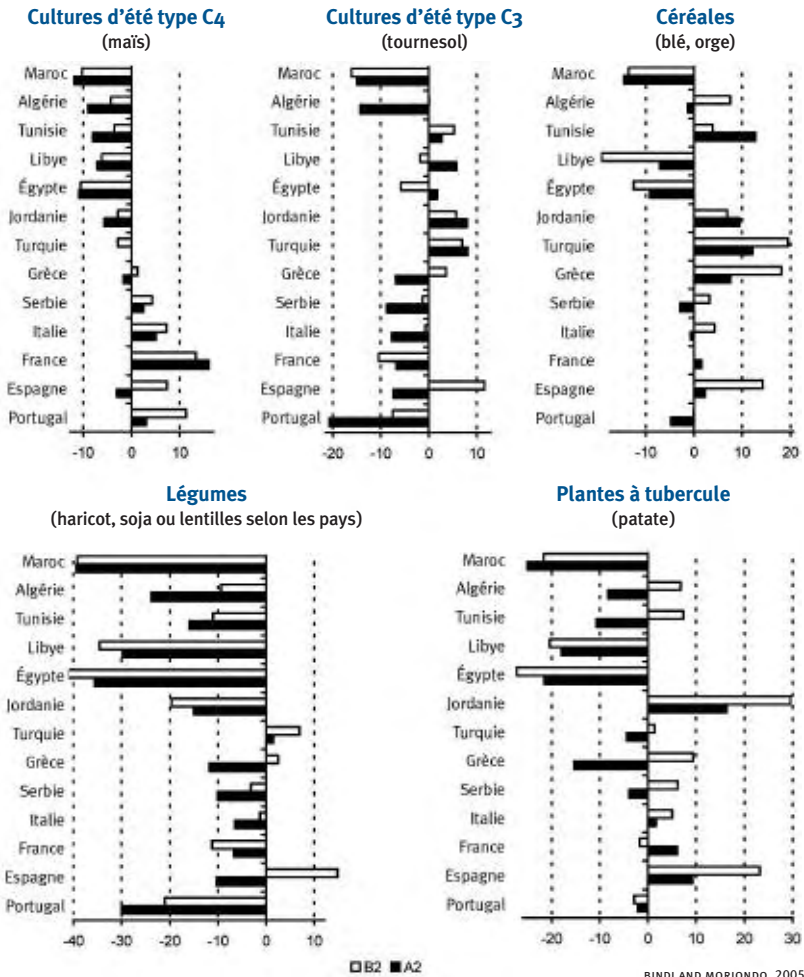
## ► LA PÉNURIE D'EAU, SOURCE DE CONFLIT OU DE COOPÉRATION ?

DES DÉBATS OPPOSENT DES SPÉCIALISTES (souvent appelés *néo-Malthusiens*) qui pensent que les pénuries d'eau seront une source de conflit, et ceux (souvent nommés *Cornucopiens*) qui estiment au contraire que ces problèmes pousseront à plus d'entraide entre les pays. Il est impossible de trancher, car on peut difficilement prévoir la situation politique internationale sur plusieurs décennies.

Toutefois, deux points sont essentiels. Premièrement, les conflits pour l'usage de l'eau ont lieu plus souvent à l'intérieur des pays, entre des groupes sociaux ou ethniques plutôt qu'entre des pays. Deuxièmement, la collaboration est plus facile quand les problèmes sont anticipés, quand cette entraide a lieu avant qu'une crise réelle ne se manifeste.

**FIGURE 12** Impact du changement climatique sur la productivité des cultures

Changements en pourcentage par rapport à la productivité actuelle



BINDI AND MORIONDO, 2005

Quand la situation devient brutalement compliquée et que les institutions internationales chargées de gérer ces problèmes n'ont pas été créées en amont, les positions se durcissent et la collaboration devient difficile. Ces deux points vont être détaillés ci-dessous.

Les conflits pour l'usage de l'eau sont, on l'a dit, majoritairement internes aux États et engendrent régulièrement des tensions. Rappelons les oppositions populaires en Espagne à tout projet de transfert d'eau



entre provinces (Drain, 2003; Dupuy, 2001). En 1993, le Plan hydrologique national (PHN) du gouvernement González prévoyait une dérivation des eaux de l'Ebre, principal fleuve méditerranéen du pays, en faveur de Madrid. La tempête de protestations soulevée à l'annonce du plan avait contraint le Premier ministre à abandonner ce projet.

Début 2001, José María Aznar avait essayé à son tour l'hostilité des foules; le nouveau plan prévoyait cette fois un transfert d'eau de l'Ebre vers les régions de Valence et de Séville. Les principales oppositions venaient bien sûr de l'Aragon et de la Catalogne, riverains du cours inférieur de l'Ebre. Dès lors, que peut-il en être de la solidarité entre pays de l'Union européenne dont l'environnement risque d'être bouleversé par le changement climatique ? Le transfert d'eau du bassin du Rhône vers Barcelone (si le projet voit le jour) sera-t-il indéfiniment accepté par les populations du Languedoc ? Quels mécanismes pourrait-on mettre en place pour compenser les inégalités entre une Europe du Nord relativement épargnée et une Europe du Sud et un bassin méditerranéen exposés au risque chronique de sécheresse et de tensions accrues sur l'eau ?

Les plus optimistes comme Wolf (Wolf et al., 2003) rappelleront que *«s'il est indéniable que les ressources en eau peuvent être à l'origine de divergences, le bénéfice de mesures de coopération est nettement supérieur à celui qu'on espère retirer d'un conflit. En d'autres termes, l'eau devrait être davantage un vecteur de coopération qu'une source de conflits»*.

Au cours des cinquante dernières années en effet, 1 831 interactions (conflits et mesures de coopération confondus) ont été enregistrées; 7 différends ont donné lieu à des guerres, 507 à des actions militaires de plus ou moins grande envergure et environ 200 traités ont été signés, sur un total de 1 228 mesures de coopération<sup>(1)</sup>. Pourtant, des tensions et des conflits pourraient notamment provenir de ressources partagées sur plusieurs territoires (bassins déversants ou grands aquifères<sup>(2)</sup>). Les exemples les plus cités concernent le Moyen-Orient (Lonergan et Kavanagh, 1991) : notamment le croissant fertile où le projet turc, qui consiste à barrer l'Euphrate en Anatolie, a déjà causé des tensions entre la Turquie et ses voisins syriens et irakiens ; la vallée du Nil, qui traverse quatre pays ou encore la vallée du Jourdain et ses aquifères souterrains.

---

(1) Source : [http://www.unesco.org/water/wwap/facts\\_figures/partager\\_eaux.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/facts_figures/partager_eaux.shtml)

(2) Consulter par exemple la Transboundary Freshwater Dispute Database (<http://www.transboundarywaters.orst.edu>) ou bien la chronologie établie par P. Gleick sur les conflits liés à l'eau (<http://worldwater.org/conflictIntro.htm>)

Jusqu'à présent, l'Égypte, pays le plus développé de la vallée du Nil, a pu maintenir une domination politique, économique et militaire sur le fleuve et s'en assurer le plus grand usage, les pays en amont comme l'Éthiopie et le Soudan disposant, à la différence de l'Égypte, d'autres ressources. Cette pression en amont pourrait cependant s'intensifier sous l'effet de la poussée démographique, du développement de l'agriculture et du changement climatique, lesquels provoqueront une raréfaction de la ressource en aval et une dégradation de sa qualité (rejets du secteur agricole, entre autres). La grande inconnue régionale reste le développement de l'Éthiopie dont on estime qu'elle contrôle plus de 82 % des eaux du Nil à destination du Soudan et de l'Égypte.

Ces tensions peuvent s'accroître, elles peuvent aussi devenir sources de collaboration entre les pays concernés. Pour garantir que la dernière hypothèse l'emporte sur la première, il faudra anticiper les problèmes : les institutions internationales chargées de gérer les ressources en eau devront être mises en place avant que des tensions trop fortes n'apparaissent. Là encore, l'anticipation est donc une fois de plus la clé pour maîtriser les conséquences du changement climatique.

## **■ TRANSPORT ET URBANISME : DES ADAPTATIONS INDISPENSABLES**

LA POPULATION URBAINE DE LA RIVE SUD va augmenter massivement au cours des décennies à venir. Les choix actuels concernant la structure des villes vont donc influencer les évolutions futures. En effet, une fois qu'une ville est construite (comme Los Angeles ou Atlanta qui s'étalent sur plus de cent cinquante kilomètres de rayon et qui ont une faible densité), sa structure est impossible à modifier en profondeur avant trente ans et parfois jusqu'à cent ans, délai correspondant à la durée de vie du bâtiment. Les choix d'urbanisme qui vont être faits dans les années et décennies à venir sont donc d'une importance cruciale sur le long terme. Ils doivent prendre en compte les conditions futures. Or le climat va changer et des politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre vont certainement être mises en place. Ces deux facteurs auront une influence sur la structure optimale des villes, et il est crucial d'en tenir compte dès aujourd'hui.

## Anticiper, une nécessité

LA VARIABILITÉ DU CLIMAT et les événements extrêmes tels que les tempêtes, les inondations et les sécheresses, ont déjà un impact sur les infrastructures et l'habitat (Reason and Keibel, 2004; Freeman and Warner 2001; Mirza, 2003; Niasse et al., 2004). Il faut donc prendre en compte les changements climatiques futurs dans la conception et le dimensionnement des infrastructures urbaines : réseaux d'évacuation des eaux pluviales, digues et protection contre les inondations et la montée du niveau de la mer, systèmes d'alerte, protection contre les feux de forêts, etc. Des exemples intéressants d'adaptation anticipée existent, comme à Copenhague, où les débits maximum qui servent à calibrer les nouveaux tuyaux d'évacuation des eaux fluviales ont été augmentés de 70 % : la moitié pour anticiper la croissance de la population et l'autre moitié pour anticiper l'intensification des précipitations.

De fortes incertitudes persistent quant à l'évolution des pluies extrêmes dans la région de Copenhague et cet investissement sera peut être inutile. Mais le coût marginal de l'augmentation du diamètre des tuyaux est très faible au moment de la pose, alors qu'il est très élevé après. Il est rationnel d'augmenter le dimensionnement des nouvelles infrastructures pour faire face à toutes les éventualités. C'est de ce type de stratégie dont il faut s'inspirer : toutes les mesures à très faible coût qui limitent notre vulnérabilité à un changement climatique, doivent être mises en place dès que possible.

Les bâtiments sont conçus en fonction du climat. Les logements ou bureaux, sur les deux rives de la Méditerranée, sont adaptés aux conditions météorologiques de la région. Compte tenu de la durée de vie d'un bâtiment, ceux qui sont conçus aujourd'hui seront encore occupés à la fin de ce siècle, époque où la température risque d'être largement supérieure à celles actuelles. Il est probable qu'interviennent des modifications significatives et rationnelles des normes de construction pour faire en sorte que les bâtiments futurs soient adaptés aux conditions climatiques de la fin du siècle. À défaut, leur valeur risque de diminuer. Or, compte tenu de la place qu'occupe la construction dans l'économie, une baisse de la valeur économique du bâtiment n'est pas anodine.

C'est vrai pour l'urbanisme en général : les conditions climatiques devraient jouer un rôle dans le choix des matériaux pour les rues, les trottoirs et les façades (foncées ou claires par exemple), dans l'orientation et la largeur des rues, dans les règles d'urbanisme (densité bâtie, présence de parcs...). Anticiper les conditions futures limiterait, là encore, les

impacts d'un changement de climat. En outre, le risque accru de feux de forêt dus aux sécheresses et à la chaleur, implique de construire des habitations loin des forêts. Les coûts humains et socio-économiques des feux de forêts peuvent être élevés si les habitations sont touchées et si les moyens de lutte contre les feux sont insuffisants ; ce fut le cas pour la Grèce en 2007 et en 2009.

LA MONTÉE DU NIVEAU DE LA MER est également un phénomène important. Des littoraux très urbanisés sont potentiellement menacés (comme par exemple Alexandrie). De plus, le risque de tempêtes violentes ressemblant à des cyclones tropicaux, même si cette éventualité est discutable, fait courir un risque aux habitations situées à proximité du niveau de la mer ou à celles qui sont sensibles aux vents violents.

Il faudra donc décider, le plus tôt possible, si les zones menacées doivent être protégées ou abandonnées. Dans le premier cas, il faudra agir rapidement. Car la montée du niveau de la mer accentuera le risque de submergement en cas de tempêtes. Pour éviter une catastrophe comme celle de La Nouvelle-Orléans, il faudra analyser le risque de manière régulière et décider du niveau acceptable à ne pas dépasser. Quand la montée du niveau de la mer fera passer le niveau de risque au-delà de la limite acceptable, des travaux de protection (digues, système d'alerte, moyens d'évacuation) devront être entrepris. Si, à l'inverse, on décide d'évacuer une zone menacée, l'anticipation là aussi jouera un rôle clé, afin d'éviter aux habitants de tout perdre lors de l'évacuation. Il faudra prendre cette décision longtemps à l'avance et s'assurer de mécanismes de compensation pour les habitants.

Enfin, le changement climatique pourrait provoquer un exode rural. Des baisses de productivité agricole ou de ressources en eau (Myers, 2002 ; McLeman and Smit, 2005) peuvent contraindre certains paysans à partir. Il faudra alors gérer ce flux. Un bon exemple d'exode rural provoqué par un choc climatique fut la migration qui eut lieu dans le Sud-Ouest des États-Unis dans les années 1930, la *Dust Bowl migration*. Après une longue sécheresse, environ 300 000 fermiers quittèrent les grandes plaines, notamment l'Oklahoma, pour rejoindre les villes de Californie. Le manque de travail a conduit ces immigrants dans des bidonvilles – les fameuses *Hooverville* – propices au développement de maladies diverses (typhoïde, paludisme, tuberculose...). Le chômage a atteint des sommets, rendant la vie également difficile pour les habitants de Californie (Gregory, 1989). De telles situations doivent et peu-

vent être évitées grâce à une prise en charge des populations touchées par les impacts du changement climatique ou grâce à une anticipation de ces migrations ; ce qui laisserait le temps d'installer des infrastructures d'accueil.

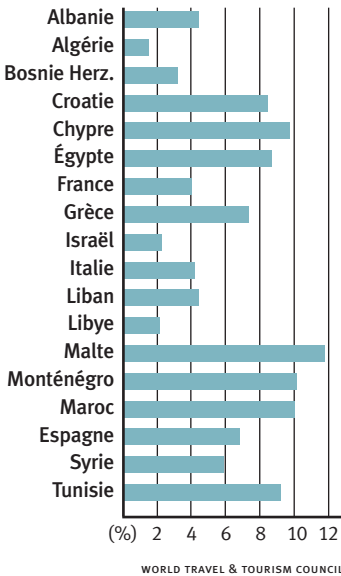
### **Contrôler l'étalement des villes**

LA STRUCTURE D'UNE VILLE ET SA DENSITÉ sont des facteurs qui déterminent la demande de transport et d'énergie. Dans une ville étendue, les habitants doivent faire de longs trajets pour se rendre sur leur lieu de travail, dans les zones commerciales et sur les lieux de loisir. Organiser des transports en commun efficaces et rapides s'avère complexe et coûteux. L'usage de la voiture individuelle, fortement consommatrice d'énergie, l'emporte donc souvent. Enfin, dans ces villes à faible densité, on trouve souvent des bâtiments peu élevés et des logements spacieux, davantage consommateurs d'énergie (chauffage et climatisation).

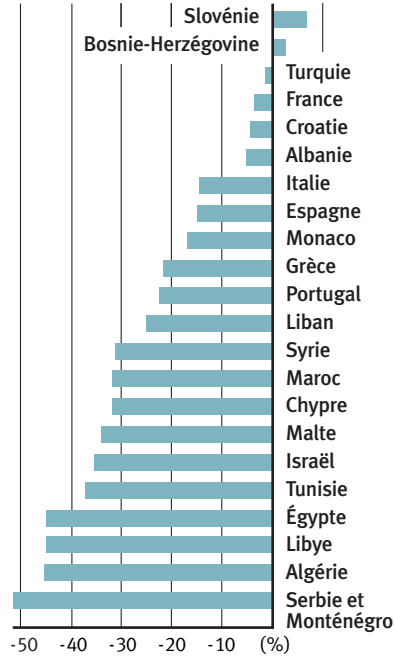
Si, comme aujourd'hui, les prix de l'énergie sont faibles, ce type de structure urbaine peut être considéré comme idéal. En revanche si, au cours de ce siècle, des politiques ambitieuses de réduction des émissions de gaz à effet de serre sont mises en place via une hausse des tarifs, cette structure pourrait devenir inefficace, les prix élevés des transports et du chauffage compensant largement l'avantage d'un appartement spacieux. Dans un tel cas, modifier la structure urbaine pour « recompacker » la ville afin de l'adapter à des prix de l'énergie élevés prendrait des décennies. De plus, cette période de transition serait particulièrement négative pour la population (Gusdorf et Hallegatte, 2007) à l'échelle macro-économique. Des grosses dépenses d'énergie réduisent la consommation des ménages et ont donc un effet dépressif sur l'économie, surtout dans les pays importateurs d'énergie.

L'espace urbain est source d'inégalités, les ménages modestes vivant souvent loin des bassins d'emploi et des centres commerciaux. Ce sont donc eux, en se rapprochant du centre ou en réduisant la surface de leurs logements, qui souffriraient le plus d'un choc sur les prix de l'énergie, avec pour conséquence une augmentation des inégalités spatiales et donc sociales. Anticiper la hausse des prix de l'énergie, en mettant en place des politiques de contrôle de l'étalement urbain, est un bon moyen pour éviter un tel choc, au moment où la ville est en croissance démographique.

**FIGURE 13** Part du tourisme dans le PIB



**FIGURE 14** Changement du nombre de touristes en raison du réchauffement climatique. Scénario SRES/A1B



## LE TOURISME, UN SECTEUR SENSIBLE AUX VARIATIONS CLIMATIQUES

ON COMPTE DEUX CENT DIX-HUIT MILLIONS DE TOURISTES chaque année dans l'ensemble du bassin méditerranéen, soit 32 % du tourisme mondial ; c'est donc une activité importante. Dans certains pays, c'est un secteur essentiel à l'échelle macroéconomique à la fois en terme de PIB, d'emplois, et d'entrée de devises (FIGURE 13). Le tourisme nécessite de lourdes infrastructures dans plusieurs secteurs : transport (aéroports internationaux, gares et réseaux de chemin de fer, infrastructures routières), logement (hôtels, appartements, maisons), énergie et électricité, gestion de l'eau, santé, sécurité, etc.

Afin d'éviter des problèmes de ressources, il faut anticiper les besoins qu'engendre un afflux de touristes associés à ceux d'une population en hausse. Mais un afflux permet aussi de financer des infrastructures dont profite la population locale alors qu'une diminution rapide du nombre de

touristes peut menacer la rentabilité de ces infrastructures et leur financement (par exemple, le remboursement des emprunts ou la viabilité d'une concession ou d'un partenariat public-privé).

Les évolutions climatiques et leurs impacts sont difficiles à anticiper, car ils dépendent de la réaction au changement climatique à l'échelle locale et de l'attitude des touristes face à ces changements. Afin d'alimenter cette réflexion, on donnera ici des pistes sur l'évolution de l'attractivité de la région méditerranéenne et sur les contraintes que le climat exerce.

Le climat est essentiel dans les choix de destination touristique. Or la hausse des températures estivales et la probabilité de vagues de chaleur plus nombreuses risquent de réduire l'attractivité méditerranéenne, surtout sur la rive sud. De plus, l'augmentation de la température dans les régions plus froides (par exemple le Nord ou l'Ouest de l'Europe), va rendre ces régions plus attractives. Ce double effet pourrait donc modifier les choix des touristes au détriment de la Méditerranée.

L'importance de ce changement est en débat; d'abord parce qu'on s'attend à une augmentation du nombre total de touristes à l'échelle globale et ensuite parce que la part du climat dans les choix des touristes est difficile à estimer avec précision. D'après Bigano, Hamilton, et Tol (2008), le nombre de touristes internationaux, sur la rive sud de la Méditerranée, pourrait diminuer de plus de 30% en 2100 en raison du changement climatique. Sur la rive nord, la baisse serait de 10 à 20%.

À la suite d'un événement grave ou très médiatisé, survenu brutalement, comme le passage d'un cyclone, le nombre de touristes peut varier très rapidement. On constate même parfois un risque de sur-réaction. Par exemple la Floride, qui a connu en 2004 quatre cyclones en quelques mois, a cessé d'être la première destination des retraités américains au profit de l'Arizona, supposé plus sûr. Ce type d'événement, lorsqu'il est très médiatisé, peut provoquer, des changements rapides. Or il est beaucoup plus difficile de gérer une chute brutale du nombre de touristes qu'une diminution lente et régulière. La grande volatilité des choix de destination touristique est donc une autre conséquence du changement climatique qu'il va falloir gérer.

Autre problème potentiel : l'impact d'éventuelles mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Si une taxe carbone ou un marché de permis d'émissions de gaz à effet de serre était mis en place, créant ainsi une hausse significative du prix du carbone, le coût des transports internationaux pourrait augmenter, ce qui renchérirait les destinations

éloignées. Mais l'impact sur le tourisme méditerranéen n'est pas évident. En effet, une hausse des prix du transport aérien risque de réduire le nombre de touristes venant d'Asie ou d'Amérique, ce qui peut être très néfaste pour des pays situés dans le nord du bassin, comme la France par exemple. En revanche, la rive sud de la Méditerranée pourrait bénéficier, d'un nombre de touristes européens en hausse.

Par ailleurs, l'augmentation du prix des transports pourrait être à l'origine d'une durée plus longue des séjours, ce qui aurait des conséquences sur l'offre touristique que proposent les pays. Les activités, les lieux et dates de résidence choisis vont donc changer en fonction des conditions météorologiques. Avec les augmentations de température prévues pour ce siècle, on peut s'attendre à ce que les touristes évitent de passer l'été dans le Sud de la Méditerranée, et privilégient l'automne et le printemps. Les zones côtières ou d'altitude, où la température reste modérée en été, seront probablement préférées. Enfin, les activités pourraient changer et il semble judicieux d'en développer certaines moins dépendantes du climat et moins sensibles au manque de précipitations.

Le changement climatique aura également des conséquences sur l'offre touristique, notamment là où les ressources en eau deviennent insuffisantes. Les touristes sont de grands consommateurs d'eau. En cas de tension sur les ressources, des afflux de touristes trop importants peuvent poser problème, comme c'est le cas aujourd'hui dans les îles grecques. Le développement de ce secteur devra donc s'appuyer sur une gestion rigoureuse des ressources en eau.

## ■ DIVERSIFIER LA PRODUCTION ÉLECTRIQUE

LA DEMANDE EN ÉNERGIE DANS LA RÉGION méditerranéenne va augmenter considérablement au cours du siècle. On investit dans des infrastructures qui ont des durées de vie longues (quarante ans pour une centrale à gaz, soixante ans pour une centrale nucléaire); les choix techniques d'investissements doivent se faire en fonction des hypothèses retenues quant à l'évolution des prix des différentes sources d'énergie sur de longues périodes. Or ces choix dépendent :

- de l'évolution du prix du pétrole et du gaz, donc de la date du *peak oil*<sup>(1)</sup>;

---

(1) On appelle *peak oil* le moment où la production de pétrole commencera à décroître. La date du *peak oil* est très discutée parmi les experts, certains la situent à la fin de ce siècle, d'autres pensant que le *peak oil* a déjà été atteint.



- de l'introduction possible d'une taxe carbone ou d'un permis d'émission de gaz à effet de serre négociables ;
- du changement climatique qui peut modifier l'efficacité de la production d'énergies renouvelables (hydroélectricité, solaire, éolien).

Le changement climatique aura un impact direct sur la production d'hydroélectricité qui varie selon la hauteur de la colonne d'eau stockée dans le barrage. Si la neige accumulée décroît, la production d'hydroélectricité baissera. Mais si les hivers deviennent plus humides et si des mesures adéquates pour la gestion des crues sont prises, la production d'hydroélectricité pendant l'hiver et le printemps peut être facilitée. En effet, la gestion des inondations et la production d'électricité répondent à des impératifs divergents : quand il y a un risque de crue, il faut relâcher de l'eau en aval pour disposer d'un volume libre permettant d'absorber la crue. Mais un tel relâchement est contradictoire avec le maintien de la hauteur d'eau nécessaire à la production d'énergie hydroélectrique (Pacific Institute, 2003).

Tant qu'aucune décision à long terme n'aura pas été prise sur les politiques climatiques, que la date du *peak oil* reste inconnue et que les changements climatiques sont incertains au niveau local, il faut diversifier les risques et éviter d'augmenter la vulnérabilité de l'économie confrontée à une hausse du prix de l'énergie et de la taxe carbone. Dans un tel cadre, réduire la dépendance de l'économie aux combustibles fossiles permet de restreindre sa vulnérabilité et, éventuellement, d'éviter qu'un choc comparable au choc pétrolier de 1973 dans les économies occidentales ne se produise dans les décennies à venir.

Deux stratégies sont possibles :

- diversifier la production électrique et notamment augmenter la part d'énergie renouvelable. La région méditerranéenne dispose de ressources importantes dans ce domaine, notamment solaire et éolienne, qui sont pour l'heure peu utilisées ;
- maîtriser la demande en améliorant l'efficacité énergétique de l'industrie et en contrôlant la demande de transport, de chauffage et de climatisation. Des économies d'énergie bien identifiées permettraient, quel que soit l'avenir des politiques climatiques et du prix du pétrole, de réduire la dépendance énergétique et d'augmenter la compétitivité de l'économie dans son ensemble.



# IV

## CONCLUSION COMMENT GÉRER CE NOUVEAU RISQUE

**L**E BASSIN MÉDITERRANÉEN est une des régions du globe sur lesquelles les différents modèles climatiques s'accordent remarquablement bien. Evidemment, des incertitudes persistent sur l'évolution future du climat dans la région, mais il est clair qu'en l'absence d'une importante réduction des émissions des gaz à effet de serre, la région connaîtra un réchauffement de plusieurs degrés, des étés très chauds, des vagues de chaleur plus fréquentes et une diminution sensible des précipitations et du débit des rivières. Ces changements devraient être plus marqués en été, c'est-à-dire au moment où la région souffre déjà de la chaleur et du manque d'eau.

Le changement climatique va avoir des impacts divers sur les régions, les secteurs économiques et les catégories sociales. Certains secteurs sont identifiés comme sensibles : l'eau, l'agriculture, le tourisme, l'urbanisme, la production électrique.

La rive sud de la Méditerranée est particulièrement vulnérable, car elle est déjà confrontée à de nombreux défis que le changement climatique va amplifier : la croissance de sa population, de son économie, l'augmentation des prélèvements de ressources naturelles et la dégradation importante de l'environnement.

Il y aura des perdants, notamment parmi les plus pauvres qui seront probablement les plus touchés à cause de leurs faibles sources de revenu et de leurs conditions de vie précaires. Le changement climatique risque d'amplifier les inégalités déjà existantes dans la région, que ce soit entre les pays ou à l'intérieur de chaque pays.

Le développement économique et la réduction de la pauvreté sont donc les outils les plus efficaces pour réduire cette vulnérabilité. Mais il existe également d'autres moyens pour limiter ces impacts : l'adaptation des infrastructures et l'anticipation des crises sectorielles. Ces moyens ont deux points communs.

Premièrement, ils nécessitent une anticipation importante, car le renouvellement des infrastructures se fait lentement; il est donc essentiel de prendre en compte dès aujourd'hui les changements climatiques futurs. Pour limiter les impacts économiques et sociaux, il faut une importante capacité de prospective et d'anticipation des changements.

Deuxièmement, compte tenu de l'incertitude qui subsiste sur les changements locaux de climat, les décisions de long terme (infrastructures, choix économiques stratégiques, production électrique, etc.) doivent

désormais se faire dans un contexte de «gestion du risque» climatique, afin de prendre en compte les différents climats possibles au cours des décennies prochaines.

On devrait donc favoriser la création de capacités scientifiques et techniques dans ce domaine et encourager les échanges entre les experts en science climatique et les équipes en charge des décisions stratégiques dans les secteurs sensibles que cette étude a listés.

La création d'une ou plusieurs institutions régionales dédiées à la recherche, à l'innovation, aux transferts de technologies et au partage d'expériences entre pays et entre entreprises serait donc bénéfique. Ces institutions serviraient de lieu de rencontre entre les acteurs des différents pays, mais aussi entre les chercheurs et les décideurs, afin de faciliter la prise de conscience des problèmes et l'émergence de solutions potentielles ; elles favoriseraient les partenariats public-privé, entre entreprises et administrations et des solutions technologiques avancées.

Dans les secteurs liés à l'environnement, tous les acteurs auront leur rôle à jouer ; la coordination entre les initiatives sera un point clé. Ces institutions pourraient se concentrer sur les problèmes clés de la région méditerranéenne : gestion de l'eau et des déchets, production d'électricité, gestion de l'urbanisation et de l'exode rural, tourisme, etc. Dans chacun de ces domaines, certains pays ont lancé des programmes innovants ou maîtrisent des techniques prometteuses (par exemple, la réutilisation des eaux usées en Israël), dont la diffusion dans l'ensemble de la région serait positive pour tous. Ces institutions favoriseraient les échanges entre la rive nord et la rive sud, notamment les transferts de technologies, et renforceraient la collaboration entre les pays de la région.

TOUTE LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE EST CONCERNÉE par le changement climatique; il semble donc indispensable d'arriver à une convergence sur le long terme des normes et réglementations, ainsi qu'à des stratégies de gestion de l'eau et d'adaptation au changement climatique. Le cas des bassins déversants et des nappes phréatiques transfrontalières est évidemment le plus évident, mais le problème est plus large et concerne, par exemple, la pollution des eaux, la gestion des réserves halieutiques, la production d'électricité et bien d'autres thèmes. Les projets de grands travaux (par exemple le transport international d'eau) demandent notamment des discussions poussées entre les différents pays et acteurs.

Le changement climatique va amplifier des défis qui existent déjà dans la région. Les moyens pour y répondre, comme la lutte contre les feux de forêts ou la réponse faite en urgence aux catastrophes naturelles, sont actuellement insuffisants.

Changement climatique ou non, il serait utile de réfléchir à une mise en commun systématique de certains moyens de veille et d'action, comme les réseaux d'observation météorologique et hydrologique, les services d'alerte précoce (exemple du tsunami en Asie), les moyens aériens de lutte contre les feux, les brigades de sécurité civile spécialisées dans la gestion de catastrophes (inondations, séismes, etc.), et les moyens de réponse aux accidents technologiques et industriels. La période de reconstruction qui suit une catastrophe engendre souvent des pénuries dans certains corps de métier (par exemple bûcherons et couvreurs en Europe de l'Ouest en 1999, vitriers à Toulouse après l'explosion d'AZF en 2001). Des permis de travail spéciaux pour ces périodes permettraient d'accélérer les reconstructions, tout en limitant la flambée des coûts des réparations.

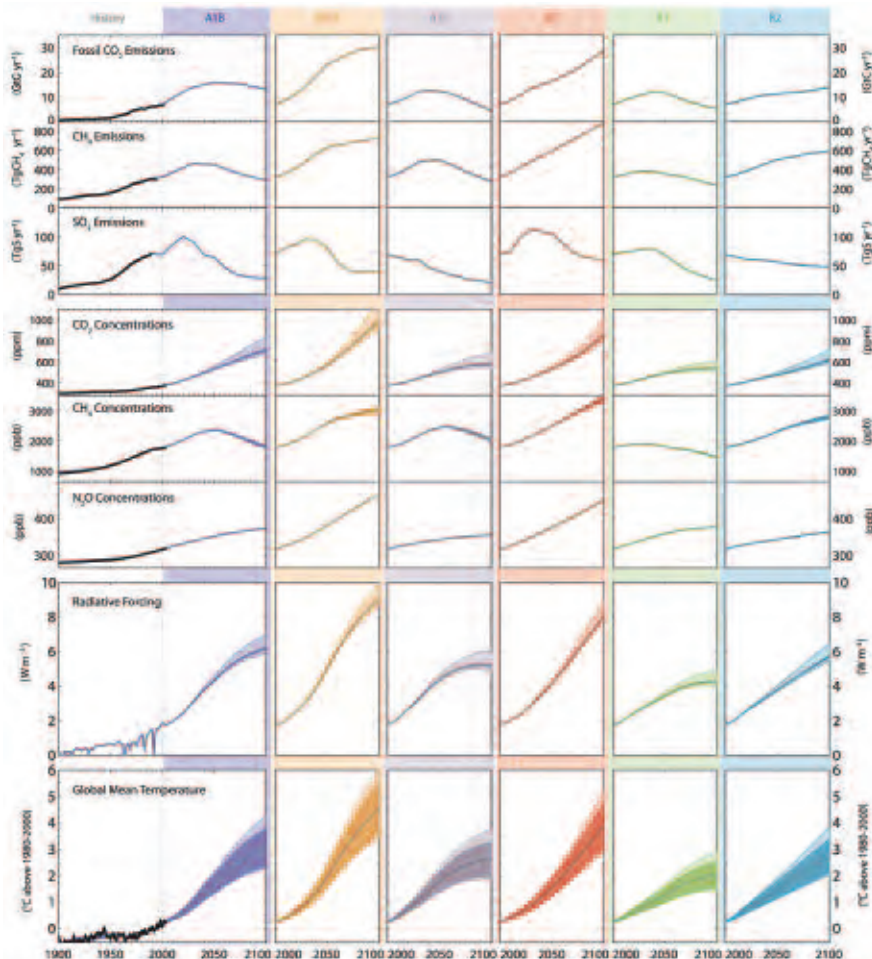
Le chiffrage du coût socio-économique du changement climatique reste hors de portée, principalement parce qu'il dépendra de la capacité de nos sociétés à gérer ce risque nouveau. Des exemples passés montrent que le meilleur comme le pire sont possibles : face au risque d'inondation, les Pays-Bas ont démontré qu'une gestion exemplaire permet de contrôler le risque et d'éviter les catastrophes, alors que les inondations de 1915, 1947, 1965 et 2005 à La Nouvelle-Orléans donnent l'exemple de ce qu'il ne faut pas faire. Là où le risque météorologique est bien géré, les coûts humains et économiques associés restent limités. Là où ce risque n'est pas pris en compte sérieusement, les conséquences sont parfois catastrophiques. La prise en compte du risque climatique et météorologique dans de multiples décisions publiques et privées deviendra indispensable. Il faut s'y préparer.



# ANNEXES

**FIGURE 15** Émissions du CO<sub>2</sub> fossile, du CH<sub>4</sub> et du SO<sub>2</sub>, concentrations correspondantes en CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O, forçage radiatif associé et projection de la température de surface moyenne du globe pour les six scénarios du SRES utilisés dans le rapport du Giec

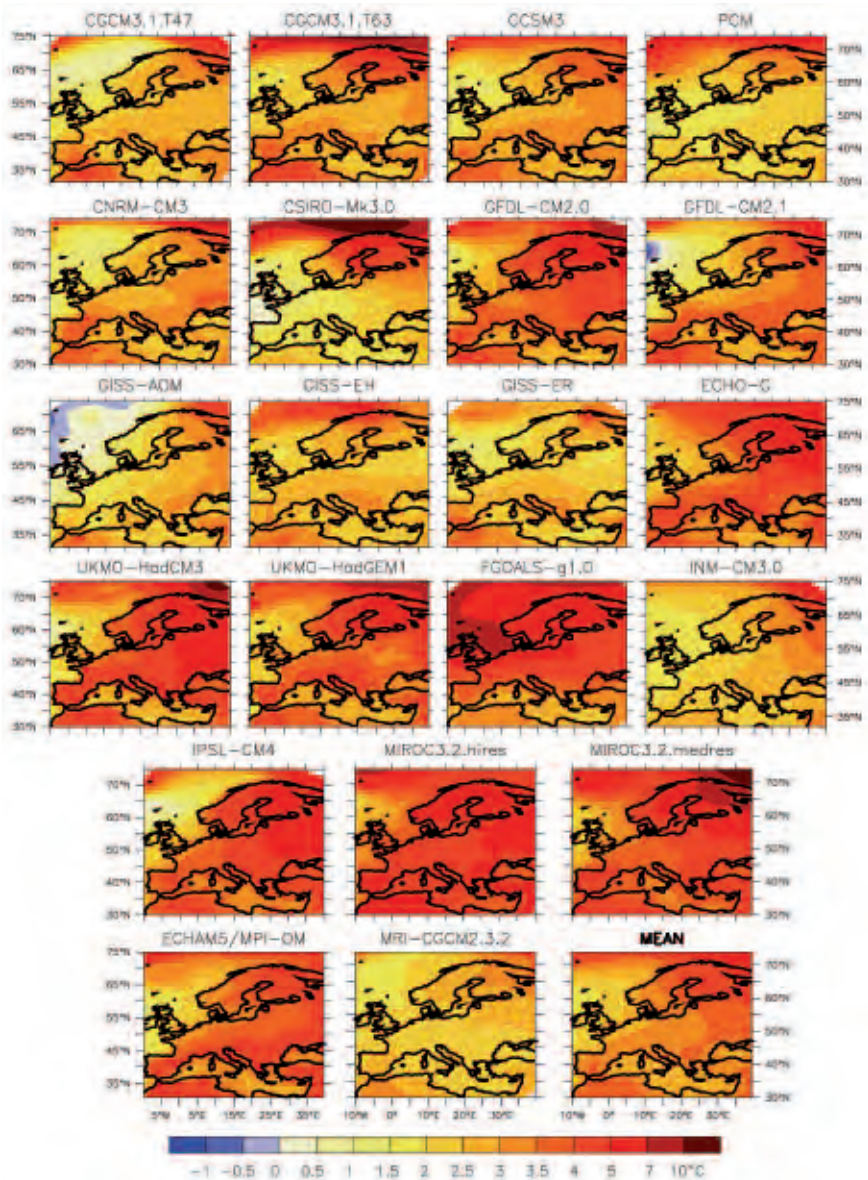
Période 2000-2100



Les zones colorées sur la courbe de température indiquent l'incertitude inter-modèle ( $\pm 1$  écart-type pour les dix-neuf modèles globaux utilisés ici). Les zones colorées en plus clair indiquent l'incertitude liée à une rétroaction plus forte ou plus faible du cycle du carbone.

GIEC, 2007

**FIGURE 16** Température de surface annuelle (°C) sur la zone Europe-Méditerranée pour les vingt-et-un modèles globaux du Giec entre les années 1980-1999 et 2080-2099 pour le scénario A1B

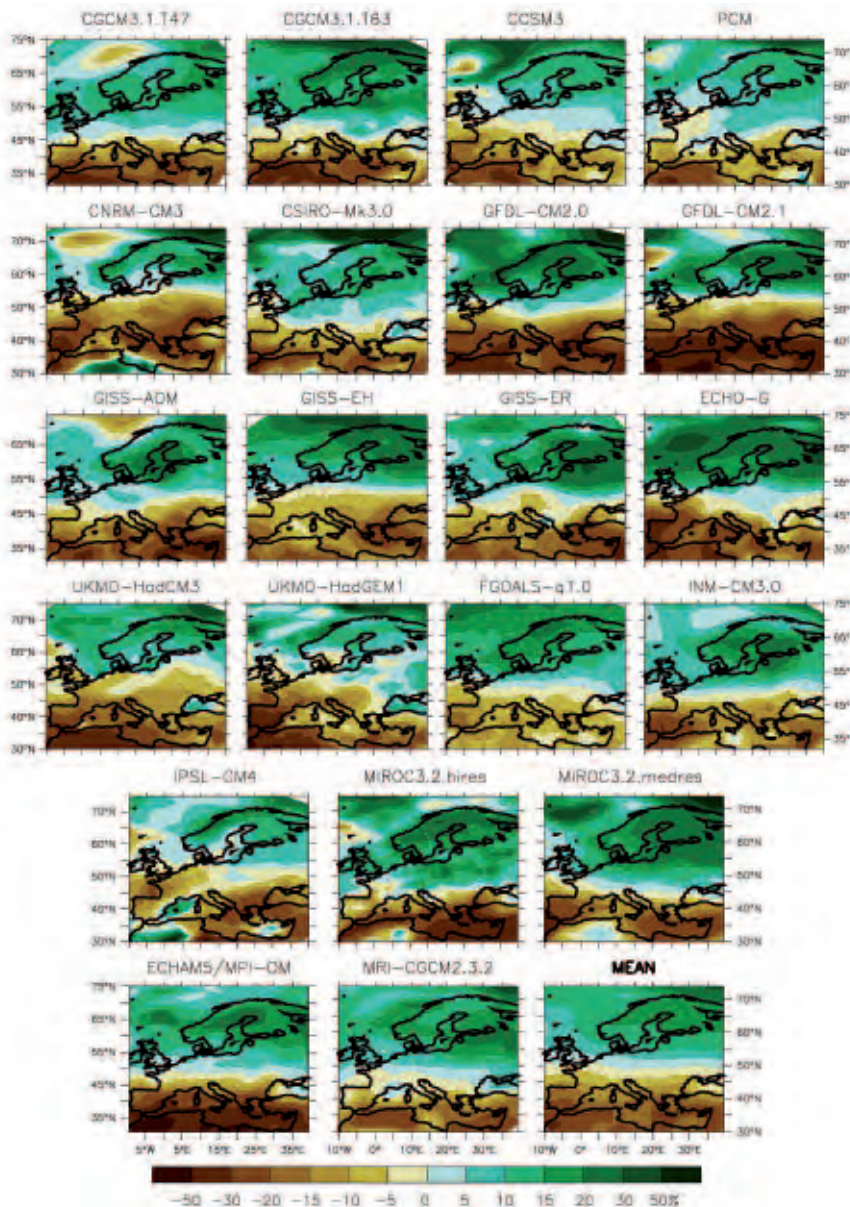


La moyenne des modèles est montrée en bas à droite (MEAN)

GIEC, 2007



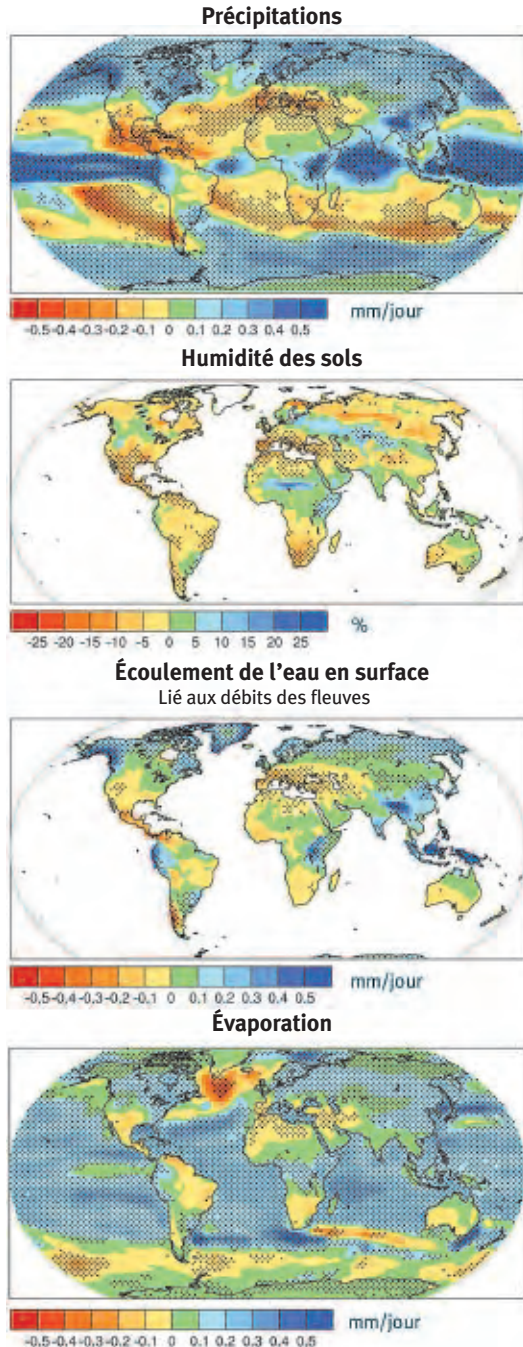
**FIGURE 17** Précipitations sur la zone Europe-Méditerranéenne pour les vingt-et-un modèles globaux du Giec entre les années 1980-1999 et 2080-2099 pour le scénario A1B



La moyenne des modèles est montrée en bas à droite (MEAN)

giec, 2007

**FIGURE 18**  
**Moyenne multi-modèle**  
**du changement annuel.**  
**Scénario A1B,**  
**pour la période**  
**2080-2099 comparée**  
**à la période**  
**1980-1999**



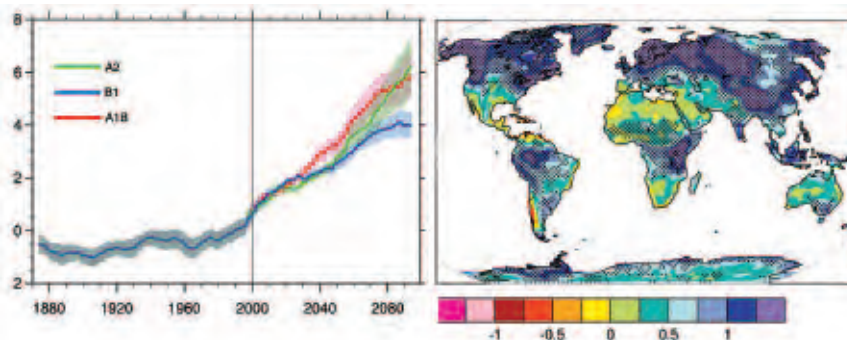
Les régions hachurées indiquent les zones où au moins 80% des modèles s'accordent sur le signe du changement.

**FIGURE 19**  
**Changement en moyenne globale**  
**pour les extrêmes liés**  
**aux précipitations**  
**pour les scénarios B1, A1B et A2**  
**pour la période 2080-2099**  
**par rapport à 1980-1999**

**Répartition spatiale**  
**de ces changements d'extrêmes**  
**pour le scénario A1B**

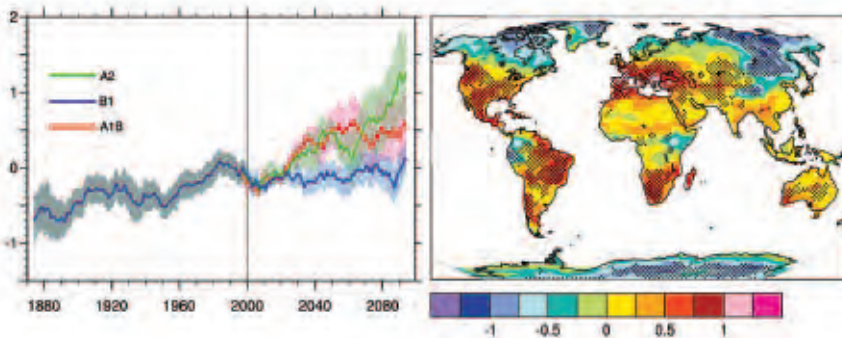
**Intensité des pluies**

Rapport entre le taux annuel de précipitations divisé par le nombre de jours de pluie



**Jours secs**

Plus grand nombre de jours secs consécutifs sur une année



Neuf modèles globaux du Giec sont utilisés. Une zone d'incertitude de 1 écart-type est colorée autour de la moyenne d'ensemble.

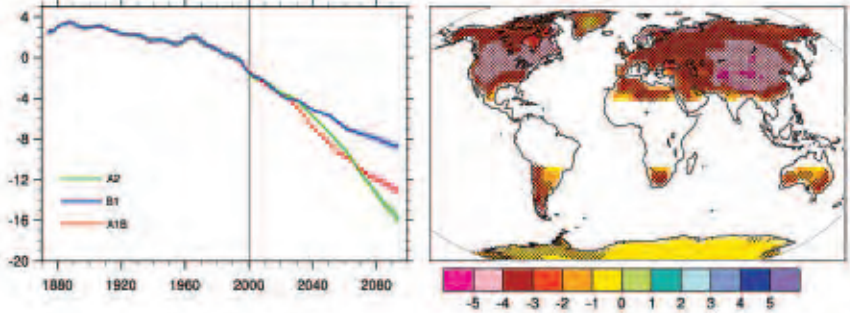
Les zones hachurées soulignent les zones où au moins cinq modèles sur neuf estiment que les changements sont statistiquement significatifs.

**FIGURE 20** Moyenne multimodèle du changement annuel

Scénario A1B, pour la période 2080-2099 comparée à la période 1980-1999

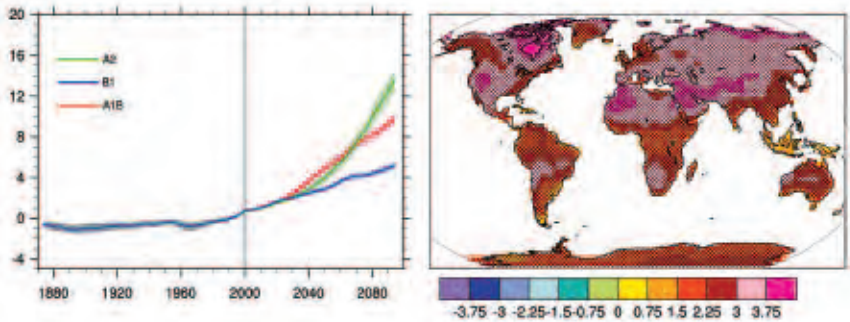
**Indice du nombre de jours de gel**

Défini comme le nombre de jours avec une température minimale inférieure à 0°C



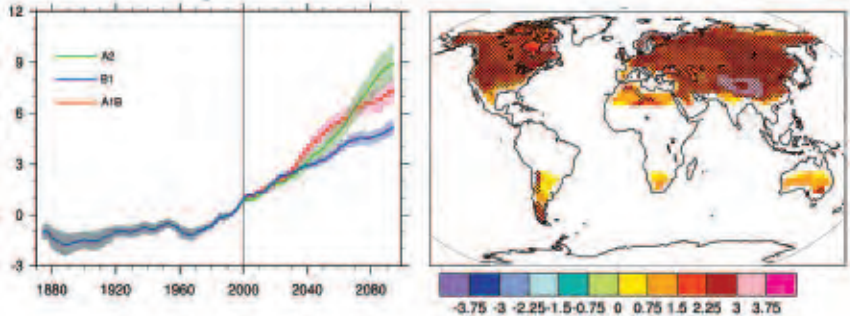
**Vagues de chaleur**

Définies comme les périodes les plus longues de l'année avec au moins cinq jours consécutifs avec une température maximale d'au moins 5°C au-dessus de la normale climatologique du jour



**Longueur de la saison de croissance des plantes**

Définie comme la durée entre la première période de l'année de cinq jours avec une température moyenne supérieure à 5°C et la dernière période de l'année de ce type



GIEC, 2007

## BIBLIOGRAPHIE

- AGOUMI, A., 2003. *Vulnerability of North African countries to climatic changes, adaptation and implementation strategies for climatic change*. IISD, www.iisd.org, Climate Change Knowledge Network, www.cckn.net.
- BIGANO, A., HAMILTON, J.M., and R.S.J. Tol, 2008. «Climate Change and Tourism in the Mediterranean», *Working Paper FNU-157*, Research Unit on Sustainability and Global Change, Hamburg University.
- BINDI, B., and M. MORIONDO, 2005. «Impact of a 2°C global temperature rise on the Mediterranean region: Agriculture analysis assessment, 2005», in GIANNAKOPOULOS, C., M. BINDI, M. MORIONDO, T. TIN, 2005 [Eds.], *Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2fflC global temperature rise-2005*, WWF Report.
- CHRISTENSEN, J.H., HEWITSON, B., BUSUIOC, A., CHEN, A., GAO, X., HELD, I., JONES, R., KOLLI, R.K., KWON, W.-T., LAPRISE, R., MAGANA RUEDA, V., MEARNS, L., MENENDEZ, C.G., RÄISANEN, J., RINKE, A., SARR, A., WHETTON, P., 2007. «Regional Climate Projections», in: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [SOLOMON, S., QUIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K.B., TIGNOR, M., MILLER, H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- DRAIN, M., 2003. «Le projet de transfert d'eau du Rhône à Barcelone», *Actes du colloque Fig 2003*, G. DOREL (org.), Saint-Dié-des-Vosges, 2-5 octobre.
- DUPUY, G., 2001. «La guerre de l'eau en Espagne», in *Libération*, 30 avril 2001, Paris.
- ECA (Economic Commission for Africa), 2005. «Assessing sustainable development in Africa», *Africa's Sustainable Development Bulletin*. Economic Commission for Africa, Addis Ababa, Ethiopia, 59 pp.
- EID, H.M. and S.M. EL-MARSAFAWY, 2002. «Adaptation to change in Egyptian agriculture and water requirements», third International Symposium Sustainable Agro-environment Systems: New Technologies and Applications (AGRON 2002), Cairo, Egypt.
- FISCHER, G., M. SHAH, N. TUBIELLO and H. VAN VELTHUIZEN, 2005. «Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990-2080», *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 360, 2067-2083.
- GUSDORF, F. et S. HALLEGATTE, 2007. «Compact or Spread-Out Cities: Urban Planning, Taxation, and the Vulnerability to Transportation Shocks», *Energy Policy*, 35, 4826-4838.

- GUSDORF, F. et S. HALLEGATTE, 2007b. «Behaviors and housing inertia are key factors in determining the consequences of a shock in transportation costs», *Energy Policy*, 35, pp. 3483-3495.
- HALLEGATTE, S., J.-C. HOURCADE et P. AMBROSI, 2007. «Using Climate Analogues for Assessing Climate Change Economic Impacts in Urban Areas», *Climatic Change* 82, May, 2007, pp. 47-60.
- KIPARSKY, M. and P. GLEICK, July 2003. «Climate Change and California water resources», Pacific Institute California.
- LONERGAN, S. et B. KAVANAGH, 1991. «Climate change, water resources and security in the Middle East», *Global Environmental Change*, 1 (4), 272-290.
- MARACCHI, G., O. SIROTENKO, and M. BINDI, 2005. «Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe», *Climatic Change*, 70, 117-135.
- MIMIKOU, décembre 1991. «Regional climate change impacts: II. Impacts on water management works», National Technical University of Athens.
- OLESEN, J.E., and M. BINDI, 2002. «Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy», *Eur. J. Agron.*, 16, 239-262.
- OLESEN, J.E., T. R. CARTER, C. H. DÍAZ-AMBRONA, S. FRONZEK, T. HEIDMANN, T. HICKLER, T. HOLT, M. I. MINGUEZ, P. MORALES, J. P. PALUTIKOF, M. QUEMADA, M. RUIZ-RAMOS, G. H. RUBÆK, F. SAU, B. SMITH et M. T. SYKES, 2006. «Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios for regional climate models», *Climatic Change* 81, Supplement 1, 123-143.
- Plan Bleu, 2005, Méditerranée: «Les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement», disponible sur <http://www.planbleu.org>.
- SOMOT S., 2005. «Régionalisation des scénarios de changement climatique», *Environnement, Risque et Santé*, vol.4, n°2, 89-94.
- SOMOT S., SEVAULT F., DÉQUÉ M., 2006. «Transient climate change scenario simulation of the Mediterranean Sea for the 21st century using a high-resolution ocean circulation model», *Climate Dynamics*, Volume 27, Numbers 7-8, December, 2006, pp. 851-879.
- SOMOT S., SEVAULT F., DÉQUÉ M., CRÉPON M., 2007. «21<sup>st</sup> century climate change scenario for the Mediterranean using a coupled Atmosphere-Ocean Regional Climate Model», *Global and Planetary Change* (accepté).
- STOCKLE CO, DONATELLI M, NELSON R, 2003. «CropSyst, a cropping systems simulation Model», *Eur J Agron* 18: 289-307.
- TSIMPLIS M., MARCOS M., SOMOT S., 2007. «21<sup>st</sup> century Mediterranean sea level rise: steric and atmospheric pressure contributions from a regional model», *Global and Planetary Change*
- WOLF, A.T., S.B. YOFFE et M. GIORDANO, 2003, «International waters: identifying basins at risk», *Water Policy*, 5 (1), 29-60.

**La région méditerranéenne** est écologiquement fragile. L'environnement y est déjà dégradé au point de pénaliser la population et le développement économique. Le changement climatique attendu au cours de ce siècle est un défi fondamental pour toute la région. Ce rapport présente les résultats scientifiques les plus récents sur l'évolution attendue du climat dans cette zone géographique et sur les conséquences possibles dans plusieurs secteurs économiques : ressources en eau, agriculture, tourisme, production électrique et énergie, transport, urbanisme. Il invite à prendre conscience de la nécessité d'anticiper et de coopérer afin de limiter les impacts du changement et d'assurer un développement durable à l'ensemble de la région.

**STÉPHANE HALLEGATTE** Chercheur en économie de l'environnement et en science du climat à l'École nationale de la météorologie, Météo-France, et au Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (Cired). Il a fait partie des auteurs des rapports des groupes de travail I et II du Giec et du groupe de travail interministériel français sur l'évaluation des impacts du changement climatique.

**SAMUEL SOMOT** Climatologue pour Météo-France au Centre national de recherches météorologiques (CNRM). Il fait partie des auteurs du quatrième rapport du groupe de travail I du Giec et travaille sur la régionalisation du changement climatique sur la région méditerranéenne.

**HYPATIE NASSOPOULOS** Doctorante en économie de l'environnement au Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (Cired). Elle travaille sur l'adaptation des infrastructures de gestion de l'eau dans un contexte de changement climatique.