

Études de cas

# Changement climatique

et patrimoine mondial



Organisation  
des Nations Unies  
pour l'éducation,  
la science et la culture



Convention du  
patrimoine mondial



---

**Publié en juillet 2009 par le Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO.**

© UNESCO, 2009  
Tous droits réservés

ISBN : 978-92-3-204125-8

**Titre original :** *Case Studies on Climate Change and World Heritage (UNESCO, 2007)*  
Traduction française : Augustin Colette

---

**Avertissement :**

Les désignations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'UNESCO aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Les idées et les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs ; elles ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'UNESCO et n'engagent en aucune façon l'Organisation.

**Centre du patrimoine mondial  
UNESCO**

7, place de Fontenoy  
75352 Paris 07 SP France  
Tél : 33 (0) 1 45 68 15 71  
Fax : 33 (0) 1 45 68 55 70  
Courriel : [wh-info@unesco.org](mailto:wh-info@unesco.org)  
<http://whc.unesco.org>

---

**Photo de couverture :**

*Image satellite des glaciers dans le Bhoutan-Himalaya*  
©NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, J. Kargel et de l'équipe scientifique ASTER Etats-Unis/Japon.  
<http://visibleearth.nasa.gov/>

Conception graphique : RectoVerso  
Impression : Espacegraphic (Espagne)

**La publication originale a été réalisée grâce à une contribution financière de la Fondation des Nations Unies et du Département de la culture, des médias et du sport du Royaume-Uni. Cette publication a été rendue possible par le soutien financier des Fonds-en-dépôt espagnol et flamand.**



AVEC LE SOUTIEN DU  
GOUVERNEMENT FLAMAND



Études de cas

# Changement climatique

et patrimoine mondial



# Contributeurs

---

## Auteur principal :

**Augustin Colette**, *Consultant changement climatique, Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO*

---

## Supervision et coordination :

**Kishore Rao**, *Directeur adjoint, Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO*

---

## Remerciements :

**Bastian Bomhard**, *Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN)*

*Aires protégées de la Région florale du Cap (Afrique du Sud)*

**Alton C. Byers**, *The Mountain Institute (États-Unis d'Amérique)*

*Parc national de Huascarán (Pérou)*

**May Cassar**, *Centre for Sustainable Heritage, University College London (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)*

*Palais de Westminster, l'abbaye de Westminster et l'église Sainte-Marguerite (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)*

*Tour de Londres (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)*

*Maritime Greenwich (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)*

**Carolina Castellanos** (*Mexique*)

*Zone archéologique de Chan Chan (Pérou)*

*Site archéologique de Chavín (Pérou)*

**Pablo Dourojeani**, *The Mountain Institute (Pérou)*

*Parc national de Huascarán (Pérou)*

**Marie-José Elloumi**, *Agence nationale de protection de l'environnement (Tunisie)*

*Parc national de l'Ichkeul (Tunisie)*

**Junhi Han**, *Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO*

*Montagnes dorées de l'Altai (Fédération de Russie)*

**Ove Hoegh-Guldberg**, *Centre for Marine Studies, University of Queensland (Australie)*

*La Grande Barrière (Australie)*

**Mohamad Khawlie**, *Centre national de télédétection, Conseil national de la recherche scientifique (Liban)*

*Ouadi Qadisha ou Vallée sainte et forêt des cèdres de Dieu (Horsh Arz el-Rab) (Liban)*

**Elizabeth Mcleod**, *The Nature Conservancy, Région Asie-Pacifique (États-Unis d'Amérique)*

*Parc national de Komodo (Indonésie)*

**John Merson**, *Blue Mountains World Heritage Institute (Australie)*

*Région des montagnes Bleues (Australie)*

**Guy F. Midgley**, *South African National Biodiversity Institute (Afrique du Sud)*

*Aires protégées de la Région florale du Cap (Afrique du Sud)*

**Peter J. Mous**, *The Nature Conservancy, Coral Triangle Center (Indonésie)*

*Parc national de Komodo (Indonésie)*

**Douglas Olynyk**, *Gouvernement du Yukon (Canada)*

*Ivvavik, Vuntut et île d'Herschel (Qikiqtaruk) (Canada)*

**Ali Ould Sidi**, *Mission culturelle de Tombouctou (Mali)*

*Tombouctou (Mali)*

**Rod Salm**, *The Nature Conservancy, Région Asie-Pacifique (États-Unis)*

*Parc national de Komodo (Indonésie)*

**Lhakpa Norbu Sherpa**, *The Mountain Institute (Népal)*

*Parc national de Sagarmatha (Népal)*

**Christopher Young**, *English Heritage (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)*

*Palais de Westminster, l'abbaye de Westminster et l'église Sainte-Marguerite (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)*

*Tour de Londres (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)*

*Maritime Greenwich (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)*

## Avant-propos

*La communauté scientifique internationale a atteint un consensus presque parfait sur le fait que le changement climatique constituera un des défis les plus importants du XXI<sup>e</sup> siècle. Au cours des dernières années, il est apparu de plus en plus nettement que ses conséquences néfastes se feront sentir dans le monde entier et que les plus touchés seront les populations pauvres et désavantagées, précisément celles qui sont les moins aptes à résister aux effets dévastateurs du changement climatique.*

*La portée de cette menace imminente et mondiale requiert une action de la part de l'UNESCO : agence spécialisée des Nations Unies pour l'éducation, la science, la culture et la communication. En effet, à travers plus de trente programmes consacrés au développement durable, aux sciences du climat, à l'adaptation, à la surveillance et aux mesures d'atténuation, l'UNESCO coordonne diverses initiatives liées au changement climatique mondial dont, pour n'en mentionner que quelques-unes, des projets sur le blanchissement du corail, l'acidification des océans, le cycle de l'eau, les réserves montagneuses de biosphère, les terres arides et la désertification. En suivant sa mission de laboratoire d'idées et de centre de diffusion et d'échange d'information et de connaissance, l'UNESCO a mis en place des forums internationaux et produit des ouvrages et rapports sur ce sujet, dont une publication en 2005 portant le titre Changement climatique à l'intention des non-spécialistes.*

*L'impact potentiel du changement climatique sur le patrimoine culturel et naturel mondial est aussi un sujet qui mérite une attention renforcée. En 1972, les États membres de l'UNESCO ont adopté la Convention relative à la protection du patrimoine culturel et naturel mondial afin de se doter d'un cadre de travail approprié pour conserver notre patrimoine commun dans l'intérêt des générations actuelles et à venir. À cette époque, la communauté internationale n'était pas tout à fait consciente de la menace cachée du changement climatique sur les sites du patrimoine mondial. Cependant, au cours des deux dernières décennies, les experts mondiaux nous ont progressivement mis en garde sur le fait que l'équilibre écologique fragile de notre planète pourrait être dramatiquement et irréversiblement mis en péril par certaines activités humaines incontrôlées. L'adoption de la Convention de l'UNESCO pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel en 2003 est un signe de la prise de conscience de l'interdépendance entre patrimoine matériel et immatériel et de l'importance de la protection de la diversité culturelle en général. Mais cette adoption traduit aussi le besoin d'opter pour une approche intégrée du traitement des questions relatives à la protection de l'environnement et au développement durable.*

*Le Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO, sous l'impulsion du Comité du patrimoine mondial et en coopération avec d'autres partenaires et ses organisations consultatives (le Conseil international des monuments et des sites, ICOMOS, l'Union internationale pour la conservation de la nature, UICN, et le Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels, ICCROM), s'est engagé dans plusieurs initiatives notables qui ont conduit au développement d'une stratégie d'ensemble pour la gestion du patrimoine face au changement climatique. De plus, un document de politique générale relatif à ce sujet a été adopté par l'Assemblée générale des États parties lors de sa seizième session (UNESCO, 2007).*

*Le présent document, qui détaille plusieurs études de cas illustrant les impacts du changement climatique sur le patrimoine mondial, marque une nouvelle étape constructive parmi les efforts de l'UNESCO dans ce domaine. Par la nature hautement symbolique des sites du patrimoine mondial, ce réseau global qui inclut aujourd'hui 878 sites culturels et naturels est idéal pour obtenir le soutien du public et des politiques à travers une dissémination de l'information renforcée et une communication efficace.*

*L'UNESCO est mobilisée pour travailler de manière rapprochée avec tous les acteurs – dont la société civile et la communauté scientifique – pour s'attaquer aux défis multiples posés par le changement climatique sur le patrimoine mondial naturel et culturel irremplaçable et fragile. Je suis confiant dans le rôle positif que ce document jouera pour attirer l'attention internationale et promouvoir des réponses adéquates de la part des décideurs autour du monde.*



**Koïchiro Matsuura**

Directeur général de l'UNESCO

## Préface

*Le Comité du patrimoine mondial, lors de sa 29<sup>e</sup> session en 2005, a pris acte du fait que les impacts du changement climatique affectent plusieurs sites du patrimoine mondial et en affecteront bien d'avantage dans les années à venir.*

*Le caractère exceptionnel et fragile des sites du patrimoine mondial légitime la mise en œuvre de méthodes de gestion spécifiques pour protéger ces sites précieux. La Convention relative à la protection du patrimoine mondial culturel et naturel, adoptée par l'UNESCO en 1972, cherche à protéger les sites du patrimoine mondial contre toutes sortes de périls. Mais le XXI<sup>e</sup> siècle a vu l'émergence de nouvelles menaces avec le changement climatique. Pour les sites qui sont touchés par le changement climatique, les méthodes de gestion devront à l'avenir prendre en compte ces pressions supplémentaires.*

*En 2006, le Centre du patrimoine mondial a ouvert un nouveau chapitre avec une implication active dans les problèmes liés au changement climatique. Satisfaisant à la demande du Comité du patrimoine mondial, une réunion d'experts a eu lieu au siège de l'UNESCO en mars 2006 pour évaluer la nature et l'ampleur des risques liés particulièrement au changement climatique subit par les sites du patrimoine mondial. Près de 50 spécialistes du changement climatique et du patrimoine mondial participèrent à cette réunion, dont des représentants du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), de la Convention de Ramsar sur les zones humides, du World Resources Institute, des organisations consultatives de la Convention du patrimoine mondial : l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), le Conseil international des monuments et des sites (ICOMOS), et le Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels (ICCROM), ainsi que des universitaires, des scientifiques et des organisations non gouvernementales.*

*Suite à cette réunion, un « Rapport sur la prévision et la gestion des effets du changement climatique sur le patrimoine mondial » et une « Stratégie pour aider les États parties à mettre en œuvre des réactions de gestion adaptées » furent présentés au Comité du patrimoine mondial lors de sa 30<sup>e</sup> session à Vilnius, Lituanie, en juillet 2006.*

*L'aspect symbolique des sites du patrimoine mondial est un atout important pour attirer l'attention du public et le mobiliser, permettant ainsi d'obtenir son soutien pour prendre des mesures de précaution et des mesures préventives pour s'adapter face au changement climatique. La bonne conservation des sites du patrimoine mondial étant suivie et évaluée avec attention, tout impact néfaste du changement climatique est systématiquement notifié au Comité du patrimoine mondial qui recommande alors les mesures correctives appropriées. Les sites du patrimoine mondial constituent, dès lors, des lieux stratégiques pour collecter et diffuser des éléments relatifs aux impacts du changement climatique sur notre patrimoine naturel et culturel. J'espère que cette sélection d'études de cas contribuera de manière significative à cette initiative.*



**Francesco Bandarin**

Directeur du Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO



# Sommaire

**1** Glaciers  
du patrimoine mondial

**2** Biodiversité Marine  
du patrimoine mondial

**3** Biodiversité Terrestre  
du patrimoine mondial

**4** Sites Archéologiques  
du patrimoine mondial

**5** Villes et monuments  
du patrimoine mondial

Avant-propos	4
Préface	6
Localisation des sites du patrimoine mondial considérés dans les études de cas	10
Introduction	12

Parc national de Sagarmatha (Népal)	18
Parc national de Huascarán (Pérou)	23
Fjord glacé d'Ilulissat (Danemark)	24
Parc national du Kilimandjaro (République Unie de Tanzanie)	25
Alpes suisses Jungfrau-Aletsch (Suisse)	26



La Grande Barrière (Australie)	30
Sundarbans (Inde, Bangladesh)	36
Parc national de Komodo (Indonésie)	38



Aires protégées de la Région florale du Cap (Afrique du Sud)	42
Région des montagnes Bleues (Australie)	46
Parc national de l'Ichkeul (Tunisie)	48
Tropiques humides de Queensland (Australie)	50
Zone de conservation de Guanacaste (Costa Rica)	51



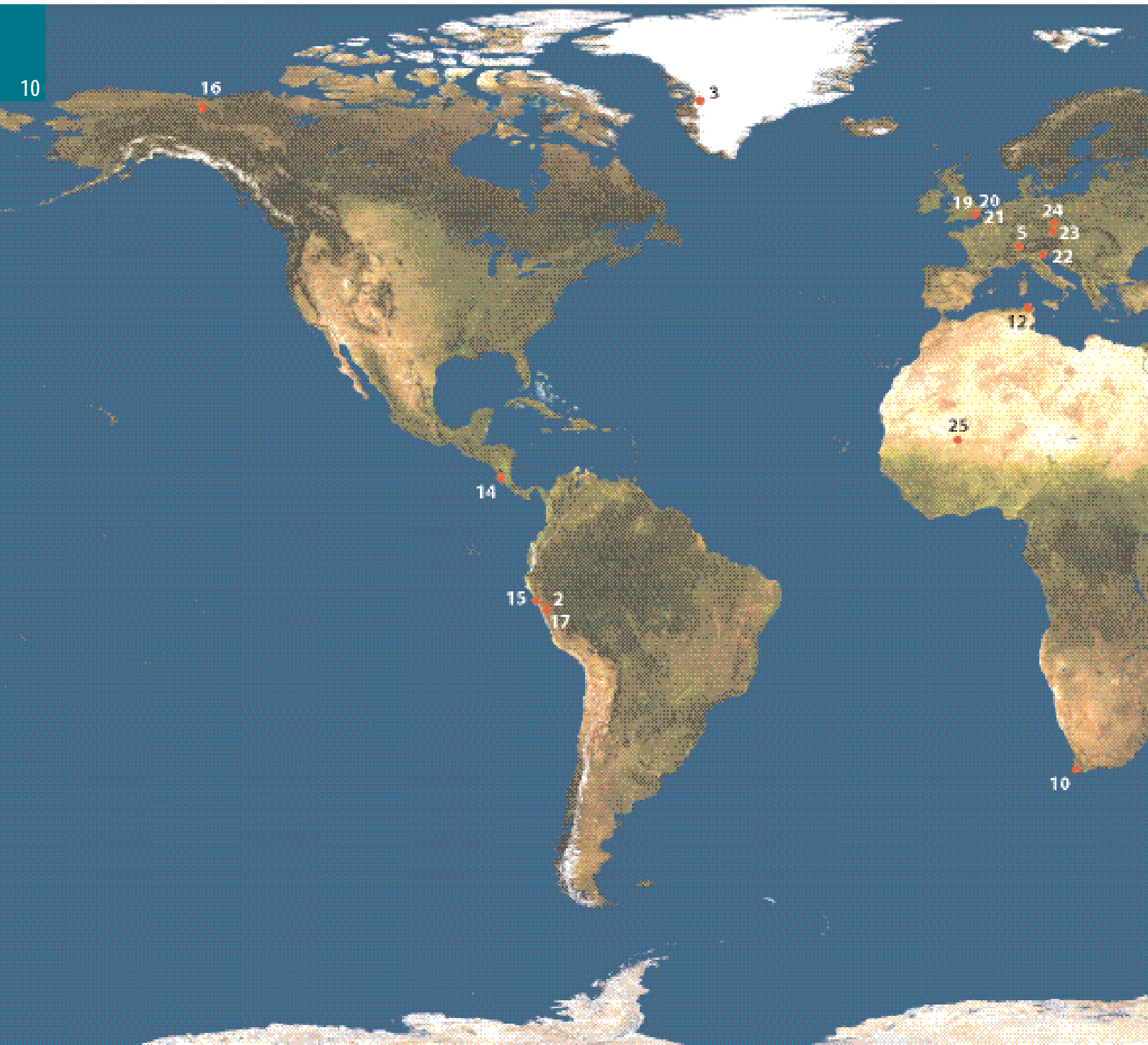
Zone archéologique de Chan Chan (Pérou)	54
Ivvavik, Vuntut et île d'Herschel (Canada)	58
Site archéologique de Chavin (Pérou)	60
Montagnes dorées de l'Altai (Fédération de Russie)	62



Sites du patrimoine mondial de la ville de Londres (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)	66
Venise et sa lagune (Italie)	70
Centres historiques de Český Krumlov et de Prague (République tchèque)	72
Tombouctou (Mali)	74
Ouadi Qadisha (Vallée sainte) et forêt des cèdres de Dieu (Horsh Arz el-Rab) (Liban)	76



# Localisation des sites du patrimoine mondial



## considérés dans les études de cas

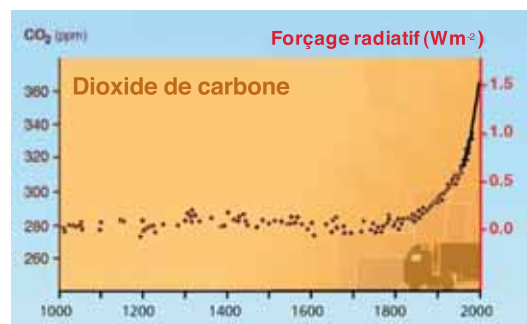


1. Parc national de Sagarmatha (Népal)
2. Parc national de Huascarán (Pérou)
3. Fjord glacé d'Ilulissat (Danemark)
4. Parc national du Kilimandjaro (République-Unie de Tanzanie)
5. Alpes suisses Jungfrau-Aletsch (Suisse)
6. La Grande Barrière (Australie)
7. Parc national des Sundarbans (Inde)
8. Les Sundarbans (Bangladesh)
9. Parc national de Komodo (Indonésie)
10. Aires protégées de la Région florale du Cap (Afrique du Sud)
11. Région des montagnes Bleues (Australie)
12. Parc national de l'Ichkeul (Tunisie)
13. Tropiques humides de Queensland (Australie)
14. Zone de conservation de Guanacaste (Costa Rica)
15. Zone archéologique de Chan Chan (Pérou)
16. Ivvavik, Vuntut et île d'Herschel (Canada)
17. Site archéologique de Chavín (Pérou)
18. Montagnes dorées de l'Altai (Fédération de Russie)
19. Palais de Westminster, l'abbaye de Westminster et l'église Sainte-Marguerite (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)
20. Tour de Londres (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)
21. Maritime Greenwich (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)
22. Venise et sa lagune (Italie)
23. Centres historiques de Český Krumlov et de Prague (République tchèque)
24. Centre historique de Prague (République tchèque)
25. Tombouctou (Mali)
26. Ouadi Qadisha (*Vallée sainte*) et forêt des cèdres de Dieu (*Horsh Arz el-Rab*) (Liban)

## Introduction

Le climat de notre planète change. Par le passé, le climat a toujours subi des variations, mais aujourd'hui on observe une prise de conscience particulière, probablement parce qu'il semble que l'amplitude de ce changement est exceptionnelle, mais de manière plus importante parce que des éléments significatifs suggèrent que l'activité humaine pourrait être directement responsable de ce changement.

Un changement du climat quel qu'il soit déstabiliserait les équilibres environnementaux et sociaux autour du globe. Ces perturbations mettraient en péril la conservation des écosystèmes naturels et la durabilité des systèmes socio-économiques. Par conséquent, le changement climatique aura – et a d'ores et déjà – des effets néfastes sur la conservation des sites naturels et culturels inscrits au patrimoine mondial. Le patrimoine est une source irremplaçable de vie et d'inspiration, le legs des civilisations passées, avec lequel nous vivons et que nous transmettrons aux générations futures.



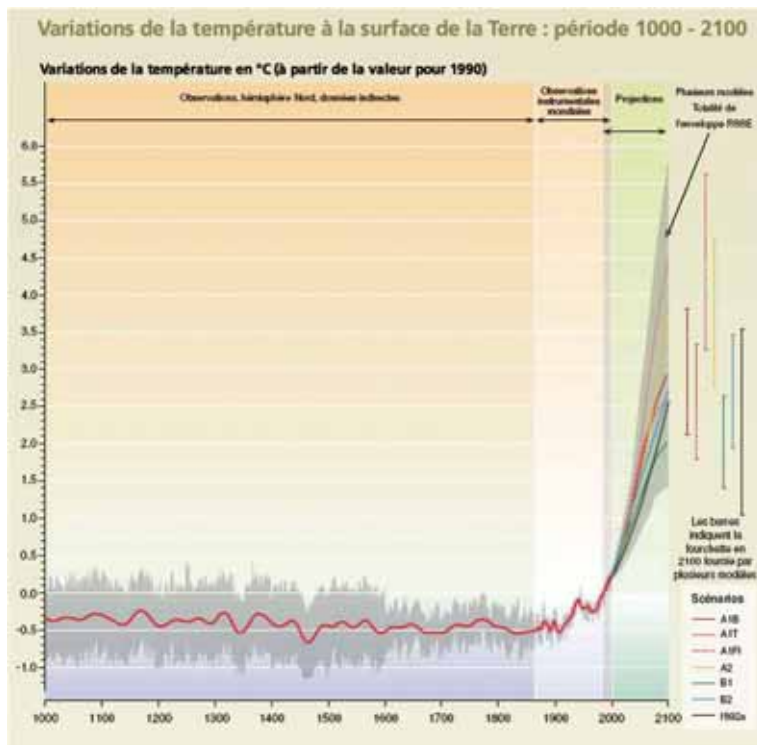
**Les relevés des changements passés de la composition atmosphérique au cours du dernier millénaire montrent une augmentation rapide des gaz à effet de serre qui est attribuée principalement à la croissance industrielle depuis 1750. Les données anciennes, éparses, proviennent de bulles d'air isolées dans la glace (signes) et sont cohérentes avec les observations atmosphériques récentes (ligne continue). L'estimation du forçage radiatif induit par ces gaz est indiquée sur l'échelle de droite (GIEC, 2001).**

Notre planète est réchauffée naturellement par l'effet de serre. Cet effet consiste à retenir l'énergie émise par la terre dans l'atmosphère plutôt qu'à la laisser s'échapper vers l'espace. Les gaz à effet de serre intervenant dans ce mécanisme de régulation sont présents à de très faibles concentrations. Les molécules de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) n'excèdent pas une concentration de l'ordre de quelques centaines de parties par million (ppm). Avant la révolution industrielle, la concentration de CO<sub>2</sub> se situait autour de 280 ± 10 ppm depuis plusieurs milliers d'années. Mais la concentration actuelle est supérieure à 360 ppm, un niveau jamais atteint depuis 420 000 ans<sup>1,2</sup>.

L'évolution de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère aura sans aucun doute un impact sur le système climatique, mais les processus impliqués sont multiples,

complexes et interagissent entre eux. Un effort de recherche significatif est conduit à travers le monde pour mieux comprendre notre impact sur le changement climatique de la

1. Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au troisième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 881 pp., [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/), noté « GIEC 2001, GT1 » dans la suite de ce document, Chapitre 3.
2. Cette estimation a été mise à jour récemment par le GIEC (Résumé à l'intention des décideurs du Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Groupe de travail I, 2007, <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>). La concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère a atteint 379 ppm en 2005, dépassant de loin les niveaux observés au cours des 650 000 dernières années (entre 180 et 300 ppm).



### Évolution de la température terrestre de surface entre 1000 et 2100 après J.-C.

Sur la période couvrant de 1000 à 1860, les observations de la température moyenne de l'hémisphère Nord sont reconstruites à partir de mesures indirectes (cernes des arbres, coraux, carottes glaciaires et documents historiques). La ligne continue représente la moyenne glissante sur 50 ans et la zone grisée correspond à l'intervalle de confiance des données annuelles à 95 %. Entre 1860 et 2000, les moyennes globales et annuelles provenant des instruments de mesure de température sont aussi données. Pour la période 2000 à 2100, les projections pour différents scénarii d'émissions (voir le Rapport spécial sur les scénarii d'émissions, RSSE\*) sont estimées par un modèle d'une sensibilité climatique moyenne. La région grisée « plusieurs modèles, totalité de l'enveloppe RSSE » donne l'intervalle des résultats pour tous les scénarii et tous les modèles (GIEC, 2001).

\* N. Nakicenovic et al., 2000, IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis, 599 pp.

planète. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a été établi sous l'égide de l'Organisation météorologique mondiale et du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) pour évaluer, regrouper et synthétiser les informations scientifiques, techniques et socio-économiques relatives à notre compréhension du changement climatique et de ses conséquences possibles, ainsi que pour souligner les possibilités d'adaptation et les mesures d'atténuation à envisager. Les rapports d'évaluation du GIEC constituent la meilleure synthèse disponible de l'état de notre connaissance du changement climatique.

D'après le GIEC, l'augmentation de la température globale moyenne a atteint  $0,6 \pm 0,2$  °C au cours du XX<sup>e</sup> siècle<sup>3</sup>. Il y a eu un recul généralisé des glaciers hors des régions polaires. La surface de la banquise a diminué de 10 à 15 % depuis 1950 dans l'hémisphère Nord au printemps et en été. La quantité de chaleur contenue dans les océans a augmenté depuis la fin des années 1950 et le niveau moyen de la mer a augmenté d'au moins 10 cm au cours du XX<sup>e</sup> siècle.

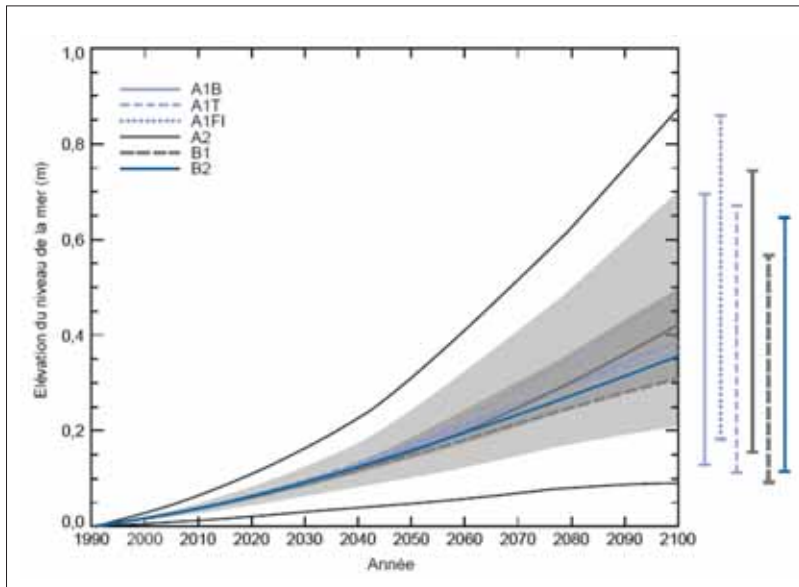
Le GIEC développe aussi des scénarii possibles d'évolution des émissions anthropiques pour établir des projections des tendances climatiques à venir. Suivant ces scénarii, les modèles climatiques estiment que d'ici à 2100, les concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère atteindront 540 à 970 ppm. La température globale moyenne augmentera de 1,4 °C à 5,8 °C entre 1990 et 2100<sup>4</sup>. Sur la même période, le niveau moyen de la mer augmentera de 9 cm à 88 cm<sup>5</sup>. Le contenu total de vapeur d'eau atmosphérique et les précipitations augmenteront pendant le XXI<sup>e</sup> siècle, et une variabilité interannuelle plus importante des précipitations est très probable dans les régions où une augmentation

3. En 2007, le GT1 du GIEC a fourni une mise à jour de l'évolution des températures avec une tendance linéaire de  $0,74 \pm 0,18$  °C entre 1906 et 2005, ce qui dépasse l'estimation établie pour 1901-2000. La tendance linéaire sur les 50 dernières années ( $0,13 \pm 0,03$  °C par décennie) est proche du double de celle évaluée sur un siècle.

4. La mise à jour en 2007 de cet intervalle est 1,8 °C à 4,0 °C, ce qui est compatible bien que difficilement comparable directement aux chiffres de 2001 à cause des améliorations significatives apportées aux modèles numériques utilisés.

5. « En 2007, cette estimation a été réévaluée. Suivant les scénarii d'émissions, entre 2090 et 2099 le niveau de la mer pourrait se situer entre 0,18 et 0,38m pour la fourchette basse et entre 0,26 et 0,59m pour la fourchette haute au dessus du niveau moyen observé entre 1980 et 1999. Les projections précédentes étaient établies pour 2100, et les incertitudes n'étaient pas traitées de la même manière, mais pour chaque scénario, le centre de l'intervalle mis à jour se situe à moins de 10% de la moyenne entre tous les modèles établie en 2001 pour la décennie 2090-2099. »





**Projection d'augmentation du niveau de la mer entre 1990 et 2100 pour les six scénarii d'émission de gaz à effet de serre RSSE (GIEC, 2001).**

moyenne de la quantité de précipitations est anticipée. Des changements des événements météorologiques extrêmes et/ou dangereux tels que les vagues de chaleur, les sécheresses, les précipitations intenses ou les cyclones tropicaux peuvent aussi être envisagés.

De tels changements auront des impacts négatifs sur la conservation des sites inscrits sur la Liste du patrimoine mondial. Ces sites sont protégés par la *Convention concernant la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel*<sup>6</sup> qui fut adoptée par l'UNESCO en 1972 afin d'encourager l'identification, la protection et la conservation du patrimoine culturel et naturel considéré comme une valeur exceptionnelle pour l'humanité. L'application universelle rend le concept de patrimoine mondial tout à fait exceptionnel. Tout en respectant pleinement la

souveraineté nationale, et sans préjudice relatif au droit de propriété fourni par la législation nationale, les sites du patrimoine mondial appartiennent à tous les peuples du monde, quel que soit le territoire sur lequel ils sont situés.

À ce jour, la *Convention du patrimoine mondial* a été ratifiée par 186 États parties et 878 sites sont inscrits sur la Liste du patrimoine mondial dans 145 pays. Pour être inscrit sur cette liste, un site doit répondre à au moins un des dix critères contenus dans les *Orientations devant guider la mise en œuvre de la Convention du patrimoine mondial*<sup>7</sup>, et leurs conditions relatives d'intégrité. Parmi les sites inscrits sur la Liste du patrimoine mondial, 679 présentent des valeurs culturelles exceptionnelles, 174 des valeurs naturelles et 25 sont inscrits sous des critères à la fois naturels et culturels.

Ces sites, qu'ils soient naturels ou culturels, pourraient être exposés aux effets défavorables du changement climatique de la façon suivante :

- Les glaciers fondent autour du monde et l'apparence de certains sites montagneux inscrits du fait de leur beauté esthétique exceptionnelle pourrait changer profondément.
- La température de l'océan et l'augmentation de la concentration du carbone dissous rendent plus difficile la conservation des récifs coralliens, avec des événements de blanchissement plus fréquents pouvant conduire à une mortalité accrue des coraux.
- Le changement climatique conduira certaines espèces végétales et animales à se déplacer lorsqu'elles deviendront incapables de s'adapter au changement de leur environnement, ce qui posera un problème pour la conservation des pôles de biodiversité inscrits en tant que sites naturels du patrimoine mondial.

6. UNESCO, 1972, *Convention concernant la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel*, <http://whc.unesco.org/archive/convention-fr.pdf>

7. UNESCO, 2005, *Orientations devant guider la mise en œuvre de la Convention du patrimoine mondial*, <http://whc.unesco.org/archive/opguide05-fr.pdf>

- Les vestiges archéologiques enterrés dans le sol pourraient être perdus si l'intégrité stratigraphique du sol devait changer suite à des inondations plus fréquentes, des modifications des précipitations ou suite à la fonte du permafrost.
- Certains sites inscrits comme patrimoine culturel sont construits dans des zones côtières faiblement élevées par rapport au niveau de la mer, et l'érosion des côtes pourrait mettre en péril leur conservation.

Le Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO a commencé une évaluation des impacts du changement climatique en 2005, après que le Comité du patrimoine mondial eut noté que « les effets des changements climatiques touchent de nombreux biens du patrimoine mondial et risquent d'en toucher bien davantage, qu'ils soient culturels ou naturels, dans les années à venir<sup>8</sup> ». En mars 2006 s'est tenue une réunion d'experts faisant intervenir plus de 50 représentants des États parties de la Convention du patrimoine mondial, plusieurs organisations internationales, des organisations non gouvernementales, les organisations consultatives du Comité du patrimoine mondial, et des experts universitaires et scientifiques pour discuter des effets actuels et à venir du changement climatique sur les sites du patrimoine mondial. Les résultats de cette initiative incluent un « Rapport sur la prévision et la gestion des effets du changement climatique sur le patrimoine mondial » ainsi qu'une « Stratégie pour aider les États parties à mettre en œuvre des réactions de gestion adaptées » qui furent approuvés par le Comité du patrimoine mondial lors de sa 30<sup>e</sup> session en juillet 2006 à Vilnius (Lituanie)<sup>9</sup>.

Ce travail a conduit à conclure qu'il était temps de développer et de mettre en œuvre des mesures de gestion appropriées afin de protéger le patrimoine mondial face au changement climatique. Les solutions à apporter au réchauffement global font l'objet d'un débat permanent. Certaines de ces mesures dépassent le mandat de la Convention du patrimoine mondial et sont discutées sous l'égide de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Cependant, bien que le changement climatique constitue un défi mondial, il y a bien des possibilités d'adaptation et de prévention qui peuvent être prises à l'échelle locale, c'est-à-dire au niveau des sites inscrits au patrimoine mondial.

Des études sont en cours dans plusieurs sites du patrimoine mondial pour surveiller les impacts du changement climatique et prévoir les mesures d'adaptation appropriées. Mais le réseau du patrimoine mondial est aussi un outil pertinent pour partager l'apprentissage et promouvoir les bonnes pratiques ainsi que pour attirer l'attention sur les effets du changement climatique en profitant de leur aspect symbolique.

Ce document présente plusieurs études de cas d'une sélection de sites naturels et culturels afin d'illustrer les impacts du changement climatique déjà observés et ceux auxquels on peut s'attendre. Pour chacun des sites mentionnés, des mesures d'adaptation possibles sont évoquées, espérant que ces exemples n'interpelleront pas que les professionnels du patrimoine mondial mais aussi le grand public.

8. *Décision 29 COM 7B.a.Rev adoptée à la 29<sup>e</sup> session du Comité du patrimoine mondial, Durban, Afrique du Sud, 2005, <http://whc.unesco.org/archive/2005/whc05-29com-07BRevf.pdf>.*

9. *Document WHC06-30COM7.1 et Décision 30COM7.1 adoptée lors de la 30<sup>e</sup> session du Comité du patrimoine mondial, Vilnius, Lituanie, 2006, <http://whc.unesco.org/fr/series/22/>.*



# Glaciers

## du patrimoine mondial

La plupart des glaciers montagneux et des petites calottes glaciaires ont rétréci depuis la fin du petit âge glaciaire, il y a environ 100 à 300 ans<sup>1</sup>. Mais, depuis quelques années, les glaciers fondent à une vitesse qui ne peut pas être expliquée par la seule variabilité naturelle du climat<sup>2</sup>. D'ici la fin du siècle, les températures risquent d'augmenter de 1,4 à 5,8°C<sup>3</sup>, alors qu'un réchauffement de 4°C suffirait à faire disparaître presque tous les glaciers sur terre<sup>4</sup>.

La fonte des glaciers n'a pas que des conséquences sur les valeurs qui ont justifié l'inscription au patrimoine mondial des sites dans lesquels ils se situent, elle a aussi un impact sur les écosystèmes environnants :

- La fonte d'un glacier conduit à la formation de lacs glaciaires. Les rives de tels lacs sont formées de moraines (accumulation de terre et de débris déposés par le glacier) qui peuvent s'effondrer quand le lac se remplit, inondant rapidement et

violemment les vallées en aval. Une inondation de ce type peut avoir des conséquences désastreuses pour la population et la biodiversité de toute la région située en aval du lac.

- La fonte périodique annuelle des glaciers régit le cycle hydrologique du bassin versant auquel ils appartiennent. Alors que les glaciers rétrécissent, les inondations des premières années seront suivies de sécheresses pouvant conduire à des famines et des épidémies.

1. *Bilan 2001 des changements climatiques: les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail II au troisième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)*. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 1032 pp. [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/), noté « GIEC 2001, GT2 » dans la suite de ce document, Chapitre 4.3.11.

2. M.B. Dyurgerov et M.F. Meier, 2000, *Twentieth Century Climate Change: Evidence from Small Glaciers*, Proceedings of the National Academy of Sciences, 97(4), pp.1406-1411.

3. GIEC 2001, GT1, op. cit., Résumé à l'intention des décideurs.

4. J. Oerlemans, B. Anderson, A. Hubbard, Ph. Huybrechts, T. Jóhannesson, W.H. Knap, M. Schmeits, A.P. Stroeven, R.S.W. van de Wal, J. Wallinga, et Z. Zuo, 1998, *Modelling the Response of Glaciers to Climate Warming*, Climate Dynamics, 14, pp.267-274.

■ Au delà des impacts géologiques et hydrologiques, les écosystèmes montagneux sont aussi menacés car les plantes et les animaux migrent pour s'adapter au changement environne-

mental. Plus de précisions sur cet aspect seront données dans le chapitre 3 (p. 40) consacré à l'impact du changement climatique sur la biodiversité terrestre.



*Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn*  
Suisse

# Parc national de Sagarmatha

Népal

Le Parc national de Sagarmatha a été inscrit sur la Liste du patrimoine mondial en juillet 1979 car il représente des phénomènes naturels et des régions d'une beauté naturelle et d'une importance esthétique exceptionnelles. Les 114 800 hectares du parc sont protégés au sud par une zone tampon de 27 500 hectares créée en 2002. La zone du parc est appelée Khumbu par les populations locales. Il s'agit d'un environnement de très haute altitude avec des vues exceptionnelles sur la chaîne montagneuse de l'Himalaya dominée par le mont Everest, le pic le plus élevé du monde (Chomo Lungma-Sagarmatha, 8 848 m). Plus de la moitié du parc est constituée d'un paysage montagneux de neige, de glace et de pierre. En plus des glaciers, le parc contient aussi des arbustes alpins et des vallées profondes couvertes de végétation subalpine. Plusieurs espèces sauvages rares telles que le léopard des neiges, le cerf porte-musc et le petit panda peuvent être rencontrées dans le Parc national de Sagarmatha.

Le parc est la demeure des Sherpas. Les peuplements sont considérés légalement comme faisant partie de la zone tampon du parc national. Mais, en termes de gestion, ces installations constituent une partie intégrante du paysage d'ensemble du parc. Il y a près de 6 000 résidents appartenant à l'ethnie des Sherpas. La présence de ce peuple, avec ses traditions culturelles uniques, ajoute autant d'intérêt au site.

La région a commencé à attirer des alpinistes étrangers et des explorateurs après la première ascension du mont Everest par sir Edmund P. Hillary et Sardar Tenzing Norgay Sherpa en 1953. Le parc accueille à présent 20 000 randonneurs chaque année. L'attraction principale est la beauté des montagnes environnantes, la culture locale, et surtout la proximité du mont Everest. Le tourisme a permis d'améliorer le quotidien des populations locales. Mais son impact sur la culture et l'environnement représente un défi pour la gestion du parc.

Les éléments justifiant l'inscription du Parc national de Sagarmatha sur la Liste du patrimoine mondial étaient géologiques, biologiques, esthétiques, et aussi liés à l'interaction entre l'homme et son environnement à cause du lien évolutif particulière des Sherpas avec leur environnement.



*Le glacier Pattar dans le Parc national de Sagarmatha au Népal. Dans les chaînes montagneuses de l'Himalaya et du Tian Shan, près de 67 % des glaciers étaient en retrait au cours de la décennie passée.*

## Impacts du changement climatique

Plusieurs des caractéristiques qui constituent les valeurs universelles exceptionnelles du Parc national de Sagarmatha sont le fruit de la variabilité passée du climat, ou lui sont liées. Jusqu'à la fin du petit âge glaciaire, la neige s'est accumulée au Parc national de Sagarmatha, conduisant à la formation des glaciers. L'action de ces glaciers contribue à façonner les caractéristiques géologiques du parc car, en tant qu'anciennes rivières de neige compactée, ils évoluent à travers le paysage et creusent les vallées.



*La vallée Pheviche, paysage népalais dans le Parc national de Sagarmatha.*

À présent, une grande inquiétude apparaît face à la possibilité que les glaciers de l'Himalaya rétrécissent rapidement à cause du changement climatique. Depuis le milieu des années 1970 la température a augmenté d'environ 1°C dans la région de l'Himalaya, c'est-à-dire près de deux fois plus vite que la moyenne mondiale de 0,6°C rapportée par le GIEC, et cette tendance est encore plus forte en altitude<sup>5</sup>. Près de 67 % des glaciers dans les chaînes de l'Himalaya et du Tian Shan ont rétréci au cours de la décennie passée<sup>6</sup>, parfois à une vitesse atteignant 30 m par an (glacier du Gangotri).

L'impact le plus sensible de cette tendance est lié aux valeurs esthétiques des montagnes. La fonte de la glace va changer les montagnes en des massifs nus et pierreux. L'Himalaya ne sera plus la « demeure de la neige ». Sans leur cœur de glace, les glaciers deviendront des gravats sans vie. Mais en plus de la dégradation visuelle et de ses conséquences sur le tourisme et la culture, le manque de neige aura aussi des conséquences négatives sur l'expérience des alpinistes.

L'impact le plus dévastateur concerne le cycle hydrologique. La fonte rapide des glaciers est d'ores et déjà responsable de l'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des inondations catastrophiques en aval. À terme, la fonte aura un impact sur la disponibilité de l'eau, source de vie pour l'alimentation, l'agriculture, et l'équilibre de l'écosystème. Les changements de température et des précipitations auront un impact sur l'équilibre entre la fonte en été et la quantité de précipitations stockées en hiver. La saison de la fonte des neiges coïncide avec la saison des pluies dans l'Himalaya. Par conséquent, toute intensification des pluies contribuera probablement à une disparition rapide de la neige et de la glace<sup>7</sup>. Il est par conséquent prévisible que la région de l'Himalaya se videra graduellement de sa réserve d'eau alimentant des milliards de personnes vivant en aval de ses sommets enneigés. Et la raréfaction de l'eau ne fera pas qu'appauvrir les populations, elle pourrait aussi générer des conflits à l'échelle locale et régionale.

5. J. Thomas et S. Rai, 2005, *An Overview of Glaciers, Glacier Retreat, and Subsequent Impacts in Nepal, India and China*, Résumé, Programme népalais du WWF, [http://www.panda.org/downloads/climate\\_change/glacierssummary.pdf](http://www.panda.org/downloads/climate_change/glacierssummary.pdf)

6. GIEC, 2001, *GT2*, op. cit., Chapitre 11.2.1.2.

7. GIEC, 2001, *GT2*, op. cit., Chapitre 11.2.3.1.

## Vidange brutale de lacs glaciaires et inondations

La fonte des glaciers conduit à la formation et au développement rapide de lacs glaciaires dont les rives sont constituées de débris de glace instables. Les lacs glaciaires sont souvent situés au pied de pentes où pendent des blocs de glace. Alors que la base du lac se remplit, des blocs de glace se détachent de la montagne (en général à cause de tremblements de terre) et tombent dans le lac, générant des vagues qui détruisent le barrage de moraine, causant une décharge subite d'importants volumes d'eau. Les inondations de ce type sont appelées vidanges brutales de lac glaciaire, elles ont des conséquences désastreuses pour la population et la biodiversité de l'ensemble du bassin versant. Les vidanges brutales de lac glaciaire sont des phénomènes naturels dans la région du Khumbu<sup>8</sup>, mais cette menace est exacerbée dans le contexte du changement climatique.

Au cours des deux dernières décennies, trois vidanges brutales de lac glaciaire majeures ont eu lieu dans le Khumbu. Une vidange brutale a eu lieu en 1977 à la base du mont Amadablam et a détruit les installations du parc et un pavillon touristique situé sur les rives de la rivière. Une seconde vidange brutale en août 1985

depuis le lac Digtso a détruit totalement la station hydro-électrique de Namche, des chemins, des ponts, a balayé des zones cultivées, des habitations, du bétail et causa la mort d'au moins 20 personnes tout au long des 90 km de son étendue. L'événement de vidange brutale le plus récent dans la partie est du Parc national de Sagarmatha a eu lieu le 3 septembre 1998 dans la vallée de Hinku. Aujourd'hui, le lac Imja dans le Parc national de Sagarmatha est identifié comme le plus grand et le plus menaçant des lacs nécessitant une surveillance urgente et un dispositif d'évaluation et de préparation au risque qu'il pose.

Dans l'ensemble de la partie est de la région de l'Himalaya, plus de 15 principaux événements de vidange brutale ont été rapportés depuis 1995. Récemment, le Centre international pour le développement des zones de montagne (ICIMOD), avec le soutien du Programme des Nations Unies pour l'environnement, a publié les résultats d'un inventaire des glaciers, lacs glaciaires et vidanges brutales au Népal et au Bhoutan. Cette étude mentionne 3 252 glaciers et 2 323 lacs glaciaires au Népal parmi lesquels 20 sont potentiellement dangereux<sup>9</sup>.

## Approvisionnement en eau

La moitié de l'eau douce utilisée au monde provient de glaciers de montagne. Si la glace continue à fondre à la vitesse actuelle, les chutes de neige hivernales ne suffiront plus à compenser la quantité de neige et de glace perdue lors de la fonte, ce qui conduira à un déficit de l'eau stockée sous la forme de neige et de glace. Cela pourrait provoquer l'assèchement de plusieurs rivières, causant des pénuries d'eau potable, d'irrigation, et affectant la faune et les réserves de pêche. Ce risque est confirmé par les modèles numériques qui montrent bien que dans le contexte du changement climatique il y aura une augmentation du débit des rivières à court terme causant des inondations<sup>10</sup>. Mais à moyen terme (quelques décennies) ces modèles suggèrent aussi qu'une décroissance nette du niveau de l'eau dans les rivières glaciaires sera observée.

La région de l'Himalaya procure de l'eau douce pour un tiers de la population mondiale<sup>11</sup>. En fournissant de l'eau aux rivières du Gange, de l'Indus, du Brahmapoutre, du Salween, du Mekong, du Yangtze et du Huang He, les glaciers de cette zone assurent l'approvisionnement en eau de 2 milliards de personnes. Pour le seul Gange, la perte de l'eau issue de la fonte des glaciers pourrait réduire dramatiquement le débit entre juillet et septembre, affectant les vies de 500 millions de personnes et de 37 % de la surface irriguée en Inde<sup>12,13</sup>. Dans le nord des montagnes du Tian Shan au Kazakhstan, plus de 90 % de l'approvisionnement en eau de la région est utilisé pour l'agriculture et près de 80 % du ruissellement provient des glaciers et du permafrost qui fondent à une vitesse accélérée.

8. *Rapport périodique du Parc national de Sagarmatha au Comité du patrimoine mondial, 2002*, <http://whc.unesco.org/en/list/120>

9. *Inventory of Glaciers, Glacier Lakes, Glacier Lake Outburst Floods Monitoring and Early Warning Systems in the Hindu Kush-Himalayan Region, Nepal and Bhutan, 2002*, Centre international pour un développement intégré des montagnes, Programme des Nations Unies pour l'environnement, <http://www.rrcap.unep.org/glofnepal/start.htm>

10. Thomas et Rai, 2005, *op. cit.*

11. *Going, Going, Gone! Climate Change and Global Glacier Decline*, Rapport du WWF, 2003, <http://assets.panda.org/downloads/glacierspaper.pdf>

12. C.K. Jain, 2001, *A Hydro-Chemical Study of a Mountainous Watershed: the Ganges, India*, Water Research, 36(5), pp.1262-1274.

13. P.S. Singh, S.K. Jain, N. Kumar et U.K. Singh, 1994, *Snow and Glacier Contribution in the Ganges River at Deoprayag*, Technical Report, CS(AR)132, National Institute of Hydrology, Roorkee, Inde.



Le changement climatique a un impact majeur sur la végétation, par exemple à travers le déplacement de la limite de la flore arborescente vers les altitudes plus élevées en réponse à l'augmentation des températures. Au cours de ce phénomène, les espèces animales et végétales les moins adaptées seront prises au piège et pourront même disparaître car les populations animales et végétales répondent au changement du climat de manière individuelle. Par conséquent, une communauté de forêt ne pourra pas se déplacer intégralement vers les hautes altitudes, certaines espèces s'adaptant et s'étendant alors que d'autres disparaîtront. Ce problème sera illustré plus en détail dans le chapitre 3 (p. 40) consacré aux impacts du changement climatique sur la biodiversité terrestre.

Les changements des régimes de perturbation doivent aussi être pris en compte. En supposant que le réchauffement à venir sera accompagné d'un approvisionnement en eau suffisant, la couverture végétale du Parc national de Sagarmatha pourrait augmenter. Mais si l'humidité n'augmente pas, le réchauffe-

ment pourrait conduire à des feux de forêt plus fréquents. Aussi, l'augmentation des températures favorisera le développement des espèces invasives, incluant les parasites et des épidémies.

Malgré ces changements environnementaux, le parc sera toujours habité et les interactions entre l'homme et la nature perdureront. Lors du refroidissement du petit âge glaciaire la population humaine s'est maintenue à un minimum. Le réchauffement pourrait conduire à l'effet inverse. L'accroissement de la population, l'étendue des habitations et l'empiétement deviendront probablement des problèmes majeurs pour la gestion du parc. Et la culture du peuple autochtone des Sherpas sera d'avantage soumise aux influences externes.

Cependant, certaines valeurs universelles exceptionnelles telles que les formations géologiques merveilleuses du parc et le statut du mont Everest comme la plus haute montagne du monde ne seront pas affectées, même si les valeurs esthétiques et culturelles souffriront du manque de couverture neigeuse.

## Autres menaces

**Les sites du patrimoine mondial tels que le Parc national de Sagarmatha ont des caractéristiques fragiles. Le changement climatique est une menace externe sérieuse pour la conservation à long terme de leurs valeurs. Mais cette menace doit être considérée comme un problème parmi d'autres. Le parc est aussi vulnérable eu égard à plusieurs facteurs locaux nécessitant des mesures de gestion locales :**

■ Pression sur les ressources : le nombre de randonneurs et d'alpinistes visitant le parc reste élevé. Et la population du Parc national de Sagarmatha augmente constamment. L'immigration économique vers le parc augmente significativement bien que la croissance de la population soit atténuée par le flux sortant de résidents locaux.

■ Pression de développement : alors que le parc continue à attirer un grand nombre de randonneurs et d'alpinistes, la pression sur les infrastructures de tourisme augmente.

# Réponses possibles

1

22

## Surveillance et alerte

En termes de réponses possibles, la solution au problème du réchauffement global se situe au-delà des frontières du Parc national de Sagarmatha. Le parc constitue toutefois un laboratoire idéal pour étudier les impacts du changement climatique, et des activités de recherche, d'information et de réduction des impacts pourraient être intégrées aux plans de gestion et mises en œuvre pour éviter davantage de dommages sur les écosystèmes et les populations.

Un système efficace de surveillance et d'alerte intégré dans une stratégie d'anticipation des risques appropriée peut réduire largement la perte de vies et de biens induites par les vidanges brutales de lac glaciaire<sup>14</sup>.

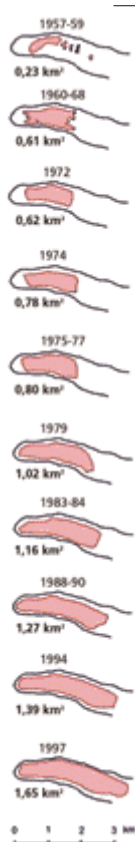
miniaturisées, les télécommunications et un système de diffusion par radio intégré avec des instruments de surveillance météorologique et géophysique *in situ*. Sur cet aspect, le Service mondial de surveillance des glaciers<sup>15</sup> fournit des solutions technologiques avancées pour une surveillance efficace de l'état de conservation des glaciers.

Parmi les mesures appropriées on trouve l'utilisation d'outils de télédétection tels que le satellite d'observation de la terre LandSat, la surveillance aérienne avec des caméras

## Adaptation



Le lac glaciaire de Tsho Rolpa s'étend à cause de la fonte des glaciers et ses berges fragiles constituées de moraines menacent de s'effondrer. Le risque d'une vidange brutale de ce lac glaciaire fut réduit de 20 % en le drainant artificiellement et en diminuant son niveau de 3 m en 2002.



Dans plusieurs cas, des désastres imminents pourraient être évités, par exemple en vidant artificiellement les lacs glaciaires potentiellement dangereux pour prévenir les inondations subites. Une telle mesure est en cours de mise en œuvre au lac de Tsho Rolpa dans la vallée de Rolwaling, dans la partie occidentale du Parc national de Sagarmatha. Les stratégies possibles visant à éviter une vidange brutale sont (i) rompre les berges, (ii) vidanger le lac, (iii) pomper ou siphonner l'eau, (iv) construire un tunnel à travers la moraine ou en dessous d'un barrage de glace pour libérer l'eau, (v) construire un barrage et (vi) réduire le risque d'avalanche en amont du lac.

d'au moins un tiers du lac dans la vallée. Cette menace a conduit à la mise en place d'une action conjointe entre le Gouvernement du Népal et l'Agence de développement des Pays-Bas avec l'assistance technique de Reynolds Geo-Sciences Ltd., soutenus par le Département britannique de développement international. Le projet consistait à vider le lac afin de réduire son niveau de 3 m et installer un système d'alerte dans les villages en aval. Le projet est arrivé à terme en décembre 2002 réduisant le risque de vidange brutale de 20 %. Mais pour se prémunir totalement contre un tel événement il faudrait réduire davantage le niveau, probablement de 17 m supplémentaires. Le coût serait bien sûr élevé mais certainement inférieur au coût des dommages causés aux infrastructures, à la biodiversité, et de manière plus cruciale aux pertes en vies humaines consécutives à une vidange brutale incontrôlée.

Le projet de gestion de vidange brutale du Tsho Rolpa a été conduit entre 1998 et 2002<sup>16</sup>. Le lac contenait approximativement 90 à 100 millions de mètres cubes d'eau retenus par une moraine haute de 150 m. Une brèche dans cette moraine aurait causé l'écoulement

14. Inventory of Glaciers, Glacier Lakes, Glacier Lake Outburst Floods Monitoring and Early Warning Systems in the Hindu Kush-Himalayan Region, Nepal and Bhutan, 2002, Centre international pour un développement intégré des montagnes, Programme des Nations Unies pour l'environnement, <http://www.rrcap.unep.org/glofnepal/start.htm>  
15. <http://www.geo.unizh.ch/wgms/about.html>  
16. S. Agrawala, V. Raksakulthai, M. van Aalst, P. Larsen, J. Smith et J. Reynolds, 2003, Development and Climate Change in Nepal: Focus on Water Resources and Hydropower, OECD, <http://www.oecd.org/dataoecd/6/51/19742202.pdf>

# Parc national de Huascarán

Pérou

Situé dans la cordillère Blanche, le massif montagneux tropical le plus élevé au monde, le mont Huascarán, s'élève à 6 768 m au-dessus du niveau de la mer. Les ravins profonds creusés par les nombreux torrents, les lacs glaciaires et la variété de la végétation font du Parc national de Huascarán un site d'une beauté spectaculaire. Par ailleurs, il héberge certaines espèces rares telles que l'ours à lunettes et le condor des Andes. Le Parc national de Huascarán fut inscrit sur la Liste du patrimoine mondial en 1985 car il constitue un exemple éminent de processus écologiques et biologiques en cours, en raison des phénomènes naturels remarquables qui y ont lieu et à cause de sa beauté naturelle d'une importance esthétique exceptionnelle.

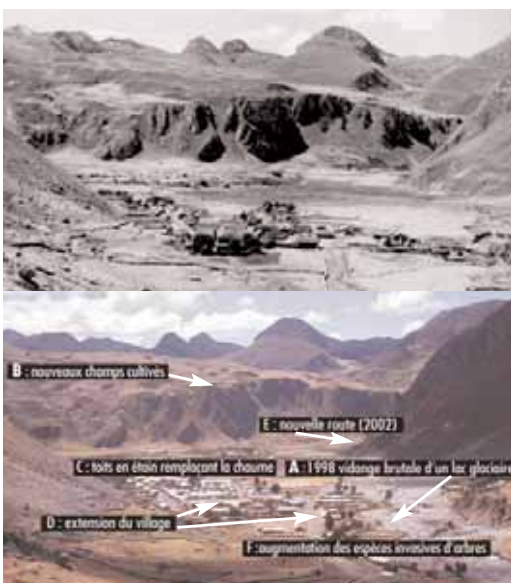
On estime que, dans la cordillère Blanche, près de 22 % du volume d'ensemble des glaciers a disparu depuis la fin des années 1960<sup>17</sup>. Aujourd'hui la vie de près de 2 millions de personnes vivant dans le voisinage immédiat du Parc national de Huascarán est menacée par des lacs de haute altitude avec la conjonction du changement climatique, de l'activité sismique locale, et de l'augmentation de l'instabilité des glaciers et des terrains en pente. Un autre phénomène climatique très important qui influe sur le parc est la variabilité des régimes de pluie lors des événements El Niño. Si cette tendance devait se prolonger, les scientifiques prédisent que dans moins de 50 ans il n'y aura plus de massif glaciaire dans la cordillère Blanche et qu'il y aura pénurie d'eau.

■ Comme il est décrit en détail au chapitre 3 (p. 40), le réchauffement global affecte la biodiversité terrestre. Dans le Parc national de Huascarán, cette tendance pourrait affecter la zone protégée dans son ensemble ainsi que les pratiques agraires. Certaines épidémies des cultures de pomme de terre telles que le parasite rancha (*Phytophthora infestans*) étaient endémiques dans les régions peu élevées des Andes. Maintenant le rancho a été observé à des altitudes plus élevées (3 700 à 4 000 m) dans le Parc national de Huascarán.

■ La fonte des glaciers, la diminution du volume de glace fait aussi peser une menace importante sur les valeurs culturelles du parc et de son voisinage immédiat. Les vestiges de cultures anciennes tels que le site archéologique de Willcahuain se situent sur le parcours de glissements de terrain potentiels liés à l'instabilité des terrains et des débris qui sont exposés quand la glace fond. Comme il est décrit dans le chapitre 4 (p. 52) consacré au patrimoine mondial archéologique, un tel événement se produisit en 1945 dans le site du patrimoine mondial de Chavín, situé au sommet de deux bassins (Mosna et Huacheksa). Sans oublier que de tels événements pourraient raser totalement la ville de Huaraz et d'autres villes dans la région.

Ces phénomènes climatiques pèsent sur les communautés locales et leur patrimoine :

■ Deux millions de personnes comptent sur l'eau provenant du Parc national de Huascarán et la demande va croissant. Le risque à court terme des inondations catastrophiques et à long terme de la raréfaction de l'eau menace ces communautés.



La comparaison de photographies répétées illustre les changements en cours dans la région du Parc national de Huascarán. Ces photographies du village de Queropalca dans la cordillère de Huayhuash furent prises en 1936 (haut) et 2003 (bas) dans des circonstances similaires\*. Plusieurs différences entre ces deux images peuvent être liées au changement climatique telles que l'impact d'une vidange brutale d'un lac glaciaire qui a détruit en partie le village en 1998 (point A), ou le déplacement en altitude des cultures (point B).

\* A.C. Byers, 2007, Impacts of Climate Change in the Mountains, dans G. Braasch (ed.), Earth under Fire: How Global Warming Is Changing the World Berkeley, University of California Press, États-Unis.

17. A.C. Byers, 2009, A comparative study of tourism impacts on alpine ecosystems in the Sagarmatha (Mt. Everest) National Park, Nepal and the Huascarán National Park, Peru. Dans : J. Hill et T. Gale (eds.), Ecotourism and Environmental Sustainability. Londres, Royaume-Uni, Ashgate, sous presse.



# Fjord glacé d'Ilulissat

Danemark

*Le Fjord glacé de l'Ilulissat (Danemark) est l'un des glaciers les plus actifs au monde. La calotte glaciaire du Groenland abrite les carottes de glace les plus profondes de l'hémisphère Nord qui révèlent l'évolution passée des températures et des précipitations. Mais ce glacier a reculé au cours du XX<sup>e</sup> siècle et le changement climatique menace la conservation de ces éléments intéressants sur le plan scientifique.*

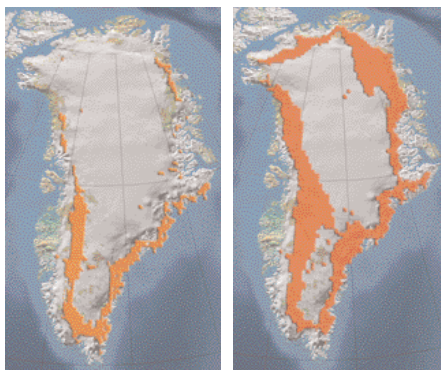


24

Situé sur la côte ouest du Groenland, à 250 km au nord du cercle arctique, le Fjord glacé d'Ilulissat (40 240 ha) est l'embouchure maritime de Sermeq Kujalleq, un des rares glaciers à travers lesquels la glace de l'inlandsis groenlandais atteint la mer. Sermeq Kujalleq est l'un des glaciers les plus rapides (19 m par jour). Son vèlage annuel de plus de 35 km<sup>3</sup>, soit 10 % de la production de glace du Groenland, dépasse celui de tous les autres glaciers du monde – en dehors de l'Antarctique. Étudié depuis plus de 250 ans, le site a permis d'enrichir notre compréhension du changement climatique et de la glaciologie de la calotte glaciaire. L'immense couche de glace associée au fracas impressionnant d'une coulée de glace rapide vèlant dans un fjord couvert d'icebergs crée un phénomène naturel spectaculaire et grandiose.

Le Fjord glacé d'Ilulissat a été inscrit compte tenu de ses critères naturels en 2004. Il s'agit d'un exemple exceptionnel d'un stade particulier de l'évolution de notre planète : le dernier âge glaciaire du quaternaire et la combinaison naturelle très esthétique de la roche, de la glace et de la mer, s'unissent aux bruits dramatiques de la glace en mouvement s'allient pour offrir un spectacle naturel inoubliable. Cependant, les valeurs universelles exceptionnelles de ce site vont être affectées par le changement climatique, particulièrement parce que le taux actuel de réchauffement de l'atmosphère est plus prononcé près des pôles. D'après le récent rapport d'évaluation des impacts du climat en Arctique (ACIA), le réchauffement local au Groenland pourrait être une à trois fois plus élevé que la moyenne du réchauffement global<sup>18</sup>.

Le Fjord glacé d'Ilulissat joue un rôle central dans l'étude de la glaciologie et de la variabilité du climat. Les premières descriptions de l'immense champ de glace furent publiées par H. Rink au cours de la seconde partie du XIX<sup>e</sup> siècle. Il constitue la base des théories



**L'étendue de la fonte de la calotte glaciaire du Groenland augmente rapidement : en 1992 à gauche et en 2002 à droite. (Arctic Climate Impact Assessment).**

relatives aux âges glaciaires anciens alors que la glace recouvrait une grande partie du globe. Aujourd'hui, les restes des âges glaciaires (calottes du Groenland et de l'Antarctique) sont essentiels pour la paléoclimatologie. Une importance particulière est accordée aux informations recueillies dans les carottes de 3 km de profondeur qui nous révèlent l'évolution des températures et des précipitations au

Groenland jusqu'à près de 250 000 ans. Aucun autre glacier ou calotte glaciaire dans l'hémisphère Nord ne fournit des informations sur le climat passé sur une échelle aussi longue et ininterrompue<sup>19</sup>. Or les impacts actuels du changement climatique sur ce site du patrimoine mondial menacent la conservation de ces données uniques.

Le cas de l'Ilulissat illustre bien la prise de conscience à propos du changement climatique dans le contexte de la *Convention du patrimoine mondial*. Ce site a été inscrit très récemment, et les impacts potentiels du changement climatique sur ce site étaient déjà mentionnés dans le dossier d'inscription et dans le rapport d'évaluation de l'Union internationale pour la conservation de la nature, dans lequel cette organisation consultative reconnaissait qu'une récession glaciaire avait eu lieu au cours du XX<sup>e</sup> siècle. En 1851, le front de glace à travers le fjord se situait à 25 km de l'embouchure. En 1950 il s'était retiré 26 km plus à l'est<sup>20</sup>. Et à l'avenir, le changement climatique affectera plus encore le débit de glace et la position du front de glace de Sermeq Kujalleq.

18. ACIA, 2004, *Impact of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Royaume-Uni, 2004, <http://www.acia.uaf.edu>

19. N. Mikkelson et T. Ingerslev (eds.), 2002, *Nomination of the Ilulissat Icefjord for Inclusion in the World Heritage List*, Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS).

20. UICN Rapport d'évaluation du site, 2003, [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/1149.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/1149.pdf)

# Parc national du Kilimandjaro


République Unie de Tanzanie

25

Avec 5 895 m d'altitude, le mont Kilimandjaro est la plus haute montagne d'Afrique. Ce massif volcanique se trouve dans un isolement splendide au-dessus des plaines environnantes avec son pic enneigé s'élevant au-dessus de la savane. La montagne est couverte de forêt d'altitude et plusieurs mammifères, parmi lesquels des espèces en danger, vivent dans le parc. Le Parc national du Kilimandjaro fut inscrit sur la Liste du patrimoine mondial en 1987 à cause de sa beauté naturelle exceptionnelle.

Les glaciers sur le Kilimandjaro ont persisté depuis au moins 10 000 ans. Mais suite à l'effet combiné du changement climatique et de la modification des pratiques locales (dont les changements de l'occupation des sols), ils ont perdu 80 % de leur surface au cours du XX<sup>e</sup> siècle<sup>21</sup>. Au cône Kibo du Kilimandjaro, la couverture totale de glace a diminué de 12 058 m<sup>2</sup>, 6 675 m<sup>2</sup>, 4 171 m<sup>2</sup> à 3 305 m<sup>2</sup> entre les années 1912, 1953, 1976 et 1989<sup>22</sup> respectivement. Si les tendances actuelles ne sont pas infléchies, en perdant près de 50 cm d'épaisseur chaque année, le champ de glace du Kilimandjaro pourrait bien disparaître en moins de 15 ans<sup>23</sup>.

Dans la même zone géographique, la disparition des glaciers dans le Parc national et la Forêt naturelle du mont Kenya (Kenya) et dans les Monts Rwenzori (Ouganda), tous deux sites du patrimoine mondial, est aussi envisageable d'ici une vingtaine d'années<sup>24</sup>.



Neige et glace sur le mont Kilimandjaro en 1993 et en 2002. La calotte glaciaire sur le sommet du Kilimandjaro a rétréci de 82 % au cours du siècle passé.

21. G. Kaser, D.R. Hardy, T. Mölg, R.S. Bradley et T.M. Hyera, 2004, *Modern Glacier Retreat on Kilimanjaro as Evidence of Climate Change: Observations and Facts*, International Journal of Climatology, 24, pp. 329-339.

22. S. Hastenrath et L. Greischar, 1997, *Glacier Recession on Kilimanjaro, East Africa, 1912-89*, Journal of Glaciology, 43(145), pp. 455-459.

23. L.G. Thompson, E. Mosley Thompson, M.E. Davis, K.A. Henderson, H.H. Brecher, V.S. Zagorodnov, T.A. Mashiotta, P.N. Lin, V.N. Mikhalenko, D.R. Hardy et J. Beer, 2002, *Kilimanjaro Ice Core Records: Evidence of Holocene Climate Change in Tropical Africa*, Science, 298, pp. 589-593.

24. R.G. Taylor, L. Mileham, C. Tindimugaya, A. Majugu, A. Muwanga et B. Nakileza, 2006, *Recent Glacial Recession in the Rwenzori Mountains of East Africa Due to Rising Air Temperature*, Geophysical Research Letters, 33, L10402, doi:10.1029/2006GL025962.

# Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn

Suisse

26

La région de Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn est la partie glaciaire la plus importante des Alpes. Elle accueille les glaciers les plus grands d'Europe et un ensemble de caractéristiques glaciaires classiques telles que des vallées en auge, des cirques, des cornes glaciaires et des moraines. Elle fournit des informations géologiques relatives à la convergence et à la compression qui ont formé les Alpes bernoises. Cette zone abrite tout un ensemble d'habitats alpins et subalpins et les espèces correspondantes. L'invasion végétale dans le sillage des glaciers en retrait offre un exemple exceptionnel de succession florale. Les vues impressionnantes de la façade septentrionale des Alpes bernoises autour des pics de l'Eiger, du Mönch et de la Jungfrau ont joué un rôle important dans l'art et la littérature européens.

En Europe, huit sur neuf des régions glaciaires sont en retrait. Entre 1850 et 1980 les glaciers dans les Alpes européennes ont perdu environ un tiers de leur surface et près de la moitié de leur masse, et depuis 1980, 20 à 30 % supplémentaires ont fondu. Par ailleurs durant la seule canicule de 2003, environ 10 % de la masse des glaciers européens a disparu. Si ces tendances continuent – ce qui est très probable – d'ici à 2050 75 % des glaciers dans les Alpes suisses auront probablement disparu<sup>25</sup>.

Plus spécifiquement, le glacier de l'Aletsch a rétréci de 3,4 km après avoir atteint sa longueur maximale (23 km) à la fin du petit âge glaciaire au XIX<sup>e</sup> siècle dont près de 1,4 km au cours des 56 dernières années<sup>26</sup>. D'ici 2050, il est très probable que le glacier de l'Aletsch aura rétréci au delà de la taille minimale qu'il avait à la fin de l'âge de bronze. En effet les modèles climatiques régionaux montrent que pour un scénario de doublement des concentrations de CO<sub>2</sub>



atmosphérique, les Alpes seront probablement exposées à l'avenir à des hivers plus doux avec des précipitations plus abondantes mais des étés beaucoup plus chauds et secs qu'aujourd'hui. Ces changements auront des impacts importants sur les glaciers alpins<sup>27</sup>.

*Depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, le glacier d'Aletsch a reculé de 3,4 km. En 1979 le glacier s'étendait jusqu'en bas de la montagne. En 1991 et 2002, un rétrécissement considérable était visible et une nouvelle végétation s'installait.*

25. European Environment Agency, 2004, *Impacts of Europe's Changing Climate: An Indicator-Based Assessment*, at [http://reports.eea.europa.eu/climate\\_report\\_2\\_2004/en/tab\\_content\\_RLR](http://reports.eea.europa.eu/climate_report_2_2004/en/tab_content_RLR)

26. H. Holzhauser, M. Magny et H.J. Zumbühl, 2005, *Glacier and Lake-Level Variations in West-Central Europe Over the Last 3,500 years*, *The Holocene*, 15(6), pp. 879-891.

27. GIEC, 2001, *GT2*, op. cit., Chapitre 13.2.1.4.



*L'Eggishorn dans la région de la Jungfrau (Suisse). Entre 1850 et 1980, les glaciers alpins ont perdu environ la moitié de leur masse.*

La fonte des glaciers aura des conséquences pour les grandes rivières européennes telles que le Rhin, le Rhône ou le Danube et menacera ainsi l'approvisionnement en eau douce. Dans les années à venir, le débit dû à la fonte des glaciers augmentera – en causant probablement des inondations plus fréquentes. Mais à long terme, avec un retrait généralisé des glaciers, certaines régions européennes feront face à une réduction de l'approvisionnement en eau.

L'industrie du tourisme dans les Alpes est aussi concernée par les conséquences du changement climatique bien que cette menace n'ait pas d'influence directe sur le site du patrimoine mondial de Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn. Les activités de sports d'hiver sont considérées comme assurées dès lors qu'une région donnée offre 100 jours ininterrompus de chutes de neige satisfaisantes. Aujourd'hui près de 85 % des stations suisses présentent une couverture neigeuse suffisante. Mais une élévation de 300 m de la limite pluie/neige réduirait ce pourcentage à 63 %<sup>28</sup>. En Suisse près de 100 000 emplois reposent sur le tourisme, mais pour beaucoup d'entre eux l'avenir est sombre dans le contexte du changement climatique.

Des mesures d'adaptation pour limiter la fonte des glaciers ont été explorées en Suisse. Par exemple, le champ de glace du Tortin a été recouvert de 2 500 m<sup>2</sup> d'un film bleu clair pour réduire la fonte du glacier en été. Ce type de mesure peut aider à stabiliser un glacier à court terme, mais cette option n'est pas pertinente pour le site du patrimoine mondial de Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn et elle ne peut pas garantir une véritable conservation à long terme assurant que le glacier perdurera pour les générations à venir.

28. H. Elsasser et P. Messerli, 2001, *The Vulnerability of the Snow Industry in the Swiss Alps*, Mountain Research and Development, 21(4), pp. 335-339.

# 2 Biodiversité Marine du patrimoine mondial

28

**Tout changement du climat affecte les caractéristiques physiques, biologiques et biogéochimiques des océans à diverses échelles spatiales et temporelles. De tels changements ont des conséquences cruciales pour la conservation des écosystèmes marins et par conséquent pour leur rôle de fournisseurs de biens et de services tels que les réserves de pêche sur lesquelles des milliards de personnes comptent pour leur subsistance.**

Mais les océans constituent aussi une partie intégrante et active du système climatique. Ils rétroagissent sur le climat lui-même. Le GIEC insiste sur le fait que des modifications climatiques affectera les océans à travers des modifications de la température de surface de la mer, du niveau de la mer, de l'étendue de la banquise, de la salinité, de l'alcalinité, des courants et de la variabilité à grande échelle du climat<sup>1</sup>. Le rôle des océans en tant que régulateurs du climat – en particulier dans la circulation de l'eau redistribuant énergie et salinité à travers le « tapis roulant » global (la circulation thermohaline) – pourrait donc être dramatiquement modifié. Mais ces changements auraient aussi des conséquences négatives pour les cycles biogéochimiques ainsi que pour la séquestration des gaz à effet de serre tels que le gaz carbonique lui-même.

Les aspects principaux des changements observés et à venir sont<sup>2</sup> :

- Une augmentation de la quantité de chaleur totale contenue dans les océans depuis les années 1950.
- Une augmentation globale du niveau moyen de la mer entre 0,1 et 0,2 m au cours du XX<sup>e</sup> siècle à cause de la dilatation thermique des océans et à cause de la fonte des glaciers et des calottes glaciaires. Cette élévation devrait atteindre 0,09 à 0,88 m entre 1990 et 2100.
- Une réduction de l'étendue de la glace de mer dans l'hémisphère Nord de plus de 10 % depuis les années 1950 au printemps et en été. Et une réduction probable de 40 % de l'épaisseur de la glace à la fin de l'été et au début de l'automne au cours des décennies récentes.

- Une augmentation de la fréquence, de la persistance et de l'intensité des événements El Niño depuis le milieu des années 1970 par rapport au siècle précédent. Les projections actuelles suggèrent une faible augmentation de l'amplitude de l'ENSO (El Niño Southern Oscillation : oscillation australe El Niño) au cours du siècle à venir.
- Un affaiblissement de la circulation thermohaline.

Les écosystèmes côtiers sont sensibles à ces changements physico-chimiques, particulièrement ceux liés à<sup>3</sup> :

- L'accroissement des inondations côtières, le rétrécissement des marais et des mangroves et l'intrusion d'eau salée dans les sources d'eau douce.
- L'augmentation en fréquence et en sévérité des impacts des tempêtes tels que l'érosion des côtes liée à l'augmen-

1. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Résumé technique.

2. GIEC, 2001, GT1, op. cit., Résumé à l'intention des décideurs.

3. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Résumé à l'intention des décideurs.



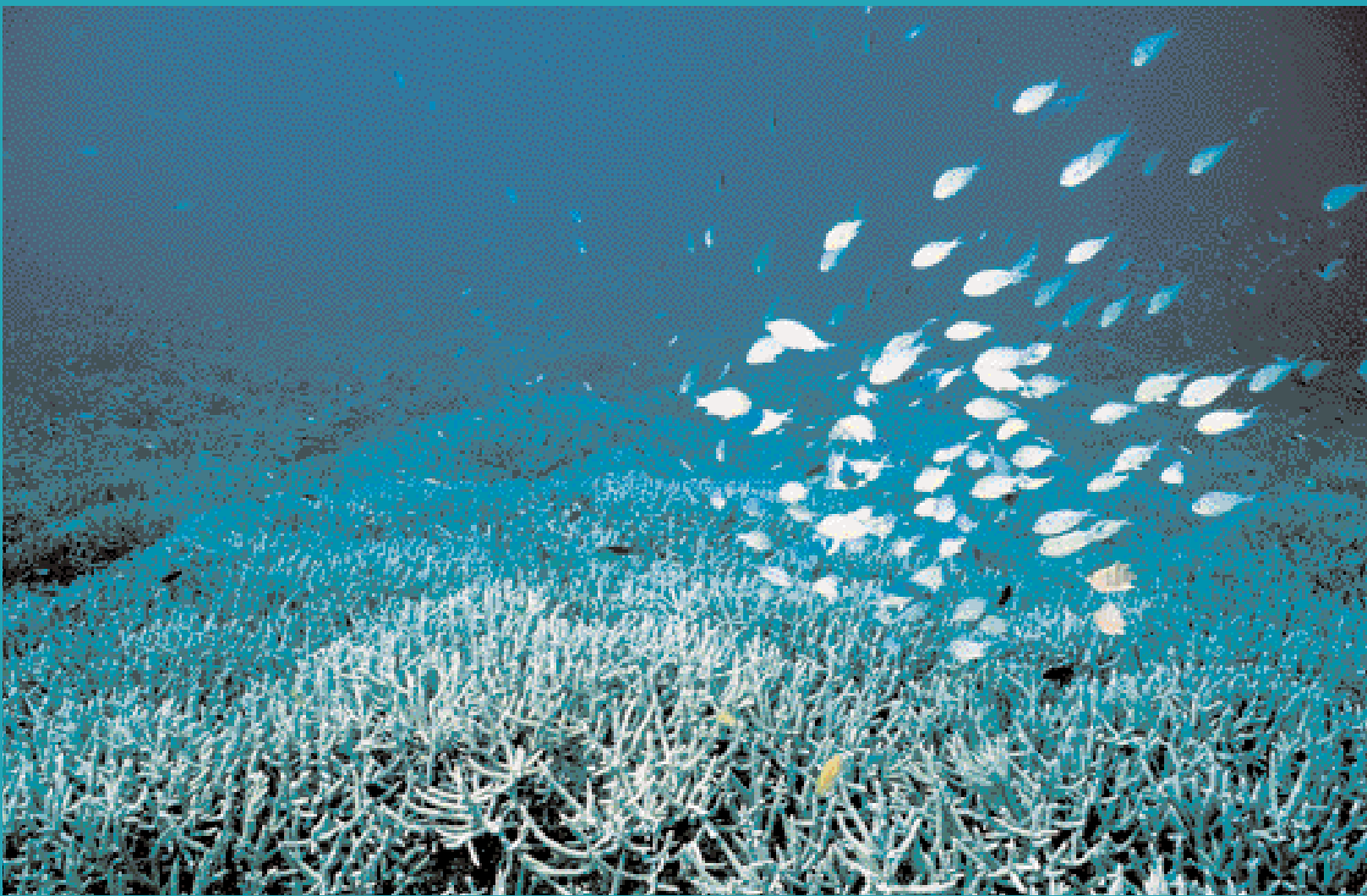
tation du niveau de la mer, particulièrement aux hautes latitudes où le rôle protecteur du permafrost et de la banquise s'amenuise.

Les écosystèmes marins seront affectés par les changements de température de l'eau, de la circulation océanique globale et de la salinité avec un ensemble d'effets tels que des changements des régimes de migration, de la composition des communautés et du fonctionnement des écosystèmes. La résistance de ces écosystèmes dépendra aussi de la rapidité et de l'amplitude du change-

ment climatique. Leur capacité d'adaptation – face à l'espace disponible pour leur migration et les éventuels obstacles – joue aussi un rôle important.

De plus, l'augmentation de la concentration du CO<sub>2</sub> atmosphérique absorbé par les océans commence à affecter l'équilibre délicat de l'acidité des océans. L'augmentation des carbonates sous-saturés et de l'acidité dans les océans aura des effets massifs sur les animaux marins à coquille ou squelette calcaire tels que les zooplanctons et un grand nombre d'espèces vivant au

fond des mers (ainsi les coraux ou les mollusques) en affectant leur croissance et dissolvant leurs squelettes. Il est prévu que ces effets combinés au réchauffement des océans puissent interrompre la chaîne alimentaire avec des effets dévastateurs pour les espèces de pleine mer et vivant au fond des océans dans l'ensemble des milieux marins, depuis les profondeurs jusqu'aux hauts-fonds. Les changements dans la chimie des océans devraient affecter près de 70 % des coraux de pleine mer d'ici à 2100<sup>4</sup>.



**La Grande Barrière**  
Australie

4. UNEP, IUCN, 2006, *Ecosystems and Biodiversity in Deep Waters and High Seas*, UNEP Regional Seas Reports and Studies, No. 178, [http://www.iucn.org/en/news/archive/2006/06/16\\_unep\\_high\\_seas\\_lr.pdf](http://www.iucn.org/en/news/archive/2006/06/16_unep_high_seas_lr.pdf)

# La Grande Barrière

Australie

2  
30

La Grande Barrière est un site marin d'une beauté remarquable situé au large de la côte nord-est de l'Australie. Il s'agit du plus grand écosystème corallien au monde, long de 2 100 km et couvrant une surface de 344 400 km<sup>2</sup>. Le lagon de la Grande Barrière abrite 2 900 récifs individuels avec 400 espèces de coraux, 1 500 espèces de poissons et des espèces de mollusques par milliers. Il constitue aussi un intérêt scientifique particulier en tant qu'habitat pour des espèces tel le dugong (ou vache de mer) et les tortues verte et caouanne, qui sont menacées d'extinction. Pour ces raisons le lagon fut inscrit en 1981 sous les quatre critères naturels du patrimoine mondial.

## Impacts du changement climatique

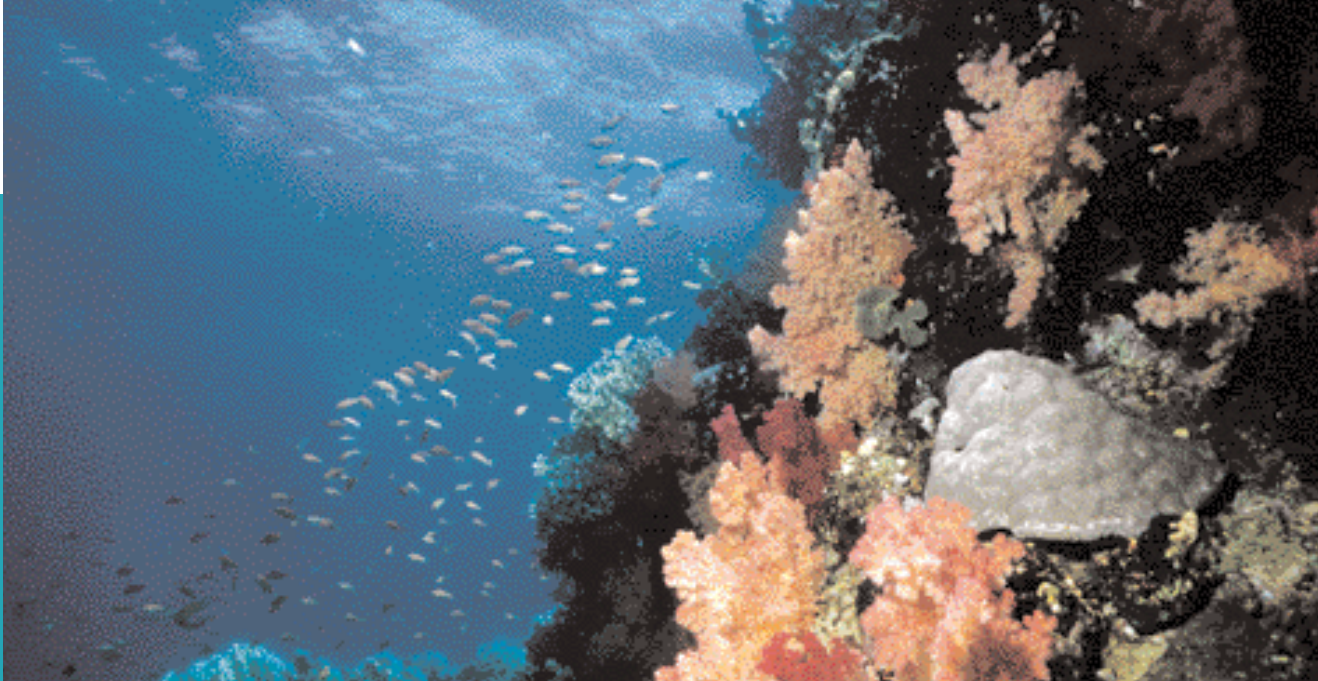
L'écologie de ce site du patrimoine mondial est sensible aux menaces liées au changement des paramètres climatiques suivants : augmentation du niveau de la mer, réchauffement, fréquence et intensité des tempêtes, régimes des précipitations, sécheresse, ruissellement terrestre, circulation océanique, et acidité. Un des effets les plus dramatiques et sérieux du changement climatique observé et à venir concerne les conséquences physiologiques du blanchissement des coraux qui a déjà causé des dommages à long terme dans plusieurs récifs coralliens dans le monde.

### Blanchissement des coraux

Beaucoup de coraux vivent près de leur niveau maximum de tolérance en termes de température de l'eau, et une augmentation de la température constitue une menace sérieuse pour les écosystèmes des récifs coralliens. Bien que la température des océans augmente moins vite que celle de l'atmosphère, la quantité de chaleur des océans augmente en moyenne globale<sup>5</sup>. L'augmentation observée de la fréquence, de la persistance et de l'intensité des événements El Niño représente une menace supplémentaire pour les régions affectées. De plus, les océans constituent un puits de CO<sub>2</sub> important. L'augmentation de la quantité de carbone dissous acidifie l'eau, conduisant à une réduction des ions carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) et donc une réduction du taux de saturation de CaCO<sub>3</sub> responsable d'une croissance



5. GIEC, 2001, GTI, op. cit., Résumé à l'intention des décideurs.



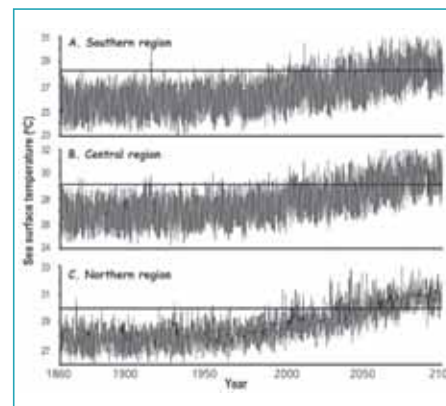
plus lente des coraux ou d'une plus grande faiblesse de leur squelette. D'après le GIEC, l'augmentation de la température de surface des océans et de la concentration du CO<sub>2</sub> dissous représentera la menace la plus sérieuse pesant sur les récifs coralliens au XXI<sup>e</sup> siècle<sup>6</sup>.

En réponse aux changements abrupts de température, d'éclairement, de salinité ou de turbidité, les coraux ont tendance à blanchir à cause de la perte d'une algue symbiotique essentielle pour leur approvisionnement en nutriments. Le blanchissement des coraux peut avoir lieu à l'échelle de quelques centaines de mètres mais des événements de blanchissement de masse ont commencé à affecter des milliers de kilomètres carrés de récifs. Des événements d'une telle ampleur étaient inconnus dans la littérature scientifique avant 1979<sup>7</sup>. Le blanchissement généralisé se produit quand la température de surface de la mer dépasse la moyenne saisonnière de 1,5°C à 2°C. La mortalité s'ensuit si l'anomalie de température excède 3°C pendant plusieurs mois<sup>8</sup>. Après un événement de faible ampleur, lorsque les conditions environnementales redeviennent normales, les coraux peuvent survivre, les impacts du blanchissement sont donc souvent temporaires. Cependant, une croissance plus faible et une capacité de reproduction réduite sont souvent observées chez les coraux qui survivent<sup>9</sup>.

Les températures de surface dans le lagon de la Grande Barrière mesurées au cours du siècle passé montrent une tendance positive d'environ 1°C, ce qui se situe dans la fourchette des tendances rapportées par d'autres observatoires tropicaux. Le réchauffement a



Blanchissement de corail sur l'île de Keppel en janvier 2006. Le corail devient blanc à cause de la perte d'une algue symbiotique qui peuple habituellement ses tissus.



Évolution de la température de surface de la mer dans la région de la Grande Barrière simulée avec le modèle couplé atmosphère/océan (ECHAM4/OPYC3) forcé par un scénario conforme au GIEC/IS92a. Les lignes horizontales montrent les seuils thermiques de tolérance des coraux pour chaque site\*.

\* O. Hoegh-Guldberg, 1999, *Climate change, Coral Bleaching and the Future of the World's Coral Reefs*, Marine and Freshwater Research, 50, pp.839-866.

6. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 6.4.5.

7. O. Hoegh-Guldberg, 2003, *Coral Reefs, Thermal Limits and Climate Change*, dans M. Howden, L. Hughes, M. Dunlop, I. Zethoven, D. Hilbert et C. Chilcott, *Climate Change Impacts On Biodiversity in Australia*, Résultats d'un groupe de travail financé par le Biological Diversity Advisory Committee, 1<sup>er</sup>-2 octobre 2002, Canberra, Australie.

8. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 6.4.5.

9. A.H. Baird et P. Marshall, 2002, *Mortality, Growth and Reproduction in Scleractinian Corals Following Bleaching on the Great Barrier Reef*, Mar. Ecol. Prog. Ser., 237, pp.133-141.



donc augmenté au cours des trente dernières années. L'année 1998 fut la plus chaude en 95 ans de mesures et le taux de réchauffement actuel est maintenant considéré comme étant bien supérieur à un degré par siècle<sup>10</sup>. À cause de ce changement environnemental, les habitats adaptés pour les récifs coralliens dans la région sont réduits drastiquement<sup>11</sup>.

De plus, la variation des températures de surface associées à l'ENSO s'ajoute à cette tendance de fond. L'ENSO fait partie de la variabilité naturelle du climat mais, d'après le GIEC, la fréquence, la persistance et l'intensité des phases chaudes de cette oscillation augmentent<sup>12</sup>.

En 1998, le réchauffement induit par El Niño lors de l'été austral combiné au réchauffement climatique a conduit la température de surface de la mer à dépasser le seuil tolérable pour les coraux<sup>13</sup>. Près de 65 % des récifs côtiers ont souffert de forts taux de blanchissement (au dessus de 10 %) alors que des niveaux extrêmes (plus de 70 %) étaient rapportés pour un quart de ces récifs. Au large, environ 14 % des récifs ont aussi été touchés par des niveaux sévères de blanchissement. Heureusement la plupart des récifs ont survécu à cet événement. Cependant, par endroits, près de 50 % des coraux ont succombé<sup>14</sup>. La menace du réchauffement à grande échelle couplée aux phases positives de l'ENSO est loin d'être limitée à la Grande Barrière. En 1998, on estime que près de 16 % des coraux mondiaux ont disparu. Par endroits, tels que dans la partie occidentale de l'océan Indien, plus de 50 % des coraux sont morts<sup>15</sup>.

L'échelle de temps pour qu'un récif recouvre son état d'origine après un événement de blanchissement ayant causé la mort des coraux est de l'ordre de dix à trente ans. Par conséquent, la fréquence de tels événements est un facteur crucial.

Dans ce contexte, il faut noter que la vague de blanchissement de 1998 fut suivie dès 2002 du blanchissement le plus important observé dans la Grande Barrière<sup>16</sup>. Deux vagues de plusieurs semaines de températures élevées ont conduit la température de l'eau à dépasser de plusieurs degrés la moyenne saisonnière



La Grande Barrière de corail.

climatologique. Des vols de reconnaissance conduits entre mars et avril 2002 montrèrent que 60 % des récifs analysés auraient blanchi.

D'après les projections des modèles, le réchauffement dans la Grande Barrière pourrait se situer entre 2°C et 5°C d'ici à 2100. Le diagnostic le plus probable est que des événements de blanchissement de masse conduisant à la mort généralisée de coraux deviendront plus fréquents sur la côte australienne dans les décennies à venir<sup>17</sup>. Les projections actuelles montrent que la fréquence du blanchissement augmente de 1,6 % par décennie. Par conséquent, d'ici la fin du siècle, les récifs coralliens feront face à des températures au-dessus de leur seuil de tolérance tous les ans – même d'après les scénarii les plus optimistes<sup>18</sup>.

Pour répondre aux modifications environnementales, la vie marine s'adapte et s'acclimater. Les espèces marines peuvent s'acclimater en changeant leur physiologie afin de mieux supporter des températures élevées. L'adaptation consiste à sélectionner les espèces les plus robustes alors que les autres ne peuvent plus survivre ni se reproduire. L'adaptation et l'acclimatation dépendent de l'intensité du changement et se déroulent sur des échelles

10. J.M. Lough, 1999, *Sea Surface Temperatures on the Great Barrier Reef: A Contribution to the Study of Coral Bleaching, Final Report*, Great Barrier Reef Marine Park Authority.

11. J.M. Guinotte, R.W. Buddemeier et J.A. Kleypas, 2003, *Future Coral Reef Habitat Marginality: Temporal and Spatial Effects of Climate Change in the Pacific Basin*, *Coral Reefs*, 22, pp.551-558.

12. GIEC, 2001, GT1, op. cit., *Résumé à l'intention des décideurs*.

13. GIEC, 2001, GT2, op. cit., *Chapitre 12.4.7*.

14. O. Hoegh-Guldberg, 1999, op. cit.

15. C. Wilkinson (ed.), *Status of Coral Reefs of the World 2004*, Australian Institute of Marine Science, Australie.

16. *The State of the Great Barrier Reef On-line*, Great Barrier Reef Marine Park Authority, [http://www.gbrmpa.gov.au/corp\\_site/info\\_services/publications/sot](http://www.gbrmpa.gov.au/corp_site/info_services/publications/sot)

17. GIEC, 2001, GT2, op. cit., *Chapitre 12.4.7*.

18. O. Hoegh-Guldberg, 1999, op. cit.

## Conséquences sur la biodiversité marine

de temps bien distinctes. Le temps nécessaire pour s'acclimater étant de l'ordre de quelques jours alors que l'adaptation est bien plus lente.

En ce qui concerne la Grande Barrière, la tolérance en température des coraux varie géographiquement<sup>19</sup>. Le seuil apparent semble plus élevé pour les coraux dans la partie nord du récif. Cette variabilité latitudinale suggère qu'une adaptation à très long terme est en cours à travers la sélection d'espèces hôtes

Les récifs coralliens jouent un rôle crucial dans l'écosystème. Ils constituent l'habitat de base pour des centaines de milliers d'espèces de poissons et autres organismes et ils sont aussi la source de production primaire dans ce qui, sans eux, serait des océans tropicaux pauvres en nutriments. Parfois, la productivité peut être plusieurs milliers de fois plus élevée dans le récif que dans les eaux profondes avoisinantes<sup>22</sup>. Ce haut niveau de productivité des récifs coralliens est un élément majeur de la chaîne alimentaire dans ces zones tropicales.

La prévision des conséquences du blanchissement des coraux pour l'ensemble de l'écosystème du récif est un sujet complexe avec des conséquences positives ou négatives possibles pour la biodiversité marine. Pour la majeure partie des organismes du récif qui ne sont pas liés directement à la colonie de corail, les conséquences du blanchissement sont très difficiles à évaluer. Dans l'ensemble, des événements de blanchissement plus fréquents rendront les récifs moins attractifs. Mais la diversité de certains groupes et l'abondance des invertébrés pourraient augmenter à court terme, alors que de nouveaux habitats deviennent disponibles<sup>23</sup>. Après le blanchissement massif de 1998 qui tua 88 % des coraux sur les récifs tanzaniens, la diversité des poissons semblait inchangée et l'abondance des poissons était en hausse de 39 %, à cause d'une augmentation d'herbivores suite à une plus grande disponibilité de macro algues<sup>24</sup>. Néanmoins, de telles observations sont très

et symbiotiques plus tolérantes à la chaleur suite à des événements de blanchissement passés<sup>20</sup>. Cependant l'échelle de temps de cette évolution est loin d'être compatible avec le taux de réchauffement actuel. Et les campagnes de mesure suggèrent que les coraux vivent toujours aussi proches de leur seuil de tolérance qu'au début des années 1980. Cela montre que ni acclimatation ni adaptation ne se sont produites récemment<sup>21</sup>.

limitées et elles ne sont valables qu'à court terme pour l'instant. À long terme, le blanchissement des coraux réduirait leur taux de reproduction, leur développement et leur calcification, conduisant à une dégradation d'ensemble du récif. Les effets de la réduction de la productivité de l'écosystème du récif devraient donc être importants. Dans bien d'autres exemples, les espèces de poissons sont dépendantes du corail (elles ne se nourrissent et ne se reproduisent qu'au voisinage du corail) et elles disparaissent rapidement quand le corail meurt<sup>25</sup>. De ce fait, les revenus de la pêche seraient réduits avec des conséquences dramatiques pour la biodiversité de la région et les populations locales qui en dépendent<sup>26</sup>.

Les coraux qui développent et construisent le récif fournissent la majeure partie de la production primaire du récif corallien et un abri pour les autres organismes. La réduction de l'abondance et de la diversité des coraux construisant le récif devrait donc avoir une influence majeure sur la biodiversité environnante. Les recettes des réserves de pêche tropicale décroissent à travers le monde et il semble clair à présent que les conditions deviennent critiques pour les populations locales, souvent pauvres. Très peu d'études sont consacrées aux conséquences à long terme du blanchissement des coraux sur les organismes du récif. Une corrélation a cependant été clairement établie entre la variabilité de l'ENSO et les conditions défavorables pour les oiseaux de mer, les tortues et les mammifères marins<sup>27</sup>.

19. O. Hoegh-Guldberg, 1999, *op. cit.*

20. GIEC, 2001, *GT2, op. cit., Chapitre 12.4.7.*

21. O. Hoegh-Guldberg, 1999, *op. cit.*

22. *Ibid.*

23. S.L. Coles, 2001, *Coral Bleaching: What Do We Know And What Can We Do?* dans R.V. Salm, et S.L. Coles (eds.), 2001, *Coral Bleaching and Marine Protected Areas, Compte rendu du Groupe de travail « Mitigating Coral Bleaching Impact Through Marine Protected Areas Design »*, Bishop Museum, Honolulu, Hawaii, États-Unis, 29-31 mai 2001, *Asia Pacific Coastal Marine Program Report # 0102*, The Nature Conservancy, Honolulu, Hawaii, États-Unis, 118 pp.

24. U. Lindahl, M.C. Ohman et C.K. Schelton, 2001, *The 1997/1998 Mass Mortality of Corals: Effects on Fish Communities on a Tanzanian Coral Reef*, *Marine Pollution Bulletin*, 422, pp. 127-131.

25. O. Hoegh-Guldberg, 2004, *Marine Ecosystems and Climate Change, Chapter 20*, dans T. Lovejoy et L. Hannah (eds.), *Climate Change and Biodiversity*, Yale University Press, États-Unis, 34 pp.

26. GIEC, 2001, *GT2, op. cit., Chapitre 6.4.5.*

27. Hoegh-Guldberg, 1999, *op. cit.*

## Conséquences pour le tourisme

# 2

34

Le blanchissement du corail a aussi des impacts sur l'industrie du tourisme dans le parc marin de la Grande Barrière<sup>28</sup>. L'industrie touristique marine contribue de manière essentielle à l'économie australienne. Le tourisme est l'activité commerciale dominante dans la région de la Grande Barrière, attirant environ 1,8 million de visiteurs par an et dégagant 5,1 milliards de dollars australiens. En 2005, il y avait environ 820 agences de tourisme certifiées et 1 500 bateaux et avions autorisés à œuvrer dans le parc.

Beaucoup de touristes visitent les récifs les plus proches de la côte qui peuvent être atteints par bateau en quelques heures. Ces récifs côtiers sont situés dans des eaux relativement peu profondes et ils sont plus exposés au

changement climatique<sup>29</sup>. De plus, étant proches des côtes ils sont ainsi plus exposés aux polluants entrant dans le lagon via les rivières. Dans le contexte du changement climatique, les inondations devraient devenir moins fréquentes mais plus intenses<sup>30</sup>, augmentant la décharge de sédiments et de nutriments et augmentant aussi la pénétration des eaux douces dans le récif<sup>31</sup>.

Le changement climatique pourrait donc avoir des conséquences directes pour l'économie locale de la Grande Barrière. Mais cette menace s'applique aussi pour d'autres récifs autour du monde et on estime son coût sur les activités de tourisme à 90 milliards de dollars EU<sup>32</sup> pour une perte de 58 % des récifs coralliens mondiaux.

## Autres menaces

À l'échelle globale, 58 % des récifs coralliens sont considérés comme exposés à des risques naturels exceptionnels (tempêtes et cyclones) et à des activités humaines telles que le développement industriel, la pollution, le tourisme, l'urbanisation, le ruissellement des engrais, les eaux usées, la sédimentation, la surpêche, la cueillette du corail, le partage du territoire, la chasse et les maladies<sup>33</sup>.

Dans la Grande Barrière, plusieurs sources de stress en plus du changement climatique menacent la conservation du récif corallien. L'eutrophisation anthropique liée à l'écoulement depuis la terre de matières en suspension, herbicides, pesticides et engrais, peut avoir un impact sur le récif<sup>34</sup>. Les études dans le lagon de la Grande Barrière montrent qu'une augmentation significative des concentrations de phytoplancton a eu lieu depuis 65 ans.

L'augmentation de l'utilisation du récif peut aussi être vue comme une menace avec la décharge des débris des bateaux, les dommages physiques au récif causés par les

ancres, les plongeurs et leur contact avec les coraux, la perturbation de la faune des îles (en particulier les oiseaux marins), la surpêche et/ou la collecte. Cette menace est maintenant répandue à travers l'ensemble du site du patrimoine mondial de la Grande Barrière avec la mise en œuvre de bateaux rapides permettant d'accéder à près de 80 % du parc lors d'expéditions à la journée<sup>35</sup>. Cependant, le tourisme est particulièrement bien contrôlé grâce à un système de permis. Par conséquent, si certains sites sont en danger, le tourisme et les activités de loisir ne sont pas une menace significative de détériorations dans la Grande Barrière à l'échelle écologique.

28. H. Hoegh-Guldberg et O. Hoegh-Guldberg, 2004, *Biological, Economic and Social Impacts of Climate Change on the Great Barrier Reef*, World Wide Fund for Nature, 318 pp.  
29. S. Crimp, J. Balston, A. Ash, L. Anderson-Berry, T. Done, R. Greiner, D. Hilbert, M. Howden, R. Jones, C. Stokes, N. Stoeckl, B. Sutherst et P. Whetton, 2004, *Climate Change in the Cairns and Great Barrier Reef Region: Scope and Focus for an Integrated Assessment*, Australian Greenhouse Office. <http://www.greenhouse.gov.au/impacts/publications/pubs/gbr.pdf>  
30. CSIRO, 2001: *Climate Change Projections for Australia*, CSIRO Atmospheric Research, 8 pp.  
31. B. King, M. Zapata, F. McAllister et T. Done, 2002, *Modelling the Distribution of River Plumes on the Central and Northern Great Barrier Reef Shelf*, CD interactif et Rapport technique n°44, Cooperative Research Centre for the Great Barrier Reef World Heritage Area from Asia-Pacific Applied Science Associates and the Australian Institute of Marine Science, <http://www.reef.crc.org.au/discover/threats/king10rivers/index.html>  
32. D. Bryant, L. Burke, J. McManus, et M. Spalding, 1998, *Reefs at Risk: a Map-Based Indicator of Threats to the World's Coral Reefs*. World Resources Institute, Washington, D.C., États-Unis.  
33. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 6.4.5.  
34. P.R.F. Bell et I. Elmetri, 1995, *Ecological Indicators of Large-Scale Eutrophication in the Great Barrier Reef Lagoon*, *Ambio*, XXIV (4), 208-15.  
35. S. Hillman, 1996, *The State of the Great Barrier Reef World Heritage Area, Report*, Reef Research, 6(1).

## Réponses possibles

Il y a beaucoup d'actions à entreprendre pour aider les récifs coralliens à supporter le changement climatique<sup>36</sup>. Un programme de réponse au changement climatique (2004-2008) a été développé pour mieux comprendre l'ensemble des phénomènes et répondre aux menaces du changement climatique qui affectent la Grande Barrière. Les résultats clés de ce programme subventionné conjointement par l'Autorité du parc marin de la Grande Barrière et par le Bureau australien de l'effet de serre incluent un plan de réponse au blanchissement du corail et un plan d'action contre le changement climatique.

Le plan de réponse au blanchissement du corail a pour objectif de détecter et mesurer le blanchissement et d'autres impacts à court et à long terme (grâce à l'imagerie satellite, l'exploration sous-marine et la surveillance) et il a reçu une reconnaissance mondiale positive (il a par exemple été adapté pour les Keys en Floride ainsi qu'en Indonésie). Le but du plan d'action contre le changement climatique est de rendre durables les écosystèmes, mais aussi les industries et les communautés en identifiant et en mettant en place les actions de gestion pertinentes, en adaptant les politiques et en favorisant les collaborations. Une évaluation de la vulnérabilité de la Grande Barrière face au changement climatique est en cours et elle permettra une analyse complète des impacts du changement climatique observés et à venir dans différentes parties du système social et écologique du récif.

La résilience des récifs coralliens au changement climatique peut être améliorée significativement en réduisant les effets des autres menaces pesant sur l'écosystème. Les coraux affaiblis par d'autres sources de stress (telles que la qualité de l'eau, l'abondance des herbivores et la proximité des sources de larves de coraux) pourraient être plus affectés par le blanchissement, survivre moins bien et être plus lents à recouvrer leur état d'origine. Des initiatives telles que le plan de protection de la qualité de l'eau dans le récif, les plans de gestion de diverses réserves de pêche et le programme des zones représentatives ont été

développées afin de maximiser la résilience de la Grande Barrière aux pressions à venir, telles que le changement climatique<sup>37</sup>. En 2004, l'Autorité du parc marin de la Grande Barrière a augmenté la surface des zones interdites à la collecte de 5 % à 33 % pour améliorer la résilience du parc en protégeant des régions de biodiversité unique, incluant des zones cruciales pour les poissons et d'autres organismes. Le Gouvernement australien travaille en liaison avec le gouvernement du Queensland sur le plan de protection de la qualité de l'eau dans le récif, qui a pour objectif de stopper et d'inverser le déclin de la qualité de l'eau entrant dans le parc d'ici à 2013. L'Autorité du parc marin de la Grande Barrière travaille aussi avec les pêcheurs pour s'assurer de la durabilité écologique des ressources dans le parc.

Ces activités de gestion sont mises en œuvre et reconnues comme les meilleures pratiques au niveau mondial et le site a subi des impacts du blanchissement relativement mineurs à cette date, bien que d'autres événements demeurent inévitables. Le principal défi consiste à augmenter la résilience du système de la Grande Barrière en incorporant des espèces clés, des habitats et des procédés particuliers, tout en faisant intervenir les industriels et les communautés de la région qui dépendent du récif. Cela implique d'améliorer continuellement les efforts de gestion, la coopération entre les agences gouvernementales et des partenariats actifs entre les parties prenantes et les membres de la communauté<sup>38</sup>.

36. P.A. Marshall et H.Z. Schuttenberg, 2006, *A Reef Manager's Guide to Coral Bleaching*, Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville, Australie.

37. *Natural Resource Management Ministerial Council, 2004, National Biodiversity and Climate Change Action Plan 2004-2007*, Gouvernement australien, Department of the Environment and Heritage, Canberra, Australie, <http://www.deh.gov.au/biodiversity/publications/nbccap/index.html>

38. Marshall, P. et H.Z. Schuttenberg, 2006, *Adapting Coral Reef Management in the Face of Climate Change*, dans J.T. Phinney, A. Strong, W. Skyring, J. Kleypas, et O. Hoegh-Guldberg (eds.), *Coral Reefs and Climate Change: Science and Management* (pp. 244). American Geophysical Union Coastal and Estuarine Series, Volume 61, 244 pp.

## Sundarbans

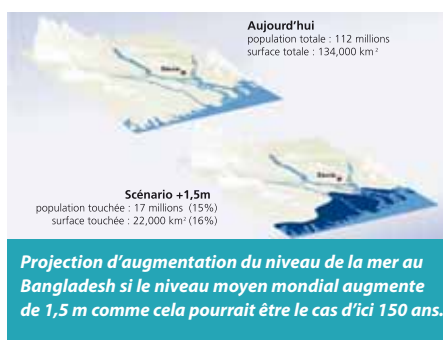
Inde, Bangladesh



**La mangrove des Sundarbans, la plus grande de ce type au monde (plus de 10 000 km<sup>2</sup> entre terre et mer, plus de la moitié située en Inde, le reste au Bangladesh), se situe au sein du delta des fleuves Gange, Brahmapoutre et Meghna de la baie du Bengale. Le site est entrecoupé d'un réseau complexe de voies estuariennes, d'étangs et de petites îles de mangrove.**

Les mangroves sont principalement constituées de palétuviers, arbres à feuilles pérennes adaptés à la salinité du sol. Ils ne poussent que dans l'estran sur les côtes tropicales et s'étendent vers l'intérieur des terres le long des rivières soumises à l'influence des marées. Les mangroves constituent une protection naturelle contre les cyclones et agissent comme un filtre entre les eaux douces et salées. Elles représentent aussi un environnement idéal pour la croissance des invertébrés marins et des poissons.

La mangrove des Sundarbans est réputée pour sa biodiversité, on y trouve 260 espèces d'oiseaux, des loutres indiennes, des cerfs tachetés, des sangliers sauvages, des crabes violonistes, des crabes de vase, trois espèces de lézard marin et cinq espèces de tortue. Mais certaines espèces en danger y sont aussi présentes dont le crocodile d'estuaire, le python indien et le très symbolique tigre du Bengale. Pour ces raisons, le Parc national des Sundarbans indien et sa partie située au Bangladesh furent inscrits sur la Liste du patrimoine mondial respectivement en 1987 et 1997.



D'après le GIEC, l'élévation du niveau de la mer est la plus grande menace et le plus grand défi pour un développement durable en Asie du Sud et du Sud-Est<sup>39</sup>. Les conséquences de cette élévation font l'objet de préoccupations sérieuses pour le bien-être des populations locales, en particulier en ce qui concerne les deltas proches du niveau de la mer, l'érosion de la côte, l'augmentation de la salinité et de l'acidité des sols et les changements de l'aquifère.

En plus de l'élévation du niveau de la mer (plus exactement de l'élévation eustatique,

c'est-à-dire de l'augmentation en moyenne globale liée à une modification du volume des océans), la région des Sundarbans subit une subsidence naturelle<sup>40</sup>, qui engendre une augmentation supplémentaire du niveau relatif de la mer d'environ 2,2 mm par an. Le résultat net est une augmentation de 3,1 mm par an à Sagar.

Les facteurs de stress extérieurs\* au changement climatique incluent la diversion en amont du débit d'eau douce du Gange par le barrage de Farraka en Inde mis en place en 1974 pour diminuer l'ensablement du port de Calcutta. Cette diversion conduit à une réduction de 40 % du débit lors de la saison sèche<sup>41,42</sup>.

L'action combinée de l'élévation du niveau de la mer, de l'évaporation, et du flux plus faible d'eau douce en hiver contribuera aussi à l'augmentation de la salinité dans cette région, menaçant la conservation des mangroves<sup>43</sup>. Dans les Sundarbans, comme dans bien des régions protégées au monde, la conservation est menacée par un faisceau de facteurs extérieurs et, encore une fois, le changement

39. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 11.3.2.4.

40. P. Sanyal, 2002, *Sea-Level Rise and Sundarban Mangrove*, dans G. Quadros (ed.), *Compte rendu du National Seminar on Creeks, Estuaries and Mangroves – Pollution and Conservation*, 28-30 novembre 2002, Thane, Inde, pp. 47-50.

41. UICN *Rapport d'évaluation des sites du patrimoine mondial 452 (1987) et 798 (1997)*, [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/452.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/452.pdf), [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/798.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/798.pdf)

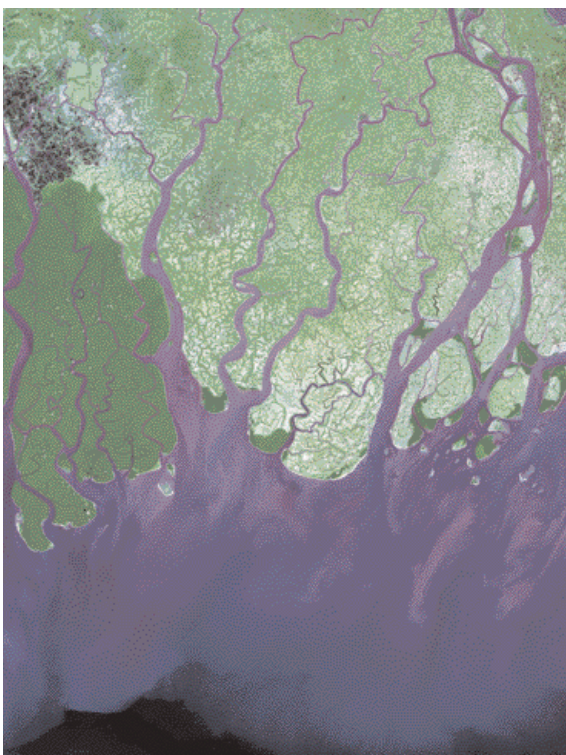
42. J.C. Pernetta (ed.), 1993, *Marine Protected Area Needs in the South Asian Seas Region, Vol. 2, Inde, A Marine Conservation and Development Report*, UICN, Gland, Suisse, vii+ 77 pp., [http://www.uicn.org/themes/marine/pdf/mpan\\_v2.pdf](http://www.uicn.org/themes/marine/pdf/mpan_v2.pdf)

43. S. Huq, A. Rahman, M. Konate, Y. Sokona et H. Reid, 2003, *Mainstreaming Adaptation to Climate Change in Least-Developed Countries (LDCs)*, *International Institute for Environment and Development*, 40pp., <http://www.iied.org/pubs/pdf/full/9219IIED.pdf>





Les mangroves sont constituées d'arbres à feuilles pérennes adaptés à l'eau salée. Elles jouent un rôle de protection contre les cyclones tropicaux, filtrent les eaux de l'estuaire, et sont un lieu de reproduction privilégié pour plusieurs espèces marines. Les Sundarbans constituent la plus grande mangrove du monde



Le delta du Gange couvert par la mangrove des Sundarbans.

climatique devrait être perçu comme une menace parmi d'autres. Dans l'ensemble, ces facteurs pourraient conduire, dans le cas d'une augmentation de 45 cm du niveau moyen de la mer, à une destruction de 75 % des mangroves des Sundarbans<sup>44</sup>.

Si elles devaient être détériorées, les mangroves des Sundarbans ne joueraient plus leur rôle protecteur primordial contre les cyclones. La baie du Bengale est très touchée par les tempêtes tropicales : près de 10 % des cyclones mondiaux sont observés dans cette région, et 17 % d'entre eux touchent le Bangladesh<sup>45</sup>. Quels que soient les changements à venir de fréquence et d'intensité des cyclones, l'exposition aux effets dévastateurs des tempêtes augmentera si les palétuviers ne sont pas protégés<sup>46</sup>.

L'augmentation du niveau de la mer est un exemple typique de phénomène ne pouvant pas être combattu à l'échelle locale.

Cependant, les mesures suivantes pourraient aider la mangrove à se prémunir contre ces effets :

- la conservation des palétuviers restant dans les zones protégées,
- la restauration ou la réhabilitation des palétuviers en replantant des espèces particulières de palétuviers, par exemple le long des canaux d'eau douce sur les polders (comme effectué avec succès sur l'île de Sagar)<sup>47,48</sup>.

De telles mesures sont économiquement et écologiquement pertinentes. Un projet du Programme des Nations Unies pour le développement a évalué le coût de construction de digues de protection contre les tempêtes et les inondations longues de 2 200 km qui fourniraient le même niveau de protection que les mangroves des Sundarbans. L'investissement serait d'environ 294 millions de dollars EU avec un coût de maintenance de 6 millions de dollars EU par an<sup>49</sup> – ce qui est beaucoup plus élevé que la somme consacrée actuellement à la protection des mangroves dans cette région.

\* Le Gouvernement indien a fait savoir qu'il réfute cette affirmation sur la base d'une étude scientifique à paraître.

44. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 19.3.3.5.

45. L.J. Hansen, J.L. Biringer et J.R. Hoffmann (eds.), 2003, *Buying Time: A User's Manual for Building Resistance and Resilience to Climate Change in Natural Systems*, WWF, 246pp., [http://assets.panda.org/downloads/buyingtime\\_unfe.pdf](http://assets.panda.org/downloads/buyingtime_unfe.pdf)

46. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 11.2.4.5.

47. Sanyal, 2002, op. cit.

48. S. Saha et A. Choudhury, 1995, *Vegetation Analysis of Restored and Natural Mangrove Forest in Sagar Island, Sundarbans, East Coast of India*, *Indian Journal of Marine Sciences*, 24(3), pp. 133-136.

49. UNDP, FAO, Gouvernement du Bangladesh, 1995, *Integrated Resource Development of the Sundarbans Reserved Forest, Draft Report*, Vol. 1.

**Le Parc national de Komodo a été inscrit sur la Liste du patrimoine mondial en 1991. Les coteaux accidentés de savane aride et les paquets de buissons épineux contrastent avec les plages de sable rose éblouissant et les eaux bleues coulant sur le corail. Le Parc national de Komodo est un lieu d'une beauté naturelle extraordinaire, hébergeant certains des coraux les plus divers du monde, mais il doit aussi sa célébrité au fait qu'il est le dernier habitat du plus grand lézard du monde : le dragon du Komodo (*Varanus komodoensis*), qui n'existe nulle part ailleurs et qui est aussi d'un grand intérêt pour les scientifiques.**

Le changement climatique menace plusieurs éléments de ce site. L'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> dissous et de la température de la mer menace les récifs coralliens. L'élévation du niveau de la mer pourrait toucher les plages sur lesquelles les tortues nidifient et les changements de température atmosphérique pourraient affecter l'éclosion des œufs. De plus, l'augmentation du niveau de la mer pourrait menacer les mangroves si celles-ci n'ont pas suffisamment de place pour s'étendre vers l'intérieur des terres alors que la côte s'érode. En ce qui concerne le dragon du Komodo, aucun élément à ce jour ne suggère que cette population endémique pourrait être affectée.

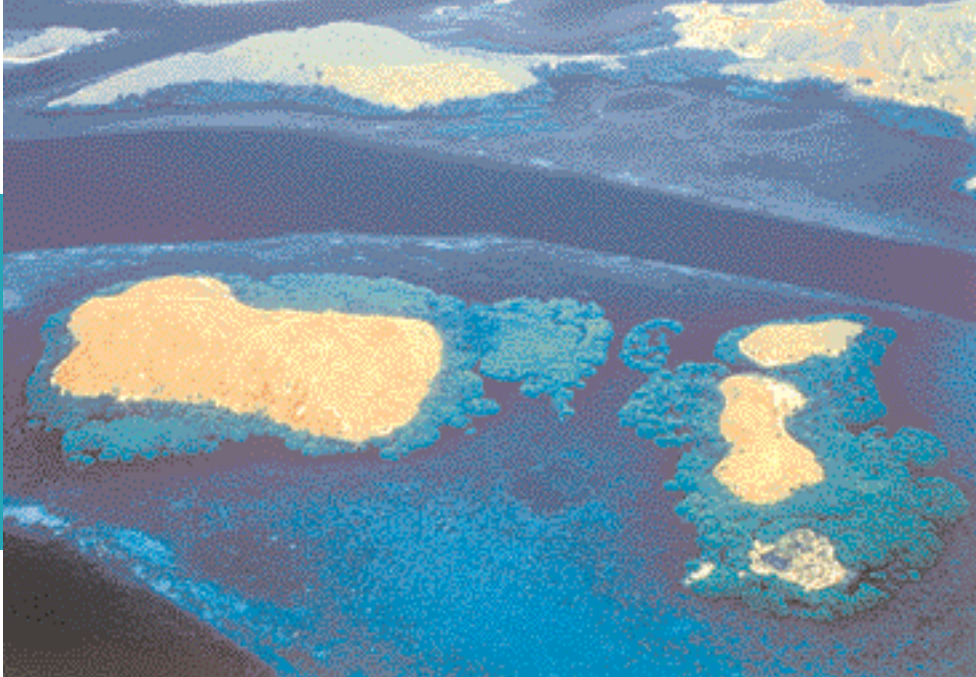
L'augmentation de la température de surface des océans engendre des événements de blanchissement du corail, et une mortalité accrue peut s'ensuivre affectant la biodiversité biologique et le rôle que les récifs jouent dans l'écosystème (protection de la côte, réserve de pêche et tourisme). De plus des concentrations élevées de CO<sub>2</sub> atmosphérique ont un impact sur la concentration d'acide carbonique et

d'ions bicarbonate dans l'océan, causant une diminution des ions carbonate nécessaires à la calcification des coraux<sup>50</sup>, affaiblissant leur structure, leur taux de croissance, leur capacité à s'étendre dans le récif et augmentant leur sensibilité à la rupture et à l'érosion biologique.

Un événement massif de blanchissement a déjà eu lieu en 1998-1999, bien que cet événement fût limité à la partie nord du parc, où les courants sont faibles et l'homogénéisation des températures par mélange à travers la colonne d'eau est minimale.



50. C. Langdon, 2003, *Review of Experimental Evidence for Effects of CO<sub>2</sub> on Calcification of Reef Builders*, *Compte rendu du 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonésie, 23-27 octobre 2000, Vol.2, pp. 1091-1098.*



*Le Parc national de Komodo est célèbre en tant que dernier habitat du plus grand lézard du monde (le dragon du Komodo). Il abrite aussi quelques-uns des récifs coralliens les plus divers du monde et des plages de nidification des tortues et des mangroves. Cette vue aérienne de Pulau Sebayor (au nord du parc) montre un ensemble d'habitats marins et côtiers (récifs, algues, mangroves, canaux et plages).*

La résilience des récifs coralliens dans le Parc national de Komodo pourrait être améliorée significativement en s'assurant du respect des zones de non-pêche déjà établies. Ces zones de non-pêche assurent une population de poisson saine incluant des herbivores ainsi que des poissons chirurgiens et perroquets, qui permettent de contrôler la densité d'algues après un événement de blanchissement. Par conséquent, ces poissons herbivores favorisent le rétablissement du récif en équilibrant la compétition entre les algues et les coraux, au profit de ces derniers. Un programme de surveillance des coraux spécifiques à ce site devrait aussi être mis en place, incluant des indicateurs relatifs au blanchissement pour permettre de mieux comprendre ce phénomène.

**Un plongeur rencontre un corail corné géant de plus de 12 pieds. Ce corail abrite de nombreux poissons et invertébrés, un véritable monde au sein du récif. Un programme spécifique de surveillance du corail dans le Parc national de Komodo permettrait de mieux comprendre les événements massifs de blanchissement du corail.**

L'augmentation des températures affectera les tortues car la température d'incubation des œufs détermine le sexe de la couvée<sup>51,52</sup>. Des températures plus élevées modifient le ratio vers une prédominance de femelles. Une plus grande proportion de femelles devrait augmenter la fertilité des populations de tortues de mer, mais cet effet pourrait

être compensé par une diminution des zones de nidification avec l'érosion de la plage due à l'augmentation du niveau de la mer. Le résultat net des effets combinés de l'élévation des températures et du niveau de la mer est incertain.

Prenant acte des incertitudes du changement climatique sur la population de tortues de mer, les stratégies de gestion doivent faire en sorte d'augmenter leur probabilité de survie en s'attaquant aux autres menaces telles que le braconnage des tortues et des œufs et la prédation par les sangliers sauvages et les dragons du Komodo. De plus, la surveillance des températures d'incubation et des tendances de succès des couvées aidera à éclaircir l'impact du changement climatique sur les tortues de mer. Un programme de surveillance de ce type est une activité à long terme à cause de la lenteur du cycle de maturation des tortues.

En ce qui concerne la menace de l'élévation du niveau de la mer<sup>53</sup>, la morphologie des plages de nidification des tortues et du terrain avoisinant pourrait être utilisée pour évaluer la vulnérabilité de ces plages aux inondations et à l'érosion. Les œufs déposés sur des plages s'érodant rapidement ou inondées fréquemment pourraient être déplacés vers des plages plus stables. Le déplacement de ces œufs devra être fait en suivant les protocoles précis concernant leur manipulation et le choix des dates opportunes pour leur déplacement.

L'augmentation du niveau de la mer est la menace la plus pertinente pour les mangroves, car elle conduit à leur érosion, inondation et destruction. Les palétuviers situés à la frontière du massif, proches de terrains élevés, reçoivent peu de nutriments ferrugineux et souffriront probablement plus de pertes par érosion et inondation que les palétuviers entourés de zones peu élevées. Dans ces zones, les palétuviers reçoivent plus de sédiments et de vase venant aussi bien de la terre que de la mer, et ils auront de l'espace pour s'étendre vers les terres quand le niveau de la mer augmentera. Par contre, les palétuviers situés sur des îles peu élevées devraient être rapidement inondés car ils ne peuvent pas migrer et ont des apports de sédiments limités pour survivre.

Cartographier l'étendue et la répartition des palétuviers par rapport à la topographie locale aidera à évaluer les impacts de l'élévation du niveau de la mer. Les palétuviers bordés sur leur flanc terrestre par des marais salins ou des zones peu élevées devraient recevoir une protection accrue devant l'empiètement, la coupe, ou toute interférence avec l'hydrologie locale. L'étendue vers la terre de telles mangroves devrait aussi être surveillée, en incluant les massifs environnants, pour déterminer leur réponse à l'élévation du niveau de la mer.

51. R.R. Carthy, A.M. Foley et Y. Matsuzawa, 2003, *Incubation Environment of Loggerhead Turtle Nests: Effects on Hatching Success and Hatching Characteristics*, dans *Loggerhead Sea Turtles*, A.B. Bolten et B.E. Witherington (eds.), pp. 144–153, Smithsonian Institution, Washington, D.C., États-Unis.  
52. F.J. Janzen, 1994, *Climate Change and Temperature-Dependent Sex Determination in Reptiles*, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 91, pp. 7487-7490.  
53. M.R. Fish, I.M. Côté, J.A. Gill, A.P. Jones, S. Renshoff et A.R. Watkinson, 2005, *Predicting the Impact of Sea-Level Rise on Caribbean Sea Turtle Nesting Habitat*, *Conservation Biology*, 19 (2), pp. 482-491, doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00146.x.



# 3

## Biodiversité Terrestre du patrimoine mondial

40

La biodiversité terrestre sera touchée par de nombreux changements géophysiques induits par le changement climatique : le réchauffement global, l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub>, les régimes de précipitations et les cycles hydrologiques, l'augmentation de la fréquence d'événements météorologiques extrêmes, etc. Aux latitudes tempérées, les modèles climatiques indiquent que le printemps pourrait arriver en moyenne 2,3 jours plus tôt par décennie dans les années à venir. Pendant le XX<sup>e</sup> siècle, un recensement de 1 700 espèces biologiques a mis en évidence une migration vers les pôles d'environ 6 km par décennie<sup>1</sup>. Ces changements ont de telles conséquences pour la biodiversité<sup>2</sup> sur terre que la Convention pour la biodiversité terrestre a identifié le changement climatique comme l'un des principaux facteurs qui induiront une décroissance de la biodiversité dans les décennies à venir.

Les impacts du changement climatique sur la biodiversité terrestre auxquels on peut s'attendre sont<sup>3,4</sup> :

- Répartition des espèces : les espèces individualistes (dont font partie les espèces invasives, les pathogènes et les parasites) répondront aux conditions plus chaudes ou froides, plus sèches ou

plus humides en migrant en latitude et altitude ; des extinctions d'espèces à l'échelle locale, régionale ou même globale pourront avoir lieu suite à l'éten-  
due ou à la contraction et la disparition de leurs habitats.

- Composition et configuration des écosystèmes : les changements dans la

1. C. Parmesan et G. Yohe, 2003, A Globally Coherent Fingerprint of Climate Change Impacts Across Natural Systems, *Nature*, 421, pp. 37-42.

2. Déclaration de Dr Ahmed Djoghlaif, Secrétaire exécutif de la Convention sur la diversité biologique, à l'occasion du High Level Segment of the 14th session of the Commission on Sustainable Development, 15 mai 2006, <http://www.biodiv.org/doc/speech/2006/sp-2006-05-15-csd14-en.pdf>

3. L. Hannah, G.F. Midgley, T.E. Lovejoy, W.J. Bond, M. Bush, J.C. Lovett, D. Scott et F.I. Woodward, 2002, Conservation of Biodiversity in a Changing Climate, *Conservation Biology*, 16, pp. 264-268.

4. L. Hannah, G.F. Midgley et D. Millar, 2002, Climate Change-Integrated Conservation Strategies, *Global Ecology and Biogeography*, 11, pp. 485-495.

population relative des espèces constituant une communauté et formation de communautés différentes d'une composition nouvelle.

■ **Fonctionnement des écosystèmes :** des changements sont à prévoir dans la phénologie (date à laquelle les événements tels que la floraison ont lieu), les cycles de nutriments, la disponibilité des ressources naturelles telles que

l'eau douce, le contrôle des épidémies, la pollinisation, la stabilisation des sols, et les relations proie-prédateur, parasite-hôte, plante-pollinisateur et plante-disperseur.

■ **Régimes de perturbation :** l'intensité, la fréquence et la saisonnalité des événements extrêmes tels que les feux de forêt, les inondations et sécheresses seront modifiées ainsi que les interac-

tions avec les changements globaux comme la pression anthropique et la modification de l'utilisation du sol.

■ Les biens et services que fournissent les écosystèmes seront aussi affectés, avec des conséquences pour les populations via les activités socio-économiques telles que l'agriculture, la pêche et le tourisme.



*Crapaud doré du Panama*  
Amérique centrale

## Étude de cas emblématique

# Aires protégées de la Région florale du Cap

Afrique du Sud<sup>5</sup>

# 3

42

La Région florale du Cap représente moins de 0,5 % de la surface de l'Afrique mais elle héberge près de 20 % de la biodiversité florale du continent. Il s'agit donc d'une des zones les plus riches au monde. Avec un taux d'endémisme de 32 %, elle a été identifiée comme un des 18 « points chauds » mondiaux de la biodiversité et un des six « royaumes floraux » à cause de ses qualités florales uniques. Ce site est le siège d'un mécanisme écologique et biologique unique associé au biome endémique du fynbos. Les méthodes de reproduction des plantes présentent aussi un caractère unique en particulier à cause de la manière dont les graines sont dispersées par les fourmis et les petits mammifères (principalement des rongeurs) ainsi que pour leur adaptation aux feux. Parmi les autres processus écologiques uniques se déroulant sur ce site on trouve la pollinisation biologique et le cycle des nutriments. La Région florale du Cap constitue apparemment un centre d'une spéciation active où se produisent dans la flore des mécanismes d'endémisme et d'adaptation intéressants.

## Impacts du changement climatique

Il semble que la Région florale du Cap ait subi des changements du climat plutôt faibles depuis au moins 2 millions d'années avec principalement des conditions plus fraîches et plus humides pendant les périodes glaciaires. Cela a conduit à l'installation d'un grand nombre d'espèces ne s'adaptant qu'à un habitat particulier, restreint dans son étendue en altitude. Localement on trouve des espèces rares avec des capacités de

dispersion limitées, et aussi des espèces sensibles au climat, en particulier dans les zones marécageuses. De plus, à cause de cette relative stabilité climatique, des interactions très spécialisées se sont mises en place dans la flore et la faune de la région<sup>6</sup>.

D'après l'UICN<sup>7</sup>, les campagnes de mesures, observations et modélisations montrent que le changement climatique serait la plus grande

menace pesant sur la biodiversité de la Région florale du Cap au cours des 50 à 100 prochaines années. Les plus menaçants de ces aspects pour la conservation de cette région sont (1) la réduction de l'étendue des habitats optimaux avec le réchauffement et le possible assèchement, (2) les changements dans les écosystèmes suite à la modification des conditions environnementales, et (3) l'augmentation de la fréquence des feux.

annuelle d'environ 1,8° C si la concentration du CO<sub>2</sub> atmosphérique venait à doubler<sup>8</sup>. Mais, dans certaines zones, le changement du régime de précipitations n'est pas clair. Reste que le réchauffement et l'assèchement d'ensemble, très probablement sans précédent depuis au moins 20 000 ans, intensifieront le stress hydrique déjà significatif à travers la région et affecteront la biodiversité et les populations à bien des égards.

Des projections climatiques ont été obtenues en interpolant les résultats des modèles climatiques mondiaux à faible résolution spatiale tout en prenant en compte le climat local actuel, l'altitude, la topographie et la situation continentale du site, il a été possible d'élaborer des projections climatiques plus fines. Ce travail montre que d'ici à 2050, la Région florale du Cap fera face à des conditions généralement plus chaudes et plus sèches avec une augmentation de la température moyenne

### Projections du changement climatique

5. B. Bomhard et G. Midgley, 2005, *Securing Protected Areas in the Face of Global Change: Lessons Learned from the South African Cape Floristic Region, A Report by the Ecosystems, Protected Areas, and People Project, UICN (Thaïlande) et SANBI (Afrique du Sud)*, [www.iucn.org/themes/wcpa/pubs/theme.htm#climate](http://www.iucn.org/themes/wcpa/pubs/theme.htm#climate)

6. Communication de B. Bomhard et G. Midgley lors de la Réunion d'experts sur le changement climatique et le patrimoine mondial tenue à l'UNESCO, 16-17 mars 2006, Document WHC06-30COM7.1, <http://whc.unesco.org/archive/2006/whc06-30com-07.1e.pdf>

7. Rapport sur la prévision et la gestion des effets du changement climatique sur le patrimoine mondial, Document WHC06-30COM7.1, <http://whc.unesco.org/archive/2006/whc06-30com-07.1e.pdf>

8. R.E. Schulze et L.A. Perks, 1999, *Assessment of the Impact of Climate. Final Report to the South African Country Studies Climate Change Programme, School of Bioresources Engineering and Environmental Hydrology, University of Natal, Pietermaritzburg, Afrique du Sud.*



**Biome de fynbos dans la Région florale du Cap. Cette région constitue un des « points chauds » de la biodiversité terrestre avec un taux d'endémisme supérieur à 30 %.**

## Conséquences pour la biodiversité

À cause de ces changements géophysiques, quatre des cinq aires protégées d'Afrique du Sud devraient perdre 10 à 40 % de leurs espèces végétales d'ici à 2050<sup>9</sup>. Les premiers impacts du changement climatique sur la biodiversité de la Région florale du Cap commencent déjà à se faire sentir et bien d'autres impacts sont anticipés.

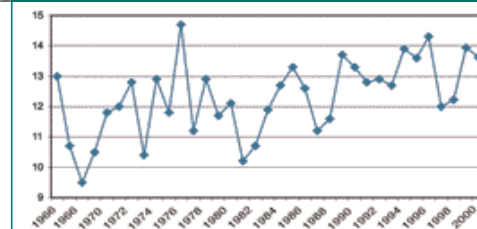
### Augmentation du niveau de la mer

Certaines zones peu élevées dans cette région sont menacées par l'élévation du niveau de la mer, ce qui devrait réduire encore plus la zone tampon entre l'océan et les développements artificiels aux dépens des espèces côtières et des écosystèmes.

### Espèces invasives

Des arbres et arbustes originaires d'autres zones dont le climat est méditerranéen (Australie, Californie, bassin méditerranéen) furent introduits dans la région avant le XX<sup>e</sup> siècle. À ce jour, 70 % de la Région florale du Cap est classée comme naturelle, exempte d'espèces d'arbres invasives ou au moins avec une faible densité d'arbustes et arbres invasifs. Parmi ces 70 %, environ 20 % sont dans des conditions intactes, libres de toute plante invasive et soumises à un régime de feux naturels approprié. Le reste (environ 30 %) a été transformé par l'exploitation agricole, l'urbanisation et de fortes densités de plantes invasives, ce qui affecte les ressources en eau douce et la fréquence des feux.

Il a été démontré que 5 espèces de plantes représentant une fraction de la flore invasive en Afrique du Sud sont en général moins sensibles au changement climatique que les plantes indigènes<sup>10</sup>. Ce problème constitue une préoccupation importante dans une zone

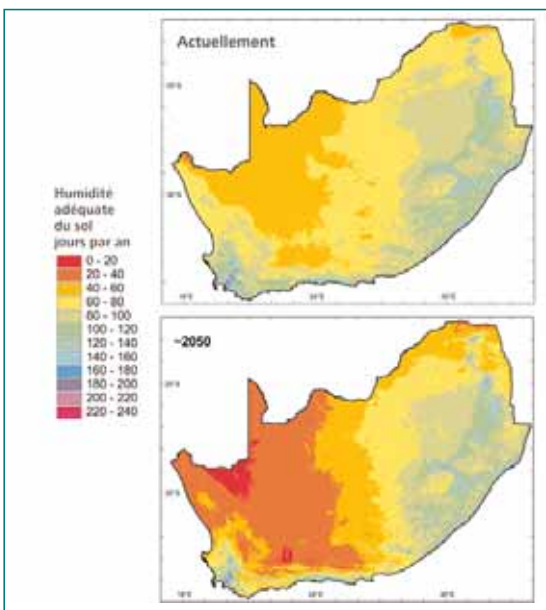


Les températures minimales observées en janvier à l'intérieur de la Région florale du Cap (de Keur, Koue Bokkeveld) montrent une tendance positive. (Service Météorologique d'Afrique du Sud).

où le taux d'endémisme est très élevé, telle que la Région florale du Cap. Cependant, il reste difficile de représenter ces espèces dans les modèles bioclimatiques afin de prévoir leur comportement, en partie parce que ces plantes invasives ont été introduites récemment. Par conséquent, elles n'ont pas encore atteint leur distribution d'équilibre dans cette zone, ce qui est une hypothèse nécessaire pour les modèles.

### Déplacement, réduction et fractionnement des habitats en réponse au réchauffement de la planète

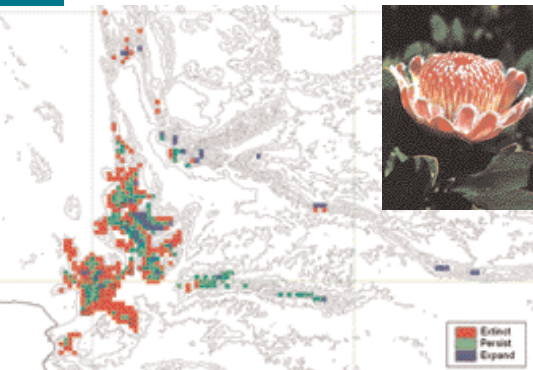
Les changements prévus de l'humidité du sol et du taux de précipitations en hiver modifieront la distribution des espèces. Dans la Région florale du Cap, l'aspect hostile de l'organisation du paysage pourrait devenir un obstacle majeur pour la migration des espèces en réponse au changement climatique. Dans la partie côtière fortement aménagée et fragmentée il y a peu d'espace pour les ajustements en latitude et en altitude. De plus, les espèces qui se trouvent déjà au sommet des montagnes n'auront plus de recours pour échapper à l'augmentation des températures. Les espèces dont l'habitat est très spécifique pourraient subir de plus grands changements par rapport à celles qui ont une capacité



Les effets projetés du changement climatique sur la biodiversité en Afrique du Sud peuvent être déduits de ces graphiques qui montrent le nombre de jours actuels et futurs où la température et l'humidité du sol sont adéquates pour la croissance des plantes. Les projections correspondent à une augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> de 50 % par rapport aux niveaux actuels (Midgley, 2001).

9. M.C. Rutherford, L.W. Powrie et R.E. Schulze, 1999, *Climate Change in Conservation Areas of South Africa and its Potential Impact on Floristic Composition: A First Assessment, Diversity and Distributions*, 5, pp. 253-262.  
 10. D.M. Richardson, W.J. Bond, W.R.J. Dean, S.J. Higgins, G.F. Midgley, S.J. Milton, L.W. Powrie, M.C. Rutherford, M.J. Samways et R.E. Schulze, 2000, *Invasive Alien Species and Global Change: A South African Perspective*, dans H.A. Mooney, et R.J. Hobbs (eds.), *Invasive Species in a Changing World*, Island Press, Washington D.C., États-Unis, pp. 303-349.





Les habitats optimaux de *protea lacticolor* se déplacent et rétrécissent. Les zones où cette plante symbolique persistera sont tracées en vert, alors que dans beaucoup d'endroits elle disparaîtra (en rouge). (Hannah et al. 2005)\*

\* L.Hannah, G.F. Midgley, G.O. Hughes, B. Bomhard, 2005, *The view from the Cape: extinction risk, protected areas, and climate change*, BioScience, 55, p. 231-242.

## Conséquences pour les perturbations externes

### Feux de forêt

Le réchauffement et l'assèchement prévus du climat affecteront aussi le régime des feux de forêt, avec des impacts potentiellement dévastateurs pour la biodiversité et les populations. De plus dans le biome du fynbos, l'accroissement de la fréquence des feux causés par les activités humaines est important, conduisant à des feux plus fréquents et moins intenses<sup>16</sup>. Par conséquent, autant le changement global (à travers les impacts directs des activités humaines) que le changement climatique (à cause du réchauffement et de l'assèchement dans cette zone) affecteront les régimes de feu dans cette région.

D'après la recherche sur la famille très symbolique du *Proteaceae*, ce phénomène devrait affecter près de 30 % des espèces d'ici à 2050.

### Réponse des écosystèmes

Le déplacement, le rétrécissement et la fragmentation des habitats menacent les interactions uniques et très spécialisées dans la Région florale du Cap telles que les relations plante-pollinisateur ou plante-disperseur. En modifiant les distributions entre espèces, ces changements affecteront la composition et la configuration des communautés, qui à leur tour affecteront le fonctionnement, l'état et les services de l'écosystème. Dans le pire des cas, l'extinction d'espèces incapables de s'adapter à un climat changeant rapidement pourrait avoir lieu. Plusieurs aires protégées devraient donc voir des espèces disparaître suite à des extinctions et migrations en cascade interrompant des mutualismes vulnérables<sup>14</sup>.

### Augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub>

Des concentrations de CO<sub>2</sub> atmosphérique plus élevées affectent la biodiversité de deux façons. Les impacts indirects sont ceux mentionnés plus haut liés à un effet de serre plus élevé (migration des espèces, changement de phénologie, etc.). Mais un CO<sub>2</sub> plus abondant touche aussi directement la croissance des plantes. Cependant, en ce qui concerne la Région florale du Cap, cet effet direct devrait être limité. En effet, la réponse du biome du fynbos à des taux de CO<sub>2</sub> plus élevés serait contrebalancée par la fréquence accrue des feux qui limite en général la mesure selon laquelle les individus matures entrent en compétition pour accéder aux ressources<sup>15</sup>.

Dans la Région florale du Cap, plusieurs espèces rares sont sensibles au feu et donc mises en péril. En particulier, l'évolution des mécanismes de la biodiversité sera affectée par les changements des interactions complexes entre plantes indigènes et invasives, la quantité de matière organique pouvant brûler, la saisonnalité des feux, leur fréquence et leur intensité, le vent et les régimes météorologiques ou enfin l'équilibre des réserves d'eau<sup>17</sup>. Pour plus de détails sur les impacts des feux de forêt sur la biodiversité, se reporter à l'étude de cas sur la Région des montagnes Bleues (Australie), p. 46.

- G.F. Midgley, L. Hannah, D. Millar, M.C. Rutherford et L.W. Powrie, 2002, *Assessing the Vulnerability of Species Richness to Anthropogenic Climate Change in a Biodiversity Hot Spot*, *Global Ecology and Biogeography*, 11, pp. 445-451.
- G.F. Midgley, L. Hannah, D. Millar, W. Thuiller et A. Booth, 2003, *Developing Regional and Species-level Assessments of Climate Change Impacts on Biodiversity in the Cape Floristic Region*, *Biological Conservation*, 112, pp. 87-97.
- Midgley et al., 2002, *op.cit.*
- W.J. Bond, 1994, *Do Mutualisms Matter? Assessing the Impact of Pollinator and Disperser Disruption on Plant Extinctions*, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B, 344, pp. 83-90.
- W.D. Stock et G.F. Midgley, 1995, *Ecosystem Response to Elevated CO<sub>2</sub>: Nutrient Availability and Nutrient Cycling*, in J.M. Moreno and W.C. Oechel, (eds.), *Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems*, Springer, New York, États-Unis, pp. 326-342.
- S.I. Higgins et D.M. Richardson, 1998, *Pine Invasions in the Southern Hemisphere: Modelling Interactions Between Organism, Environment and Disturbance*, *Plant Ecology*, 135, pp. 89-93.
- H.A. Mooney, M.T.K. Arroyo, W.J. Bond, J. Canadell, R.J. Hobbs, S. Lavorel et R.P. Neilson, 2001, *Mediterranean-Climate Ecosystems*, dans Chapin III, F.S. Sala, O.E. Huber-Sannwald, (eds.), *Global Biodiversity in a Changing Environment: Scenarios for the twenty-first century*, Springer, New York, États-Unis, pp. 157-199.



## Réponses possibles

Bien qu'il n'y ait pas de stratégie de réponse au changement climatique coordonnée à l'échelle de la Région florale du Cap, les différentes parties prenantes ont commencé à s'attaquer au problème de plusieurs façons suivant des échelles spatiales et temporelles diverses. De telle sorte que quelques principes et bonnes pratiques ont émergé et sont à présent largement utilisés dans le domaine de la conservation de la biodiversité dans la région et au-delà. Les paragraphes ci-dessous résument les actions en cours ou à venir.

### Surveillance et évaluation du risque

La modélisation bioclimatique représente un outil précieux pour l'évaluation du risque, mais des inconnues majeures demeurent qui devraient être comblées par des études expérimentales et de terrain, comme la surveillance. Un système de surveillance est déjà en place pour déceler des effets possibles du changement climatique<sup>18</sup>. Il prend en compte un recensement des espèces indigènes et exotiques (ou invasives) qui sont connues sur le site. Mais une détection anticipée d'autres espèces pouvant empiéter sur ce site à l'avenir pourrait aider à prévenir d'autres perturbations du biome du fynbos.

### Renforcer la résilience

Comme pour la protection du site du patrimoine mondial de la Grande Barrière (chapitre 2, p.30), la réduction des sources de pressions extérieures s'exerçant sur l'écosystème pourrait aider significativement la Région florale du Cap à s'adapter aux effets potentiels ou en cours du changement climatique.

### Anticipation du risque

La menace posée par les feux d'origine naturelle ou anthropique pourrait être soulagée en renforçant la préparation à ces événements. Un réseau de détection et de prévention des feux plus efficace aiderait à protéger ce biome de la fréquence et de l'intensité des feux. Des stratégies de gestion des feux sont actuellement réévaluées par les autorités nationales et provinciales dans leurs activités de gestion, de cartographie et de surveillance<sup>19</sup>.

### Conception des aires protégées

La recherche scientifique sur la prédiction des effets du changement climatique reposant sur la modélisation bioclimatique constitue une des spécificités des activités conduites dans le domaine de l'adaptation au changement climatique dans la Région florale du Cap. De

tels modèles peuvent être utilisés pour évaluer des scénarii d'adaptation, par exemple en analysant la pertinence de la redéfinition du contour des aires protégées, en se concentrant sur les couloirs de migrations qui pourraient aider à supporter les effets du changement climatique en permettant le déplacement des espèces.

En effet, en comparant les habitats actuels et futurs, et en supposant que les espèces pourront s'adapter assez rapidement pour changer d'habitat, il est possible de suggérer des modifications qui permettraient d'assurer la conservation de ces espèces fragiles en :

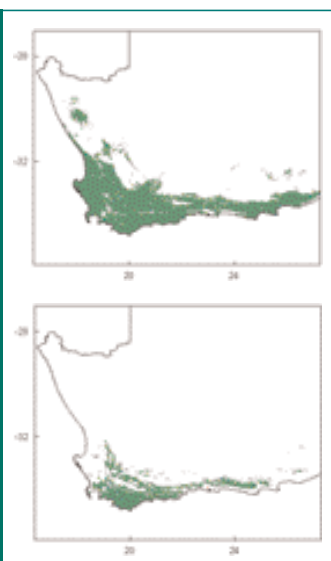
- déplaçant ou élargissant les frontières des aires protégées et des zones tampons,
- augmentant l'hétérogénéité de l'habitat et la diversité topographique,
- augmentant l'interconnexion du paysage entre les aires protégées actuelles et futures dans la conception des couloirs de migration si ces aires ne se chevauchent pas.

Aussi, les zones où les changements sont inexistants ou minimes devraient faire l'objet d'une stratégie de conservation plus protectrice.

### Déplacement des espèces exceptionnelles menacées

Enfin, pour les espèces qui feront face aux menaces les plus importantes, on pourrait envisager un déplacement artificiel, soit vers des habitats plus sûrs dans la nature, ou en stockant leur patrimoine génétique dans des banques de graines ou des banques génétiques, ou encore dans des réserves artificielles sur place. Cependant, ces mesures sont très délicates et leurs impacts sur la biodiversité dans les zones réceptrices devraient être évalués attentivement.

Habitat actuel du biome de fynbos (haut) et zones de conditions bioclimatiques optimales modélisées dans le contexte du changement climatique (bas). Les projections correspondent à une augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> de 50 % par rapport aux niveaux actuels (Midgley, 2001).



18. UICN, 2003, Rapport d'évaluation de la Région florale du Cap pour le Comité du patrimoine mondial, 2003, [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/1007rev.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/1007rev.pdf)

19. Bomhard et Midgley, 2005, op. cit.

# Région des montagnes Bleues

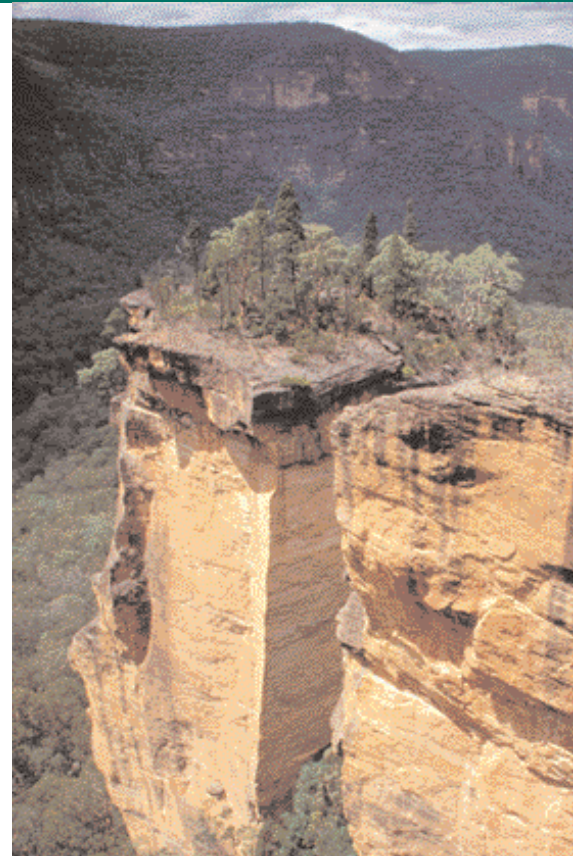
Australie

3

46

La Région des montagnes Bleues du patrimoine mondial représente plus de 1 million d'hectares de plateaux de grès, de gorges et de précipices, couverts en grande partie par des forêts d'eucalyptus tempérées. Le site, incluant huit aires protégées, fut inscrit sur la Liste du patrimoine mondial à cause de son évolution adaptative particulière et de la diversification des eucalyptus après le fractionnement du Gondwana qui a conduit à l'isolation du continent australien. Plus d'une centaine de variétés d'eucalyptus ont été recensées dans la Région des montagnes Bleues, ce qui la rend d'autant plus exceptionnelle à cause de la combinaison entre une structure géophysique particulière et une diversité écologique des eucalyptus unique. Parmi les éléments qui ont justifié son inscription sur la Liste du patrimoine mondial, on trouve aussi la présence d'espèces végétales ou animales dont la conservation, ainsi que celle de leur habitat, est nécessaire. En effet, la Région des montagnes Bleues accueille 120 espèces rares ou menacées, dont 114 sont endémiques ou rétives à l'évolution.

L'Australie a subi une augmentation des températures de 0,7°C en moyenne entre 1910 et 1999, avec un renforcement du réchauffement depuis 1950<sup>20,21</sup>. Les modèles de climat de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) d'Australie indiquent une augmentation des températures moyennes entre 0,4 et 2,0°C d'ici à 2030, et jusqu'à 1 à 6°C d'ici à 2070<sup>22,23</sup>. L'évaluation de l'évolution future des précipitations est beaucoup plus complexe pour les modèles climatiques actuels<sup>24</sup>. Ce changement des régimes climatiques engendre une préoccupation particulière pour les forêts où les impacts des températures plus élevées pourraient conduire à une augmentation du risque de feux plus fréquents, plus intenses et plus destructeurs.



Les forêts d'eucalyptus d'Australie, dont fait partie la Région des montagnes Bleues de la Nouvelle-Galles du Sud sont parmi les écosystèmes forestiers les plus sensibles au feu. La brume bleue de la région, à laquelle elle doit son nom, est générée par l'huile d'eucalyptus très inflammable qui s'évapore dans l'atmosphère sous l'effet de la chaleur. Beaucoup d'espèces d'eucalyptus, de banksias ou d'autres végétaux indigènes se sont adaptés aux feux à tel point qu'ils ne libèrent leurs graines

20. N. Plummer, Z. Lin et S. Torok, 1995, *Trends in the Diurnal Temperature Range Over Australia Since 1951*, Atmospheric Research, 37, pp. 79–86.

21. S.J. Torok et N. Nicholls, 1996, *A Historical Annual Temperature Data Set for Australia*. Australian Meteorological Magazine, 45, pp. 251–260.

22. M. Howden, 2003, *Climate Trends and Climate Change Scenarios*, dans *Climate Change Impacts on Biodiversity in Australia*, M. Howden, L. Hughes, M. Dunlop, I. Zethoven, D. Hilbert et C. Chilcott (eds.), pp. 8–13, Canberra, Australie, <http://www.deh.gov.au/biodiversity/publications/greenhouse/pubs/climate-change.pdf>

23. *Climate Change Projections for Australia*, Climate Impact Group, CSIRO Atmospheric Research, Melbourne, 8 pp., <http://www.cmar.csiro.au/e-print/open/projections2001.pdf>

24. L. Hughes, 2003, *Climate Change in Australia: Trends, Projections and Impacts*, Austral Ecology, 28, pp. 423–443.



**La forêt tempérée d'eucalyptus dans la Région des montagnes Bleues (Australie) fait partie des écosystèmes mondiaux les plus sensibles au feu. Les effets potentiels du changement climatique sur les feux de forêt devraient donc être évalués avec précaution.**

qu'après un feu, la cendre compensant la faible teneur en nutriments du sol.

Il y a en général un taux élevé de croissance des eucalyptus et des banksias dans les trois ans suivant un feu important. Cependant, si un autre feu survient pendant cette étape de régénération, un stress important s'exerce sur l'écosystème et les espèces peuvent être perdues si les plantes sont détruites avant d'avoir atteint un stade de maturation suffisant pour produire à leur tour des graines. Par conséquent, si l'intervalle entre des feux de brousse de 10 à 20 ans tel qu'on le voit maintenant, passe à 6 ans ou moins, il y aurait une perte significative de la diversité des espèces principales d'eucalyptus et d'autres végétaux dans la région<sup>25</sup>. Ce changement pourrait avoir des conséquences sérieuses pour les valeurs du patrimoine mondial et l'intégrité de l'écosystème de la région<sup>26</sup>.

Les impacts du changement climatique sur la composition des communautés mentionnés précédemment (p. 42) pour la Région florale du Cap (Afrique du Sud) pourraient aussi affecter la Région des montagnes Bleues. Une augmentation des températures pourrait toucher la flore et la faune pour les parties les plus humides et les plus élevées de la région en conduisant les espèces à migrer en altitude pour s'adapter à une augmentation des températures et à une réduction de la disponibilité

de l'eau. L'une des particularités de la Région des montagnes Bleues qui a justifié son inscription au patrimoine mondial sous un critère naturel est la variabilité de la végétation en réponse à une décroissance des températures à travers un dénivelé entre 100 et 1 400 m.

Par exemple, les marais d'altitude de la Région des montagnes Bleues hébergent quelques espèces uniques qui se sont adaptées à des sols périodiquement saturés en humidité. Ces espèces sont menacées par le déplacement d'espèces plus habituées aux sols secs. Ces marais d'altitude fournissent aussi un habitat pour les scinques (*Elamprus leuraensis*) en danger d'extinction et la libellule. Leur capacité à retenir et libérer lentement l'eau contribue aussi à la survie des végétaux menacés, tels que le *Microstrobis fitzgeraldii* et l'*Epacris hamiltonii* qui se sont adaptés à des habitats humides en permanence. Les niveaux de précipitation actuels correspondent au minimum supportable pour ces marais, et ils seraient par conséquent très vulnérables à un rétrécissement plus avancé suite à des changements du régime des précipitations ou à une évaporation plus importante liée au changement climatique.

Plusieurs projets de recherche relatifs aux impacts du changement climatique sur la Région des montagnes Bleues sont en cours sous les auspices du Bureau australien de l'effet de serre, du Département de l'environnement et de la conservation de la Nouvelle-Galles du

Sud et de l'Institut des montagnes Bleues du patrimoine mondial. Les sujets d'étude incluent les impacts sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes (terrestre et aquatique), les synergies avec les autres menaces telles que les espèces invasives et les risques liés aux feux de brousse sur les biens et les populations.

Plusieurs stratégies sont en cours de développement pour protéger la Région des montagnes Bleues des impacts négatifs des feux dans le contexte du changement climatique. La première consiste à mettre en œuvre des politiques plus adaptées en favorisant la recherche sur la dynamique des feux et leurs impacts écologiques, particulièrement suite aux feux extrêmement destructeurs de 2002 qui ont conduit à la mise en place d'un Centre de recherche coopératif sur les feux de brousse en décembre 2003<sup>27</sup>. La deuxième concerne l'utilisation de feux contrôlés ou en mosaïque conçus spécialement pour prendre en compte la spécificité des écosystèmes locaux et limiter le risque de feux intenses et écologiquement destructeurs. Alors que la Région des montagnes Bleues se situe à la limite des faubourgs de Sydney en forte expansion, il y a un risque réel que les priorités divergent entre la protection des propriétés urbaines et la conservation de la biodiversité.

25. J. Merson, 2004, *Climate Change and Ecosystem Stress: The Impact of Increased Forest Fire Frequency and Intensity on Australian Protected and World Heritage Areas*, 3<sup>e</sup> Congrès mondial de la conservation de l'UICN, Genève, Suisse.

26. R.A. Bradstock et B.J. Kenny, 2003, *An Application of Plant Functional Types to Fire Management in a Conservation Reserve in South Eastern Australia*, *Journal of Vegetation Science*, 14, pp. 345-354.

27. <http://www.bushfirecrc.com/>

# 3 Parc national de l'Ichkeul

Tunisie

Le Parc national de l'Ichkeul (Tunisie) est une étape majeure pour des centaines de milliers d'oiseaux migrateurs en Afrique du Nord.



La large gamme des impacts du changement climatique sur les zones humides est un sujet d'attention soutenue. Les zones humides recouvrent presque 10 % de la surface de la Terre. Elles constituent des écosystèmes d'une importance cruciale qui procurent des avantages significatifs sur le plan social, économique et environnemental. On estime que la valeur totale des services fournis par les écosystèmes des zones côtières et humides atteint 15 500 milliards de dollars par an, soit 46 % de la valeur totale des services fournis par les écosystèmes à l'échelle globale<sup>28</sup>. La Convention de Ramsar de 1971 fournit un cadre de travail international pour l'étude et la gestion des zones humides dans le monde, dont un volet relatif au changement climatique<sup>29</sup>.

L'augmentation des températures, les modifications des précipitations et l'élévation du niveau de la mer affecteront la répartition et le fonctionnement des zones humides. En même temps, les zones humides et les tourbières contribuent significativement au cycle global du carbone. Par conséquent, si le changement climatique affecte les zones humides, celles-ci agiront en retour sur le climat. Il est donc nécessaire d'étudier comment l'action combinée de la modification de l'occupation du sol et du changement climatique peut affecter le rôle des zones humides dans le cycle global du carbone et donc la manière dont ces biomes sont affectés par, ou affectent eux-mêmes, l'équilibre climatique de la planète.

Un vaste spectre d'impacts du changement climatique touchera les zones humides dans le monde :

■ Augmentation du niveau de la mer. Une élévation du niveau de la mer aura plusieurs impacts négatifs sur les zones humides côtières tels que l'érosion, les inondations, la perte d'habitats, l'augmentation de la salinité des

estuaires et des aquifères d'eau douce, des changements de l'amplitude des marées dans les cours d'eau et les baies qui y sont soumis, du transport des sédiments et des nutriments, des mécanismes de contamination des zones côtières, etc. Par conséquent, on peut s'attendre à des réponses et des modifications spécifiques dans la composition et le fonctionnement des écosystèmes qui, à leur tour, affecteront la productivité et le fonctionnement des zones humides<sup>30</sup>.

■ Cycle hydrologique. Le changement climatique devrait conduire à une intensification du cycle hydrologique global accompagnée de changements majeurs dans la disponibilité et la distribution spatiale et temporelle de l'eau. Les changements du niveau des précipitations, de l'évaporation, de la transpiration, du ruissellement, et de la recharge et du débit des nappes souterraines représentent une menace évidente pour les zones humides en influant sur les systèmes aquatiques de surface mais aussi souterrains.

■ Augmentation de la température des plans d'eau. Bien que leur réponse soit plus lente que celle de l'atmosphère (à cause d'une inertie

plus importante), on peut s'attendre à des effets significatifs de l'augmentation des températures sur la productivité biologique des plans d'eau. Des modifications de la température de surface des zones humides affecteront aussi leur stabilité statique, perturbant ainsi les régimes de mélange vertical entre les eaux de surface et les eaux profondes.

■ Tempêtes. Dans de nombreuses zones les vents jouent un rôle important sur le mélange des eaux dans les zones humides. Des changements de la fréquence et de l'intensité des tempêtes pourraient donc modifier la stratification des masses d'eau<sup>31</sup>.

■ Augmentation des températures atmosphériques. Une élévation, même faible, des températures atmosphériques peut conduire à la fonte de surfaces étendues de permafrost. Le permafrost se définit comme un sol gelé de manière permanente. On en trouve dans les régions où la température demeure négative pendant plusieurs années et ils sont considérés comme des zones humides. Cette fonte pourrait également modifier les processus de libération du méthane (CH<sub>4</sub>) par le permafrost<sup>32</sup>.

28. R. Costanza, R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton et M. van den Belt, 1997, *The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital*, Nature, 387, pp. 253-260.

29. G. Bergkamp et B. Orlando, 1999, *Wetlands and Climate Change, Exploring Collaboration Between the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971) and the United Nations Framework Convention on Climate Change*, [http://www.ramsar.org/key\\_unfccc\\_bkgd.htm#2](http://www.ramsar.org/key_unfccc_bkgd.htm#2)

30. R.S. Warren et N.A. Niering, 1993, *Vegetation Change on a Northeast Tidal Marsh: Interaction of Sea Level Rise and Marsh Accretion*, Ecology, 74, pp. 96-103.

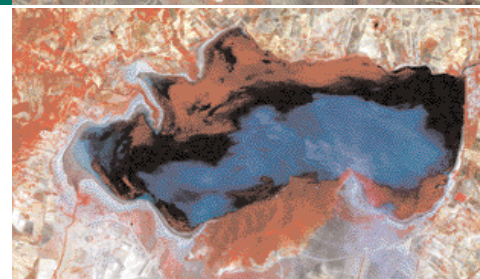
31. J. Talling et J. Lamoalle, 1998, *Ecological Dynamics of Tropical Inland Waters*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 441 pp.

32. T.A. Clair, B.G. Warner, R. Robarts, H. Murkin, J. Lilley, L. Mortsch et C. Rubec, 1997, *Executive Summary - Impacts of Climate Change to Inland Wetlands: A Canadian Perspective*.





Image composite du satellite ASTER montrant la végétation en tons de rouge. L'image du lac Ichkeul prise en 2001 (haut) montre que *Potamogeton pectinatus* a disparu du site. En 2005 (bas), grâce à la mise en œuvre de mesures d'adaptation appropriées et à l'amélioration des conditions climatiques, la végétation s'est rétablie dans le lac.



Le lac et les marais de l'Ichkeul représentent une zone humide remarquable en Afrique du Nord. Ils constituent une étape majeure pour des centaines de milliers d'oiseaux migrateurs tels que les canards plongeurs et siffleurs, les foulques et les oies cendrées, qui viennent s'y nourrir et se reproduire. Ichkeul est aussi le dernier lac d'une chaîne qui s'étendait autrefois à travers l'Afrique du Nord. En tant que tel il fut inscrit en 1980 sur la Liste du patrimoine mondial.

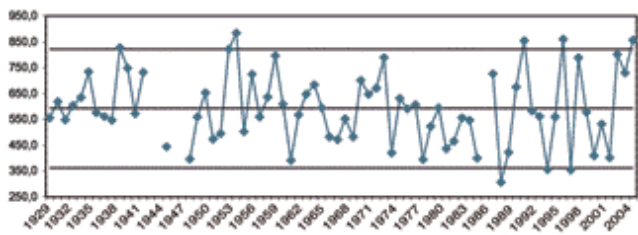
L'originalité du système lac-marais de l'Ichkeul tient essentiellement à l'alternance cyclique d'apports en eau douce l'hiver à partir d'un bassin versant contenant six oueds majeurs et d'apports en eau de mer l'été. C'est cette hydrologie particulière qui conditionne une végétation aquatique et hygrophyle spécifique

lac Ichkeul et ses marais conduisit à de longues périodes de sécheresse entre 1993 et 2002 qui ont interrompu une part importante du flux entrant d'eau douce et ont entraîné une augmentation relative du flux d'eau salée. De plus, une légère baisse des précipitations a été observée depuis les années 1930 avec, dans la période la plus récente, une plus grande variabilité interannuelle des précipitations, c'est-à-dire une augmentation de la fréquence des années très sèches et des années très humides.

Comme conséquence on a enregistré alors une augmentation de la salinité des eaux du lac et un assèchement des marais. Le *potamogeton pectinatus* a disparu du lac et les scirpes, la couronne de roseaux et autres plantes d'eau douce des marais ont été remplacés par des plantes halophytes, ce qui s'est traduit par une réduction drastique de la population d'oiseaux d'eau migrateurs, celle-ci dépendant de l'habitat spécifique que le lac garantissait auparavant. D'après l'UICN, toutes les espèces qui vivaient dans les roseaux tels que le héron pourpré, la talève sultane et la rousserolle ont alors disparu des environs du lac. L'abondance de certaines espèces de poisson, telles que les anguilles, en fut également affectée.

plus importante – comme cela a été observé récemment dans la région de l'Ichkeul. Ces changements pourraient affecter le fonctionnement des bassins versants et par conséquent augmenter la pression existante sur le Parc national de l'Ichkeul. Les sécheresses des années 1990 (bien qu'attribuées pour l'instant à la variabilité climatique plutôt qu'au changement climatique) donnent un aperçu de ce qui pourrait arriver si ces tendances se confirmaient.

Pour faire face à ces impacts, des mesures d'adaptation ont été mises en œuvre et les besoins en eau douce du lac et des marais de l'Ichkeul sont maintenant pris en compte dans la planification d'approvisionnement en eau. Les apports d'eau douce depuis les barrages en amont sont régulés ainsi que les échanges d'eau salée avec la mer en aval. Un programme de suivi scientifique approprié a été mis en place. En outre, depuis 2002, les conditions climatiques se sont améliorées et, avec la mise en œuvre de ces mesures de gestion, le site a recouvré rapidement son état d'origine, montrant la forte résilience de ces écosystèmes. C'est ainsi que le site a été retiré de la Liste du patrimoine mondial en péril en juillet 2006. Mais si les tendances du changement climatique prévues venaient à être confirmées au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, la zone humide de l'Ichkeul pourrait de nouveau faire face à des conditions similaires à celles des années 1990, voire plus graves encore. Il sera alors crucial de développer et d'améliorer ces mesures d'adaptation.



Précipitations annuelles (en mm) enregistrées à la station de Tinja (région d'Ichkeul) entre 1929 et 2004. Une légère tendance négative est observée mais, de manière plus significative, la variabilité (fréquence des années extrêmement humides ou extrêmement sèches) a augmenté récemment. Les modèles climatiques projettent un renforcement de cette tendance au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (ANPE Tunisie, 2006)\*.

\* Agence nationale de protection de l'environnement, Tunisie, 2006 : Rapport sur le suivi scientifique au Parc national de l'Ichkeul - Année 2004/05.

(herbiers denses d'une plante aquatique – le *Potamogeton pectinatus* – dans le lac et végétation à base de *Scirpus maritimus* dans les marais) servant d'alimentation principale aux milliers d'oiseaux d'eau migrateurs.

En 1996, ce site fut inscrit sur la Liste du patrimoine mondial en péril. La construction de barrages sur trois des cours d'eau alimentant le

Les modèles climatiques prévoient de manière cohérente une augmentation des températures en Afrique du Nord au cours du XXI<sup>e</sup> siècle<sup>33</sup> qui pourrait atteindre 2 °C à 4 °C. Une remontée du niveau de la mer pouvant aller jusqu'à 0,88m est également projetée. Les tendances prévues de l'évolution des précipitations montrent une faible diminution mais surtout une variabilité spatiale et temporelle

33. H. Kraiem, 2002, *Biophysical and Socio-economic Impacts of Climate Change on Wetlands in the Mediterranean*, dans *Mediterranean Regional Roundtable on Water, Wetlands and Climate Change – Buildings Linkages for their Integrated Management*, UICN GWP med-MedWet, Athènes, Grèce, 10-11 décembre 2002.



# 3 Tropiques humides de Queensland

Australie



Les Tropiques humides de Queensland abritent un ensemble particulièrement varié de flore et de faune tropicale terrestre. Mais une augmentation de la température de l'air, même de 1°C, conduira à une réduction significative des habitats pour presque toutes les espèces vertébrées endémiques de la région.

Le site du patrimoine mondial des Tropiques humides de Queensland s'étend le long de la côte nord-est de l'Australie sur quelque 450 km. Il est constitué de parties tropicales sur ses zones peu élevées et de forêts humides en altitude avec des fourrés, des complexes de végétation, des palétuviers et des forêts de sclérophylle. Ces écosystèmes hébergent un ensemble particulièrement diversifié de plantes et d'animaux, dont plusieurs sont endémiques, significatifs d'une évolution spécifique, rares, ou menacés. Ces éléments ont justifié son inscription sur la Liste du patrimoine mondial en 1988 sous l'ensemble des quatre critères naturels.

## Impacts du changement climatique sur les Tropiques humides de Queensland

Cet écosystème remarquable est menacé par les changements rapides de température et de précipitations car de nombreuses espèces dans cette région ne pourront probablement pas suivre le rythme d'un changement climatique rapide. Même avec une augmentation de 1°C de la température atmosphérique, des réductions significatives de l'étendue des habitats pour la quasi-totalité des vertébrés endémiques de la biorégion des tropiques humides sont prévues par les modèles bioclimatiques<sup>34</sup>.

Pour environ la moitié des espèces modélisées, un réchauffement de 3,5 °C (correspondant à la moyenne des projections annoncées) pourrait conduire à une disparition totale de leur environnement principal. Pour les autres espèces les habitats pourraient être réduits en moyenne à 11 % de leur surface actuelle<sup>35</sup>. Les vertébrés vivant dans les forêts humides de ces monta-

gnes tropicales isolées pourraient se trouver pris au piège, n'ayant nulle part où migrer en réponse au changement climatique. Par conséquent, bien des espèces dont certaines grenouilles, mammifères, oiseaux et scinques pourraient disparaître des Tropiques humides de Queensland d'ici 50 à 100 ans, suivant l'ampleur du changement climatique annoncé<sup>36</sup>.

## Réponses possibles<sup>37</sup>

L'organisme australien de recherche scientifique marine et tropicale, grâce aux subventions significatives du Gouvernement australien, conduit un programme de recherche pour élaborer des initiatives de gestion proactive à l'échelle régionale en réponse au changement climatique annoncé. Ce programme de recherche s'attachera à améliorer les modèles climatiques actuels et les scénarii possibles pour identifier :

- les espèces et communautés écologiques les plus exposées,
- la distribution géographique de ces menaces,
- dans quelle mesure le changement climatique pourrait interagir avec d'autres menaces telles que la destruction, la fragmentation, les feux, les plantes invasives ou les animaux domestiques retournés à l'état sauvage,
- si et où certaines zones pourront continuer à offrir un habitat adéquat dans le futur ou de nouveaux habitats,

- les effets à long terme de ces menaces.

En ce qui concerne plus spécifiquement la région des Tropiques humides de Queensland, l'Université James Cook de Townsville (Queensland) a établi un Centre de la biodiversité tropicale et de la recherche sur le changement climatique qui concentrera ses efforts sur les impacts du changement climatique sur le biotope des Tropiques humides de Queensland.

34. S.E. Williams, E.E. Bolitho et S. Fox, 2003, *Climate Change in Australian Tropical Rainforests: an Impending Environmental Catastrophe*, Proceedings of the Royal Society London, B. 270, pp. 1887-1892.

35. S.E. Williams, 2003, *Impacts of Global Climate Change on the Rainforest Vertebrates of the Australian Wet Tropics*, dans *Climate Change Impacts on Biodiversity in Australia* (ed.). M. Howden, L. Hughes, M. Dunlop, I. Zethoven, D. Hilbert et C. Chilcott, pp. 50-52. Canberra, Australie. <http://www.deh.gov.au/biodiversity/publications/greenhouse/pubs/climate-change.pdf>

36. Allen Consulting Group, 2005, *Climate Change: Risk and Vulnerability. Promoting an Efficient Adaptation Response in Australia. Report to the Australian Greenhouse Office, Department of the Environment and Heritage, Canberra, Australie.*

37. *Wet Tropics Management Authority. Annual Report and State of the Wet Tropics Report, 2005-2006.*

# Zone de conservation de Guanacaste

Costa Rica

51

Ce site du patrimoine mondial abrite des habitats naturels importants pour la conservation de la diversité biologique, dont certaines des forêts sèches les mieux conservées d'Amérique centrale et d'autres habitats clés pour les espèces animales et végétales en danger ou rares, telles que les forêts humides et les forêts tropicales de montagne. Ce site est le lieu de processus écologiques uniques autant dans sa partie terrestre que dans ses environnements côtiers. Par conséquent, il fut inscrit sur la Liste du patrimoine mondial en 1999.



En Amérique centrale, les impacts du changement climatique sur la perte en biodiversité sont déjà visibles. Le crapaud doré du Panama fait partie de la centaine d'espèces en disparition.

Cependant, les forêts tropicales du Costa Rica ont subi une perte de biodiversité dramatique récemment. Depuis une vingtaine d'années, 110 espèces de grenouilles endémiques (soit environ 67 %) se sont éteintes dans les montagnes tropicales américaines dont la grenouille arlequin et le crapaud doré. L'attribution de la responsabilité de ces extinctions au réchauffement global ou à la déforestation n'était pas tranchée jusqu'à

des travaux de recherche récents mettant en évidence le rôle critique du champignon pathogène chytride et du changement climatique dans la disparition des grenouilles arlequin : l'augmentation des températures créant des conditions optimales pour le champignon, alors que l'augmentation de la couverture nuageuse diurne gêne les grenouilles dans leur quête d'abris thermiques vis-à-vis de ce pathogène<sup>38</sup>.

38. J.A. Pounds, M.R. Bustamante, L.A. Coloma, J.A. Consuegra, M.P. Fogden, P.N. Foster, E. La Marca, K.L. Masters, A. Merino-Viteri, R. Puschendorf, S.R. Ron, G.A. Sanchez-Azofeifa, C.J. Still et B.E. Young, 2006, Widespread Amphibian Extinctions from Epidemic Disease Driven by Global Warming, Nature, 439, pp. 161-166.

# 4

## Sites Archéologiques du patrimoine mondial

52

Le changement climatique sera accompagné d'un ensemble de changements des conditions environnementales qui pourraient menacer les vestiges ensevelis en exacerbant les mécanismes de décomposition des sites archéologiques. Les biens archéologiques sont conservés sous terre car ils ont atteint un équilibre avec les processus hydrologiques, chimiques et biologiques qui se déroulent dans le sol. Les changements de ces paramètres pourraient conduire à un niveau de conservation moindre pour les matériaux les plus vulnérables.

Tout changement de température ou d'humidité du sol affectera la conservation de ces sites. Cette menace doit être prise en compte pour des sites archéologiques inscrits sur la Liste du patrimoine mondial. Une préoccupation particulière apparaît pour les artefacts archéologiques par rapport aux autres types de sites : le fait que le changement climatique pourrait mettre en péril la conservation de biens précieux dont l'existence est encore inconnue de nos jours.

Plusieurs changements du climat auront un impact sur la conservation du patrimoine archéologique :

- La modification des régimes de précipitations et une variabilité interannuelle accrue dans plusieurs régions du monde sont annoncées par le GIEC<sup>1</sup>. La conservation des vestiges archéologiques sera affectée, que la tendance concerne une fréquence accrue des sécheresses, des inondations, un changement du niveau de la nappe phréatique, des cycles hydrologiques, de l'occurrence temporelle de l'humidification des sols, de l'eau souterraine ou de la chimie du sol.
- L'augmentation de la température du sol, en réponse à une température atmosphérique plus élevée jouera aussi un rôle important, en particulier dans les régions polaires où une grande partie du permafrost fond. Dans les zones tempérées, des changements des régions exposées au cycle annuel de gel/dégel sont prévus et pourraient modifier l'instabilité du sous-sol, sa compression/dilatation et sa subsidence sans oublier les glissements de terrain de grande ampleur.
- L'élévation du niveau de la mer menace aussi les zones côtières avec l'érosion qui s'ensuit et l'immersion permanente des régions peu élevées en

1. GIEC, 2001, GT1, op. cit., Résumé à l'intention des décideurs.

augmentant la teneur en sels chlorés des sols côtiers.

- Des changements de l'humidité des sédiments devraient affecter les éléments conservés dans des conditions anaérobiques, anoxiques ou saturées en

eau. Cela pourrait aussi conduire à la perte de l'intégrité stratigraphique suite au craquèlement et à la compression/dilatation.

- Les changements des cycles d'humidification/assèchement conduiront à la

dissolution/cristallisation des sels, affectant l'archéologie enfouie mais aussi les peintures, fresques et autres surfaces décorées comme l'art rupestre.



*Le site archéologique de Chavín  
Pérou*

# Zone archéologique de Chan Chan

Pérou

Chan Chan, capitale de l'ancien royaume chimú, est la plus grande et la plus importante ville préhispanique construite en terre d'Amérique<sup>2</sup>. Cet ensemble architectural et la complexité de sa conception urbaine reflètent les niveaux élevés d'évolution politique, sociale, technologique et économique atteints par la société chimú entre le IX<sup>e</sup> et le XV<sup>e</sup> siècle, avant leur déclin aux mains des Incas. Le complexe archéologique synthétise par conséquent l'évolution historique de groupes ethniques au nord du Pérou qui ont contribué au développement de la culture andine. La ville de Chan Chan est aussi un symbole de l'identité culturelle au niveau local, régional et national.

Au sommet de son développement, la ville s'étendait sur plus de vingt kilomètres carrés dont seuls quatorze sont conservés de nos jours. Dans la zone centrale urbaine se situent neuf palais, trente-cinq unités architecturales et ensembles semi-monumentaux, six temples (*huacas*), routes cérémonielles et quatre quartiers populaires complets (où l'on trouve des preuves d'activités liées au travail du bois, de l'or et de l'argent, et au tissage). Hors de cette zone centrale on trouve plusieurs *huacas*, unités agraires (*huachiques*) et un système de routes qui reliaient les différentes parties de la ville. L'architecture en terre des murs décorés de frises composées de motifs abstraits, et de sujets anthropomorphes et zoomorphes, ajoute à la splendeur exceptionnelle de ce grand réseau de ruines.

Le critère avancé pour son inscription en 1986 sur la Liste du patrimoine mondial reposait sur le fait que Chan Chan apporte un témoignage unique de l'ancien royaume chimú et de la plus grande ville précolombienne d'Amérique. C'est un chef-d'œuvre absolu en termes de planification urbaine avec un morcellement rigoureux et des utilisations différenciées de l'espace habité. Enfin la hiérarchie de ses constructions illustre aussi un idéal social et politique qui a rarement été exprimé avec autant de clarté.

Le vaste et fragile ensemble de Chan Chan fut inscrit sur la Liste du patrimoine mondial en péril l'année même où il était inscrit sur la Liste du patrimoine mondial. Ses structures en terre sont particulièrement vulnérables et donc rapidement endommagées par l'érosion naturelle quand

2. ICOMOS, 1985, Évaluation de la Zone archéologique de Chan Chan pour le Comité du patrimoine mondial, 1985, [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/366.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/366.pdf)





*Vue d'ensemble du secteur des audiencias au palais Tschudi.  
La Zone archéologique de Chan Chan constitue la plus grande  
ville précolombienne en Amérique et porte un témoignage  
unique de l'ancien royaume chimú.*

elles sont exposées à l'air. Elles exigent des efforts de conservation ininterrompus et des mesures complémentaires substantielles. L'érosion rapide et apparemment inévitable des vestiges constitue un obstacle sérieux pour une connaissance plus approfondie du site. Bien des structures mises au jour et recensées par le passé ont subi une détérioration significative. Dès lors, le Comité du patrimoine mondial a recommandé au moment de son inscription que (1) des mesures appropriées pour sa conservation, sa restauration et sa gestion soient prises, (2) que les fouilles soient stoppées si elles ne sont pas accompagnées de mesures de conservation appropriées, et (3) que toutes les mesures possibles soient prises pour contrôler la spoliation du site.



*Grande cour du  
palais Tschudi.*

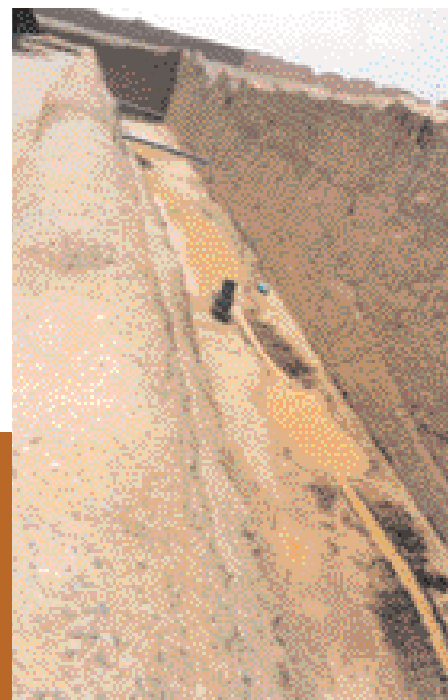
# Impacts du changement climatique

## 4 Impact des événements El Niño au nord du Pérou

Le phénomène de l'oscillation australe El Niño (ENSO pour El Niño Southern Oscillation) affecte régulièrement les variations des précipitations et des températures dans une grande partie des régions tropicales et subtropicales<sup>3</sup>. Sur la côte nord du Pérou, les phases chaudes de cette oscillation (appelées événements El Niño par opposition à La Niña qui correspond aux phases froides de l'oscillation) sont associées à des anomalies positives des précipitations de grande ampleur<sup>4</sup>. Dans les zones côtières arides du nord du Pérou, la moyenne climatologique des précipitations oscille entre 20 et 150 mm, mais, lors de l'événement El Niño de 1997-1998, cette région a reçu 3 000 mm de pluie<sup>5</sup>.

L'événement El Niño de 1982-1983 est considéré comme l'un des plus intenses du XX<sup>e</sup> siècle. La Banque mondiale a estimé son coût global à environ 14 milliards de dollars

dont un milliard au Pérou, principalement à cause des pertes des revenus de la pêche et de la destruction des infrastructures. En 1997-1998, de nouveau, le Pérou a subi des dommages du même ordre de grandeur (dont 55 % concernaient les infrastructures de transport, 15 % l'agriculture, 14 % l'énergie, et 9 % l'éducation)<sup>6</sup>.



*Inondation partielle du palais Tschudi suite à l'événement El Niño de 1982-1983.*

## Impact des précipitations extrêmes sur la région archéologique de Chan Chan

Les précipitations intenses endommagent la base des structures architecturales en terre. Elles conduisent à une humidité plus importante dans les parties basses des bâtiments et, par conséquent, à un taux plus élevé de la contamination des structures par le sel avec la croissance de végétaux tels que les roseaux et les nénuphars dans les *huachaqas* peu élevées.

Un recensement de soixante-huit puits est en cours depuis 2000 et il a révélé une augmentation progressive de la nappe phréatique qui a

déjà atteint des niveaux alarmants en janvier 2003. Ce phénomène est dû aux effets combinés des changements dans les techniques d'irrigation pour la monoculture extensive dans cette région, ainsi qu'à la réduction de l'utilisation de l'eau par la population qui l'obtient à présent par un nouveau système. Le changement climatique représente une source de pression additionnelle sur ce site, les précipitations intenses durant l'événement El Niño de 1997-1998 ayant aussi contribué significativement à l'élévation du niveau de la nappe phréatique<sup>7</sup>.

3. GIEC, 2001, GT1, op. cit., Résumé à l'intention des décideurs.

4. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 14.1.2.1.4.

5. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 14.2.1.3.

6. Banque mondiale, 1997, Rapport annuel, Washington, D.C., États-Unis.

7. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 14.2.1.3.

## Changements prévus des événements El Niño

Récemment, un changement de l'ENSO a été observé d'après le GIEC. Les phases chaudes de l'oscillation sont devenues plus fréquentes, plus intenses et plus persistantes depuis les années 1970 par rapport au siècle précédent.

La représentation des événements El Niño demeure un défi pour les modèles climatiques. Les projections montrent une stagnation ou

une augmentation faible de l'amplitude des événements El Niño au cours du siècle prochain. Mais le GIEC insiste sur le fait que, même avec un changement faible ou une stagnation de l'amplitude d'El Niño, le réchauffement global conduira probablement à des extrêmes plus prononcés d'assèchement et de pluies intenses et à un risque accru de sécheresses et d'inondations que l'on trouve dans plusieurs régions lors d'événements El Niño<sup>8</sup>.

## Réponses possibles

Depuis que Chan Chan est inscrit sur la Liste du patrimoine mondial en péril, un plan directeur a été conçu avec le soutien du Fonds du patrimoine mondial, et la formation à la conservation et à la gestion s'est améliorée.

Le premier cours panaméricain sur la conservation et la gestion de l'architecture en terre et le patrimoine archéologique organisé conjointement par le Gouvernement péruvien, le Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels (ICCROM), le Centre international de la construction en terre (CRATerre-ENSAG) et l'Institut Getty pour la conservation (GCI), s'est tenu à Chan Chan en 1996. Ce cours profite directement à la conservation et à la gestion du site.

En septembre 1997, un fonds d'aide d'urgence a été alloué pour mettre en place des mesures immédiates de protection des parties les plus vulnérables et significatives de Chan Chan

contre les impacts dévastateurs de l'événement El Niño qui était attendu pour 1998. Par conséquent, les impacts sur le site furent relativement modestes, ce qui montre que les mesures de protection ont porté leurs fruits.

Une adaptation à long terme est aussi en cours avec le renforcement et la stabilisation des fondations et structures pour les principaux bâtiments et l'architecture entourant le *huachaque* du palace Tschudi. Ces travaux ont été conduits en associant l'utilisation de techniques et de matériaux traditionnels et des méthodes d'ingénierie contemporaines<sup>9</sup>.



La Zone archéologique de Chan Chan.

8. GIEC, 2001, GT1, op. cit., Résumé à l'intention des décideurs.

9. État de conservation du site du patrimoine mondial de Chan Chan, 2003, <http://whc.unesco.org/archive/2003/whc03-27com-07ae.pdf>

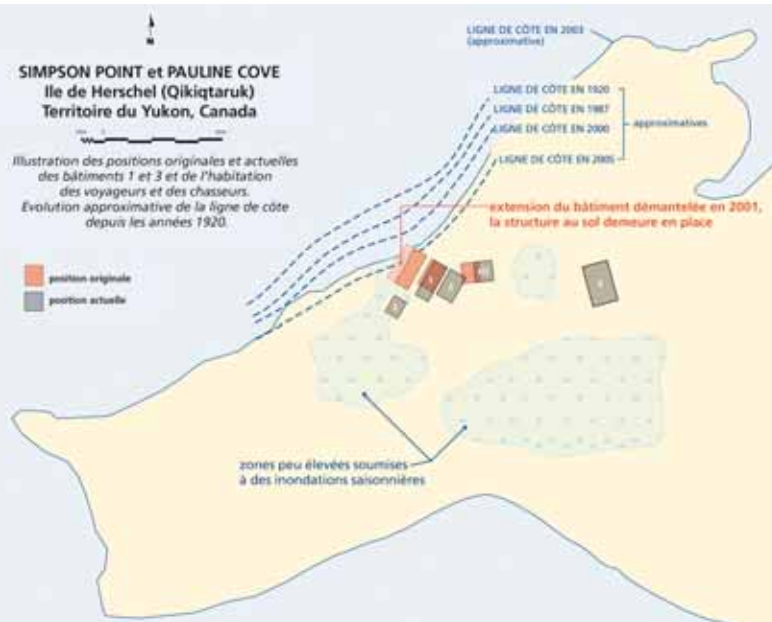
# Iwvavik, Vuntut et île d'Herschel (Qikiqtaruk) Canada

Iwvavik, Vuntut et l'île d'Herschel (Qikiqtaruk)<sup>10</sup> est actuellement sur la liste des sites candidats à l'inscription au patrimoine mondial du Canada qui envisage sa nomination d'après des critères naturels et culturels. Dans cette région, les hautes montagnes, la forêt boréale, la toundra, les marais étendus, les plaines côtières et une île arctique forment ensemble le tissu vivant de la nature sauvage arctique. Culturellement, cette terre illustre les prémices de l'occupation humaine du Nord-Ouest américain via le refuge du Béring et du Yukon, l'utilisation traditionnelle de la terre et l'adaptation des traditions culturelles autochtones à un environnement extrême et aussi les colonies des baleiniers du XIX<sup>e</sup> siècle sur l'île d'Herschel. Mais cet endroit est aussi un lieu d'une grande beauté avec des éléments naturels extraordinaires tels que les montagnes, les marais, les rivières et des espèces animales migratrices. Il illustre les mécanismes géologiques relatifs aux événements du pléistocène et de la Béringie et inclut une diversité biologique significative, avec un vaste spectre d'espèces telles que le caribou, l'ours, la sauvagine et la vie marine.

Cependant, les valeurs mises en avant pour son inscription sont déjà menacées :

■ La fonte de la glace de mer conduit à une plus grande exposition aux tempêtes des zones côtières, favorisant ainsi l'érosion. Par conséquent, sur l'île d'Herschel, les autorités du gouvernement du Yukon ont été contraintes d'entreprendre une démarche archéologique de sauvetage des habitations de l'ancienne Thulé et à déplacer des bâtiments vers les terres pour les maintenir au sec et éviter l'inondation des zones faiblement élevées. Mais si

*Sur le parc territorial de l'île de Herschel (Liste indicative du patrimoine mondial du Canada), les installations des baleiniers du XIX<sup>e</sup> siècle ont dû être déplacées à cause de l'érosion de la côte, renforcée par la fonte des glaces.*



10. D. Olynyk, 2004, Canada's Yukon Territory – Heritage at the Edge, Cultural Heritage in the Arctic and Antarctic Regions, ICOMOS Monuments and Sites VII, International Polar Heritage Committee.





*La déstabilisation du sol gelé menace les vestiges enterrés de l'installation des baleiniers du XIX<sup>e</sup> siècle sur le Parc territorial de l'île d'Herschel.*

l'érosion des côtes devait continuer, un autre déplacement devrait être envisagé et l'abandon de certaines structures pourrait être considéré, alors que le contexte et les valeurs de la colonie de pêcheurs de baleines seraient compromis de manière irréversible.

■ La détérioration du permafrost de l'île d'Herschel conduit à un effondrement du sol qui menace aussi les vestiges archéologiques. Cela pose une menace importante sur les tombes historiques et même sur les cercueils enterrés dans les cimetières autour de Pauline Cove. Quelques cercueils sombrent avec l'effondrement du sol et sont brisés et déplacés. Quelques traces anciennes des premiers occupants ont déjà été perdues à cause de l'instabilité du sol et de l'érosion induite par la fonte du permafrost, l'action des vagues et les inondations maritimes.

Les signes d'impacts du changement climatique sur un site qui n'est pas encore inscrit comme faisant partie du patrimoine mondial engendrent une préoccupation particulière qui est spécifique au patrimoine archéologique. Cela suggère que de telles menaces

s'exercent aussi sur des éléments ensevelis dont nous ignorons jusqu'à l'existence aujourd'hui.

Un autre exemple frappant de ce phénomène dans le Territoire du Yukon a été illustré récemment dans la région du site du patrimoine mondial de Kluane / Wrangell-St Elias / Glacier Bay / Tatshenshini-Alsek (Canada et États-Unis d'Amérique)<sup>11</sup>. Ce site a été inscrit sous l'ensemble des quatre critères naturels en 1979. Mais récemment des artefacts en bois façonnés de main d'homme datant de plus de 9 000 ans ont été découverts dans un bloc de glace isolé (bien que ces éléments archéologiques ne soient pas liés à l'inscription du site sur la Liste du patrimoine mondial). Dans cette région d'Amérique du Nord, les blocs de glace isolés<sup>12</sup> fondent rapidement à cause de l'élévation des températures atmosphériques. Par conséquent, nous faisons face à une situation paradoxale où, d'un côté si ce bloc de glace ne fondait pas, nous n'aurions pas découvert ces éléments, mais d'un autre côté, la conservation de ces matériaux qui était précédemment assurée par la glace est maintenant mise en péril.

11. D. Olynyk, 2005, *Climate Change in the Western Canadian Arctic Threatens Cultural Resources, Heritage at Risk, ICOMOS World Report 2004/2005 on Monuments and Sites in Danger*.

12. P.G. Hare et al., 2004, *Ethnographic and Archaeological Investigations of Alpine Ice Patches in Southwest Yukon, Canada, Journal of the Arctic Institute of North America*, 57(3), pp. 259-271.



**Le site de Chavín est l'un des plus significatifs et représentatifs de la période préclassique dans les Andes péruviennes centrales entre 1500 et 300 ans avant J.-C. Il est constitué de monticules à plates-formes de pierre, de terrasses, et de places en contrebas, et est caractérisé par un ensemble de galeries souterraines. Cet ancien lieu de culte est l'un des plus anciens et des plus connus sites précolombiens. Son apparence est frappante avec son complexe de terrasses et de places, entourées de structures en pierre levée et des ornements principalement zoomorphes. Par conséquent, il fut inscrit sur la Liste du patrimoine mondial en 1985, car il apporte un témoignage exceptionnel d'une civilisation aujourd'hui disparue.**

Ce site se trouve dans la province de Huari (département d'Ancash) à 3 150 m d'altitude dans une haute vallée sur le flanc est de la cordillère Blanche du Pérou, au confluent entre les rivières (*quebrada*) Mosna et Wacheqsa.

Comme le site de Chan Chan (voir p.54), ce site est exposé à des inondations extrêmes liées aux importantes précipitations qui ont lieu lors des phases chaudes de l'oscillation australe El Niño. Le site de Chavín a souffert de telles inondations en 1925, l'un des événements El Niño les plus violents du XX<sup>e</sup> siècle. La pluie, en augmentant le débit de la rivière Mosna, conduisit à la destruction d'un nombre important de bâtiments sur ses berges<sup>13</sup>.

De plus, ce site se trouve dans la cordillère Blanche au Pérou, au voisinage du Parc national de Huascarán, aussi classé au patrimoine mondial naturel. Comme dans d'autres régions du monde, les glaciers fondent dans cette

région, conduisant parfois à la formation de lacs glaciaires et éventuellement à leur vidange brutale (voir chapitre 1, p. 23).

Le 17 janvier 1945, le site archéologique et une partie de la ville moderne furent ensevelis à nouveau par un flot catastrophique de débris – connus dans les Andes sous le terme *aluvión* – qui recouvrirent le monument. Ce phénomène se déroula lorsque, au voisinage des sources de la quebrada Wacheqsa (sur le versant est de la cordillère Blanche centrale du Pérou), les eaux de la lagune Ayhuinayaraju furent perturbées par un glissement de terrain constitué de neige et de boue conduisant le lac à rompre la moraine et à se vider dans la lagune Carhuacochoa. Comme la plupart des lacs dans cette région, ce lac a une origine glaciaire. Ses berges sont constituées d'une accumulation fragile de débris de

Déblaiement de la façade de bâtiments à Chavín en 1956.



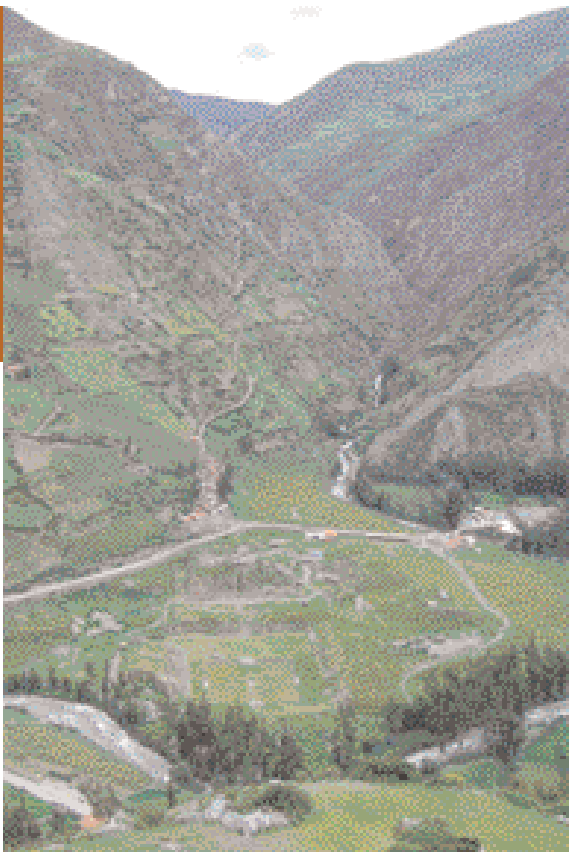
moraine, de pierre et d'argile<sup>14</sup>. Dans ce cas précis, c'est environ 900 000 m<sup>3</sup> de glace boueuse, de roche, de terre et d'eau qui descendirent la quebrada Wacheqsa, à une vitesse d'environ 30km/h<sup>15</sup>. Au confluent avec la plus importante rivière la Mosna, l'*aluvión* s'abattit sur le monument archéologique de Chavín ensevelissant aussi une partie de la ville moderne adjacente de Chavín. Le site fut recouvert de 3,5 m de sédiments, et une grande partie des galeries souterraines furent comblées par l'injection sous pression de gravats de l'*aluvión*<sup>16</sup>.

13. L.G. Lumbrellas, *Excavaciones en Chavín de Huántar*, sous presse.

14. G. Indacochea et M. Iberico, 1947, *Aluvionamiento de Chavín de Huántar el 17 de enero de 1945, Rapport pour l'Instituto Geológico de Perú*, pp. 21-28.

15. Indacochea et Iberico, 1947, *op. cit.*

16. D. Contreras, 2005, *Stanford University, communication personnelle.*



*Chavín est situé dans la cordillère Blanche du Pérou, au confluent entre les rivières Mosna et Wacheqsa.*



Les catastrophes associées à ces phénomènes géologiques affectent les populations de la cordillère Blanche. Au cours des soixante dernières années, parmi les désastres géologiques modernes on trouve des flots de débris qui ont déferlé à travers les villes de la cordillère Blanche de Chavín (1945), Huaraz (1962) et Yungay (1970). Les impacts pour la conservation du Site archéologique de Chavín sont mentionnés ci-dessus. Mais de tels événements ont aussi des conséquences évidemment dramatiques pour les populations locales. Des avalanches de roche catastrophiques déclenchées par la fonte des glaciers sont les plus destructrices des glissements de terrain. Ceux de 1962 et 1970 causèrent 5 000 et 23 000 morts respectivement<sup>17</sup>.

Les modèles climatiques prévoient une vitesse de fonte accrue à l'avenir. Il est donc d'une importance critique d'étudier plus avant la géodynamique des glaciers, en particulier le lien avec l'éventuelle augmentation en fréquence et magnitude des glissements de terrain, de

telle sorte que des mesures préventives et des mesures d'urgence adéquates puissent être définies et, si possible, mises en œuvre.



*Le site archéologique de Chavín est l'un des plus anciens et plus célèbres lieux de culte précolombien.*

17. G. Plafker et G.E. Eriksen, 1978, *Nevados Huascarán Avalanches, Peru*, dans B. Voight (ed.), *Rockslides and Avalanches*, Amsterdam, Pays-Bas, Elsevier, pp. 277–314.

# Montagnes dorées de l'Altai

Fédération de Russie

Les Montagnes de l'Altai au sud de la Sibérie forment un massif montagneux majeur dans la Sibérie occidentale. Avec une surface totale de 1 600 000 hectares elles représentent l'ensemble le plus complet des zones végétales d'altitude en Sibérie en regroupant steppe, forêt-steppe, forêt diverse, végétation subalpine et végétation alpine. Ce site constitue aussi un habitat important pour des espèces animales en danger telles que le léopard des neiges. Le massif de l'Altai est réparti entre la Chine, le Kazakhstan, la Mongolie et la Fédération de Russie. Son secteur russe fut inscrit sur la Liste du patrimoine mondial sur des critères naturels en 1998.

*Vestiges archéologiques dans les Montagnes dorées de l'Altai : monticules funéraires (kurgans), stèles de l'âge de bronze et cercles de pierre. La fonte du permafrost menace la conservation de ces vestiges uniques et de la matière organique préservée dans les tombes.*



caractéristiques culturelles très particulières mais laissa très peu de traces écrites. Les monticules funéraires scythiques appelés *kurgans* sont l'une des seules sources d'information disponibles.

Situé dans une zone de permafrost, le contenu des tombes a été parfaitement préservé : objets en métal, pièces d'or, et même certaines matières organiques (corps momifiés parfois couverts de tatouages magnifiques, chevaux sacrifiés, objets en bois ou cuir, vêtements, textiles, etc.).

L'équilibre atmosphérique subtil qui a permis la formation et la pérennisation du permafrost dans les Montagnes de l'Altai, et donc la conservation des tombes, est maintenant mis en péril par le changement climatique<sup>18</sup>. Au cours des 100 dernières années, il y a eu une augmentation de la température de 1°C dans l'ensemble de la zone couvrant l'Asie tempérée. Les relevés effectués à Barnaul, situé au pied des pentes de l'Altai, indiquent une augmentation de 2°C depuis un siècle, la majeure partie

Bien que le site ne soit pas inscrit pour des valeurs culturelles, il est intéressant de noter que les Montagnes dorées de l'Altai portent aussi un témoignage unique de la culture scythe qui florissait dans les steppes eurasiennes pendant le 1<sup>er</sup> millénaire avant J.-C. Cette civilisation nomade développa des

18. Groupe de travail « The Frozen Tombs of the Altai Mountains: Strategies for the Future » organisé par le Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO, l'Université d'État de Gorno-Altai et l'Université de Gand, Belgique, Gorno-Altai, Fédération de Russie, 28-31 mars 2006.



de cette augmentation ayant lieu en hiver et au printemps. Par conséquent, une diminution significative du permafrost est attendue d'ici le milieu du siècle dans les montagnes de l'Altai. Les kurgans gelés restants sont dès lors extrêmement vulnérables au changement climatique et la conservation d'artefacts de grande valeur des anciennes civilisations nomades des steppes eurasiatiques est menacée.

De plus les vidanges brutales de lacs glaciaires (voir chapitre 1, p. 16) constituent aussi un problème sérieux dans l'Altai, le glacier de Sofiyskiy (massif de Chuya) ayant reculé de 18 m par an au cours du XX<sup>e</sup> siècle<sup>19</sup>.

Par conséquent, l'UNESCO, en coopération rapprochée avec l'Université de Gand en Belgique, a mis en place un projet<sup>20</sup> pour conduire un recensement complet de la zone, en utilisant des techniques d'observation satellitaires en plus du travail traditionnel de terrain. Lorsque le recensement sera complet, le projet entrera dans une phase de surveillance des tombes situées dans une zone géographique fragmentée de permafrost. Le résultat de ce travail fournira une meilleure compréhension des impacts potentiels du changement climatique sur le permafrost des montagnes de l'Altai qui permettra aux autorités compétentes d'établir une stratégie appropriée pour conserver ce patrimoine culturel unique.

19. F. Pattyn, B. DeSmedt, S. DeBrabander, W. Van Huele, A. Agatova, A. Mistrukov et H. Declair, 2003, *Ice Dynamics and Basal Properties of Sofiyskiy Glacier, Altai Mountains, Russia based on DGPS and Radio-Echo Sounding Surveys*, *Ann. Glaciol.*, 37, pp. 286–292.

20. *Preservation of the Frozen Tombs of the Altai Mountains, Flemish/UNESCO Cultural Trust Fund (2005-2006)*, <http://www.archaeology.ugent.be/altai/>

# 5

## Villes et monuments du patrimoine mondial

64

Les impacts négatifs du changement climatique auront des conséquences pour l'humanité dans son ensemble, y compris les produits de la créativité humaine. Dans le cas du patrimoine mondial bâti, ces conséquences se manifesteront au moins de deux façons. D'une part des impacts physiques directs sur les bâtiments et structures sont à prévoir, et d'autre part il y aura des effets sur les structures sociales et les habitations qui pourraient conduire à des modifications, ou même des migrations des sociétés qui maintiennent actuellement ces sites.

Le patrimoine culturel est lié intimement au climat local. Les paysages ruraux se sont développés en liaison avec les espèces végétales florissant localement. Les paysages urbains et le patrimoine bâti furent conçus en fonction du climat local. La stabilité du patrimoine culturel est, dès lors, intrinsèquement régie par ses interactions avec son environnement. Et, là où les sites du patrimoine mondial sont utilisés et occupés quotidiennement par les communautés locales, des adaptations significatives pourront être nécessaires.

Le changement climatique pourrait avoir plusieurs impacts physiques directs sur le patrimoine bâti :

- Les bâtiments historiques sont plus intimement liés au sol que les bâtiments modernes. Ils sont plus poreux, prélèvent de l'eau depuis le sol, la transportent à travers leur structure et l'évacuent par évaporation, en générant des effets secondaires comme l'oxydation et l'effritement. Les murs et les sols constituent le point d'échange pour ces réactions. Une augmentation de l'humidité du sol pourrait conduire à une plus grande circulation des sels dissous, et donc à une cristallisation dommageable sur les surfaces décorées mais aussi à une plus grande instabilité du sol, avec la compression/dilatation et la subsi-

dence. Une fréquence accrue des précipitations extrêmes peut causer des problèmes importants lorsque le système d'évacuation d'eau historique ne peut tolérer de fortes pluies alors qu'il est souvent difficile d'accès pour la maintenance.

- Les chocs (variations extrêmes et soudaines) ou les changements de l'amplitude diurne ou saisonnière de température et d'humidité peuvent générer des fissures, craquements, écaillage, et empoussièrerie des matériaux et surfaces. Une attention spéciale doit ainsi être accordée aux changements dans la fréquence annuelle des cycles de gel/dégel des sols qui exercent une pression importante sur les structures bâties extérieures.

- Le bois et les autres matériaux de construction organiques peuvent être



soumis à des infections plus fréquentes suite à une migration des parasites vers des altitudes et des latitudes qui n'étaient jusqu'ici pas concernées par de telles menaces.

■ Les inondations, toujours accompagnées de flots sales et abrasifs qui s'écoulent rapidement, mettent en péril les bâtiments qui ne sont pas conçus pour subir des immersions prolongées. De plus l'assèchement suite aux inondations favorise la croissance de micro-organismes agressifs tels que les moisissures et champignons et l'apparition de taches.

■ L'érosion des côtes conduisant par endroits à une progression significative de la ligne de côte menace de détruire les sites proches de la mer.

■ Une augmentation des tempêtes et vents violents pourrait conduire à des dommages structurels sur des bâtiments entiers, ne se limitant pas à leurs éléments les plus vulnérables.

■ La désertification, l'effritement et l'érosion menacent le patrimoine culturel dans les zones arides.

Le changement climatique pose principalement des risques physiques. Mais, à leur tour, ces effets peuvent avoir des conséquences sociétales et culturelles. Quand on s'intéresse au patrimoine dit dynamique, c'est-à-dire les bâtiments et paysages occupés et utilisés par les populations locales pour vivre, travailler, prier ou sociabiliser, il devient important de souligner les conséquences culturelles. Ces conséquences peuvent être induites par la dégradation du bien considéré. Mais le changement climatique peut aussi conduire les populations à émigrer (sous la pression de l'élévation du niveau de la mer, la désertification, les inondations, etc.) conduisant à l'éclatement de communautés et à l'abandon des propriétés, avec une

perte éventuelle des rites et cultures mémorielles. En ce qui concerne la conservation du patrimoine culturel, cet abandon soulève un problème important dans les situations où les connaissances et le savoir-faire traditionnel sont essentiels pour assurer un bon entretien de ces biens. Sur cet aspect, les changements biologiques (avec le déplacement d'espèces) peuvent aussi avoir un impact sur les problèmes de conservation, avec la réduction de la disponibilité des espèces locales nécessaires à la réparation des bâtiments et structures.

L'évaluation des impacts du changement climatique sur le patrimoine mondial culturel doit donc pendre en compte ces interactions complexes entre les aspects sociaux, naturels et culturels.



*Hautes eaux à Venise  
Italie*

## Étude de cas emblématique

# Sites du patrimoine mondial de la ville de Londres

Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord

Trois sites du patrimoine mondial se situent sur les rives de la Tamise dans la ville de Londres ou dans son voisinage immédiat, soulignant le rôle primordial de cette rivière comme artère de communication.

Le palais de Westminster, reconstruit en 1840 sur le site de vestiges médiévaux significatifs, est un bel exemple de l'architecture néogothique. Ce site a une grande importance historique ; il inclut la petite église médiévale de Sainte-Marguerite, construite dans le style gothique perpendiculaire et l'abbaye de Westminster où les souverains furent couronnés depuis le XI<sup>e</sup> siècle. Ces bâtiments furent inscrits conjointement sur la Liste du patrimoine mondial en 1987.

La Tour de Londres fut inscrite en 1988. Limitée à l'origine à la tour centrale, appelée tour Blanche, et construite par Guillaume le Conquérant pour protéger Londres des envahisseurs et renforcer son pouvoir et son autorité, elle s'est développée en une forteresse impressionnante où l'on retrouve de nombreuses périodes historiques. Devenue un des symboles de la Couronne britannique, son influence fut retentissante à travers tout le royaume.

L'ensemble des bâtiments de Greenwich – secteur directement adjacent à Londres – et le parc dans lequel on les trouve symbolisent les efforts artistiques et scientifiques anglais du XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècle. Ils furent inscrits





Plusieurs sites du patrimoine mondial sont menacés par les inondations venant de la mer dans la ville de Londres (Royaume-Uni), ici : la Tour de Londres.

sous quatre critères culturels en 1997. La maison de la Reine de l'architecte Inigo Jones était la première villa du palladianisme en Angleterre, alors que le complexe qui était encore récemment le Royal Navy College fut conçu par sir Christopher Wren. Le parc, établi sur la base d'un concept original du paysagiste français André Le Nôtre, héberge l'ancien observatoire royal, avec les travaux de sir Christopher Wren et du scientifique Robert Hooke.

## Impacts du changement climatique

Le changement climatique pourrait conduire à des inondations plus fréquentes et plus intenses de la Tamise qui coule à travers la ville de Londres. La menace d'inondation la plus significative qui pèse sur Londres résulte des ondes de tempête : combinaison entre fortes marées et vents liés aux dépressions atmosphériques ayant lieu en mer du Nord, avec un effet d'entonnoir entre le sud de la mer du Nord et l'estuaire de la Tamise<sup>1</sup>.

Par conséquent, l'effet conjugué d'une élévation du niveau de la mer et d'un changement du régime des tempêtes pose une menace significative sur les sites du patrimoine mondial situés sur les rives de la Tamise. D'après un scénario d'émissions futures de CO<sub>2</sub> non atténuées, les

modèles climatiques prévoient que l'action combinée d'une élévation de la mer et d'un changement dans les régimes de tempête conduira à une fréquence accrue des inondations par les ondes de tempête<sup>2</sup>.

Le Musée national maritime de Greenwich, anciennement Royal Navy College.

1. London Climate Change Partnership, 2002, *Climate Change Impacts in a London Evaluation Study, Final Report*, 311pp., [http://www.london.gov.uk/gla/publications/environment/londons\\_warming\\_tech\\_rpt\\_all.pdf](http://www.london.gov.uk/gla/publications/environment/londons_warming_tech_rpt_all.pdf)  
2. J. Lowe, 2003, *The Effects of Climate Change on Storm Surges Around the UK*, in *The Big Flood: An International Scientific Meeting on North Sea Storm Surges*.





Abbaye de Westminster  
et église Sainte-Marguerite.

La ville de Londres est protégée suivant des standards exigeants par des protections telles que la barrière de la Tamise, conçue et construite dans les années 1970 suite aux inondations catastrophiques de 1953. Londres et l'estuaire de la Tamise bénéficient actuellement d'un des meilleurs systèmes au monde qui aurait dû fournir une protection de haut niveau au-delà de



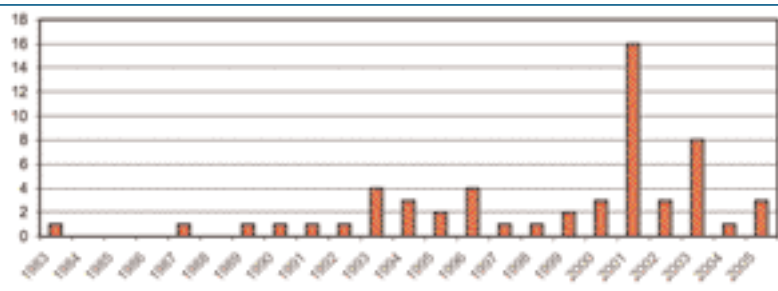
Les mesures dans l'estuaire de la Tamise montrent que la moyenne et les niveaux d'eau extrêmes ont augmenté au cours des deux derniers siècles. Une augmentation à long terme de 0,4 mm par an au cours du XIX<sup>e</sup> siècle et de 2,2 mm par an au XX<sup>e</sup> siècle a été observée à Sheerness (estuaire de la Tamise). Les niveaux d'eau extrêmes se sont élevés plus vite que le niveau moyen de la mer en partie à cause de l'empiétement sur les estrans et du creusement des canaux<sup>3</sup>.

2030. Mais les tendances historiques de niveaux d'eau extrêmes furent utilisées pour sa conception et à présent le changement climatique offre une vision pessimiste des risques d'inondation pour le futur<sup>4</sup>. La barrière de la Tamise devait être mise en œuvre deux ou trois fois par an à l'origine, mais ce nombre a été dépassé plusieurs fois récemment.

Les projections de l'augmentation du niveau de la mer posent une menace significative sur Londres. Le Programme britannique pour les impacts du changement climatique (United Kingdom Climate Impacts Programme, UKCIP) suggère que l'augmentation du niveau de la mer dans l'estuaire de la Tamise pourrait atteindre entre 0,26 et 0,86 m d'ici les années 2080 par rapport à son niveau moyen entre 1961 et 1990<sup>5</sup>.

De plus, le réchauffement global pourrait induire une réduction du nombre total des tempêtes

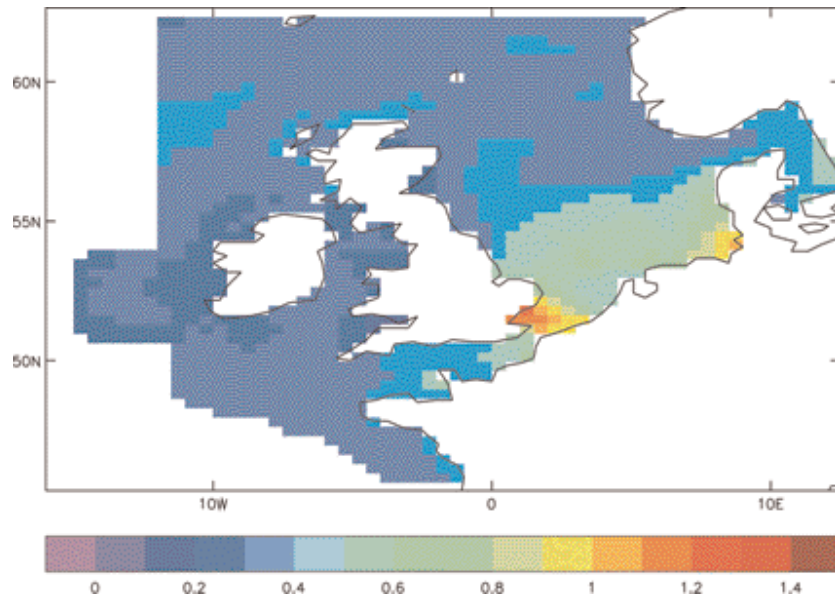
Occurrences  
annuelles de  
fermeture de la  
barrière de la Tamise  
à cause des  
inondations  
hivernales  
(Thames Estuary  
2100).



3. K. Lonsdale, T.E. Downing, R.J. Nicholls, A.T. Vafeidis, D. Parker, R.J. Dawson et J.W. Hall, 2005, A Dialogue on Responses to an Extreme Sea-Level Rise Scenario in the Thames Region, United Kingdom, dans ATLANTIS Atlantic Sea-level rise, Adaptation to Imaginable Worst Case Climate Change. <http://www.uni-hamburg.de/Wiss/FB/15/Sustainability/annex13.pdf>
4. S. Lavery, 2003, Planning for Flood Risk Management in the Thames Estuary: Looking Ahead 100 years, dans The Big Flood: An International Scientific Meeting on North Sea Storm Surges.
5. M. Hulme, G.J. Jenkins, X. Lu, J.R. Turnpenny, T.D. Mitchell, R.G. Jones, J. Lowe, J.M. Murphy, D. Hassell, P. Boorman, R. McDonald et S. Hill, 2002, Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, Royaume-Uni, 120 pp., Chapitre 6, [http://www.ukcip.org.uk/scenarios/ukcip02/documentation/documents/UKCIP02\\_Ch6.pdf](http://www.ukcip.org.uk/scenarios/ukcip02/documentation/documents/UKCIP02_Ch6.pdf)

**Évolution des inondations semi-centennales en 2080 suivant un scénario modéré à élevé des émissions de gaz à effet de serre (UKCIP 2002)\*.**

\* UKCIP 2002, *Climate Change Scenarios* (financé par Defra, produit par les Centres Tyndall et Hadley pour l'UKCIP).



La barrière de la Tamise protège la ville de Londres contre les inondations maritimes, mais sa conception dans les années 1970 n'avait pas pris en compte les effets du changement climatique.

extratropicales mais une augmentation des tempêtes les plus extrêmes<sup>6</sup>. Et c'est précisément la combinaison des tempêtes intenses et de l'élévation du niveau de la mer qui favorise l'inondation des zones exposées aux marées en Europe occidentale, dont fait partie l'estuaire de la Tamise.

D'ici les années 2050, une augmentation de 34 cm du niveau de la mer à Sheerness changerait la fréquence des extrêmes : un événement qui avait lieu tous les mille ans pourrait avoir une période de retour moyenne de 200 ans. D'ici à 2100, on estime que la barrière de Londres devrait être fermée environ 200 fois par an pour protéger Londres des inondations venant de la mer<sup>7</sup>.

## Réponses possibles

Des propriétés d'une valeur totale estimée à plus de 80 milliards de livres sterling se situent dans les zones inondables de la Tamise, et la plus grande partie dans Londres. Une inondation dont l'ampleur dépasserait les capacités de protection offertes par la barrière de la Tamise aurait un coût indirect sur l'économie britannique de 30 milliards de livres. Et on peut s'attendre qu'un tel événement touche les trois sites du patrimoine mondial les plus proches de la Tamise, c'est-à-dire le Musée national maritime de Greenwich, la Tour de Londres et le Palais de Westminster. Le fort débit de l'eau érodera leurs murs, et l'assèchement consécutif aux inondations favorisera la croissance de micro-organismes agressifs tels que les moisissures et les champignons.

La barrière de la Tamise peut tenir jusqu'en 2025 avant qu'un événement millénaire ne survienne, et il est par conséquent opportun de prendre des mesures d'adaptation appropriées. Une activité de surveillance est conduite actuellement par l'Agence britannique de l'environnement via le projet

« Estuaire de la Tamise 2100 » (Thames Estuary 2100 Project) dans le cadre d'une initiative conjointe des régions Anglia, Southern et Thames, qui a pour but de déterminer le niveau de protection adéquat pour protéger Londres et l'estuaire de la Tamise pour le siècle à venir<sup>8</sup>.

6. S.J. Lambert et J.C. Fyfe, 2006, *Changes in Winter Cyclone Frequencies and Strengths Simulated in Enhanced Greenhouse Warming Experiments: Results from the Models Participating in the IPCC Diagnostic Exercise*, *Climate Dynamics*, 26(7-8), pp. 713-728.

7. *London Climate Change Partnership*, 2002, *op. cit.*

8. *Thames Estuary 2100 Project (TE2100)*, [http://www.thamesweb.com/page.php?page\\_id=60&topic\\_id=9](http://www.thamesweb.com/page.php?page_id=60&topic_id=9)



# Venise et sa lagune

Italie

5

70

Fondée au V<sup>e</sup> siècle, et répartie entre 118 petites îles, Venise est devenue un pouvoir maritime majeur au cours du X<sup>e</sup> siècle. La ville dans son ensemble constitue un chef-d'œuvre architectural dans lequel même les plus petits palais abritent les travaux des plus grands peintres comme Giorgione, Titien, le Tintoret, Véronèse et d'autres.

La ville et sa lagune sont directement associées aux événements et aux traditions vivantes, aux idées, croyances et travaux artistiques et littéraires d'une signification universelle exceptionnelle. Par conséquent, elles furent inscrites en 1987 sur la Liste du patrimoine mondial sous les six critères culturels.

Dans son évaluation, le Conseil international des monuments et des sites (ICOMOS), dans son rôle d'organisation consultative du Comité du patrimoine mondial, ajoutait que « Venise symbolise le combat victorieux de l'Homme contre les éléments, et la maîtrise des hommes et des femmes qui se sont imposés face à une nature hostile ». Mais cette affirmation pourrait être lue différemment dans le contexte du changement climatique.

D'après des relevés archéologiques, Venise sombre dans la lagune à une vitesse de 10 cm par siècle à cause de la subsidence naturelle – c'est-à-dire l'augmentation nette du niveau de la mer due à la propagation du delta et à la compression des sédiments. Mais, au cours du XX<sup>e</sup> siècle, la ville a perdu 10 à 13 cm de plus à cause des industries avoisinantes qui prélevaient de l'eau du sous-sol. Ce fonctionnement a pris fin dans les années 1970 mais des dommages irréremédiables étaient causés<sup>9</sup>.



Les éléments qui contribuent au changement du niveau de la mer local devraient être mis en perspective avec l'augmentation du niveau de la mer due au changement climatique. L'élévation globale attendue du niveau de la mer a été mentionnée plusieurs fois plus haut dans ce document. La fonte des glaciers et des calottes polaires, et la dilatation thermique

des eaux plus chaudes des océans conduisent à une augmentation du volume moyen des mers. C'est ce que l'on appelle l'augmentation eustatique du niveau de la mer, qui doit être différenciée de l'élévation relative du niveau de la mer, c'est-à-dire le résultat net induit par la conjonction de changements locaux et globaux<sup>10</sup>.

9. A. Somers Cocks, 2005, *Venice in Peril*. The British Committee for the Conservation of Venice, <http://www.veniceinperil.org/news/news.asp?id=86>

10. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Glossaire.



Les hautes eaux à Venise deviennent plus fréquentes et les projections climatiques suivant un scénario modéré d'émission de gaz à effet de serre suggèrent que Venise puisse être inondée quotidiennement à la fin du siècle.



Le GIEC avance que le niveau moyen des mers s'éleva entre 0,1 et 0,2 m au cours du XX<sup>e</sup> siècle et que son élévation annoncée se situera entre 0,09 et 0,88 entre 1990 et 2100<sup>11</sup>. Mais les particularités régionales doivent aussi être prises en compte. D'une part, dans la Méditerranée, l'augmentation du niveau de la mer devrait être contrebalancée par une réduction de l'apport d'eau douce (consécutif à la réduction des précipitations) et par conséquent une réduction de la densité de l'eau de mer<sup>12</sup>. Mais d'autre part, les deltas, les îles, les marais côtiers et les estuaires sont parmi les environnements les plus menacés en Europe<sup>13</sup>. L'amplitude des marées est aussi un facteur important, avec une sensibilité accrue pour les zones à faible marée. La Méditerranée est un exemple typique de zone à faible marée, ce qui suggère que sa vulnérabilité pourrait être exacerbée<sup>14</sup>.

L'élévation du niveau de la mer due à la conjonction des mécanismes locaux et globaux conduit à une augmentation nette du niveau de la mer à Venise. Récemment, la fréquence et les destructions des inondations dans cette ville unique ont augmenté significativement et parmi les dix

marées les plus fortes entre 1902 et 2003, huit ont eu lieu depuis 1960<sup>15</sup>. En ce qui concerne les projections futures, d'après des scénarii de changement climatique modéré, l'affaissement net de Venise pourrait atteindre 54 cm d'ici à 2100. Par conséquent, si rien n'est fait, Venise pourrait être inondée quotidiennement.

Les solutions à apporter à ce problème constituent l'objet d'un débat toujours en cours<sup>16,17</sup>. Prenant acte que (1) des approches de gestion dynamique qui font intervenir des mécanismes naturels pour contrebalancer l'augmentation du niveau de la mer plutôt que mettre en place des digues en dur<sup>18</sup> et (2) le développement de mesures adaptées qui devraient prendre en compte les défis posés par l'environnement dans Venise et sa lagune, le Gouvernement italien a finalement choisi la mise en place de barrières mobiles (appelées MOSE pour Modulo Sperimentale Elettromeccanico, ou module expérimental électromécanique) pour défendre la ville de Venise des hautes eaux. Les travaux sont en cours pour la protection de la place Saint-Marc et la construction de brisants pour l'entrée d'eau de Malamocco<sup>19</sup>.

11. GIEC, 2001, GT1, op. cit. Résumé à l'intention des décideurs.

12. M.N. Tsimplis et T.F. Baker, 2000, *Sea Level Drop in the Mediterranean Sea: An Indicator of Deep Water Salinity and Temperature Changes?* Geophysical Research Letters, 27, pp. 1731-1734.

13. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 13.2.1.3.

14. R.J. Nicholls et N. Mimura, 1998, *Regional Issues Raised by Sea-Level Rise and their Policy Implications*, Climate Research, 11, pp. 5-18.

15. M. Chown, 2004, *New Scientist*, 25 December 2005, 77. <http://www.veniceinperil.org/news/news.asp?id=52>

16. E.C. Penning-Rowsell, C.H. Green, P.M. Thompson, A.M. Coker, S.M. Tunstall, C. Richards et D.J. Perker, 1992, *The Economics of Coastal Management: A Manual of Benefit Assessment Techniques*, Belhaven Press, Londres, Royaume-Uni.

17. Consorzio Venezia Nuova, 1997, *Measures for the Protection of Venice and its Lagoon*, Consorzio Venezia Nuova (concession du Ministère italien des travaux publics, Autorité de gestion de l'eau de Venise), Venise, Italie.

18. A. Sanchez-Arcilla, J. Jimenez et H.I. Valdemoro, 1998, *The Ebro Delta: Morphodynamics and Vulnerability*, Journal of Coastal Research, 14, pp. 754-772.

19. Cambridge University et Churchill College (Cambridge, Royaume-Uni) en association avec le Consortium for Co-ordination of Research Concerning the Venice Lagoon System (Corila) sous l'initiative du Fonds « Venice in Peril » (Comité britannique pour la conservation de Venise) <http://ccru.geog.cam.ac.uk/research/projects/venice2003/background.html>

# Centres historiques de Český Krumlov et Prague

République tchèque

72

**Le Centre historique de Prague fut inscrit sur la Liste du patrimoine mondial sous des critères culturels en 1992. La vieille ville a été construite entre les XI<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles. La ville basse et la partie moderne illustrent les influences architecturales et culturelles dont a bénéficié la ville depuis le Moyen Âge. Les monuments les plus magnifiques, tels que le château Hradčani, la cathédrale Saint-Vitus, le pont Charles et de nombreuses églises et palais, furent construits au cours du XIV<sup>e</sup> siècle sous le saint empereur romain Charles IV.**

En 1992, le Comité du patrimoine mondial décida d'inscrire aussi le Centre historique de Český Krumlov, une ville tchèque au sud de Prague. Située sur les berges de la rivière Vltava, la ville est construite autour d'un château du XIII<sup>e</sup> siècle incluant des éléments gothiques, Renaissance et baroques. Elle constitue un exemple exceptionnel de petite ville médiévale d'Europe centrale dont le patrimoine architectural est demeuré intact grâce à son évolution pacifique durant plus de cinq siècles.

Mais ce site est exposé aux catastrophes naturelles telles que les inondations intenses qui ont touché l'Europe de l'Est au cours de l'été 2002. Les sites du patrimoine mondial des centres historiques de Prague et de Český Krumlov ont subi des dommages significatifs lors de ces événements.

À Prague, certains bâtiments furent recouverts de près de 2 mètres d'eau et beaucoup de bâtiments détrempés se sont effondrés. À

Český Krumlov, le centre historique était inondé de près de 4 mètres d'eau dans environ 150 bâtiments des périodes médiévale, gothique et Renaissance qui ont souffert considérablement. Ce n'est que la préférence des bâtisseurs médiévaux tchèques de cette région pour la pierre, les briques et la chaux, plutôt que le bois ou la terre, qui a permis d'éviter des dommages encore plus importants.

Les plus grands défis dans le rétablissement suite à ces inondations concernaient l'assèchement des murs et structures saturés d'eau avant que le gel hivernal ne crée plus de dégâts. Conserver l'authenticité du site après les inondations s'est avéré difficile à cause de plusieurs pressions pour remplacer des éléments historiques par des matériaux modernes supposés plus résistants aux inondations.

Dans une certaine mesure ces inondations peuvent être mises en relation avec le changement climatique. Le GIEC annonce qu'il est très probable que la moyenne des précipitations





*Le Centre historique de Český Krumlov.*

*Le Centre historique de Prague a été exposé à des inondations catastrophiques par le passé, et l'évolution future des précipitations doit être prise en compte dans la conception de défenses contre les inondations et dans les plans de gestion.*

ait augmenté de 0,5 à 1 % par décennie au cours du XX<sup>e</sup> siècle à travers la majeure partie des latitudes tempérées et des zones continentales de l'hémisphère Nord. Aussi la fréquence des précipitations intenses a augmenté de près de 2 % à 4 % au cours de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle dans ces régions<sup>20</sup>. L'estimation précise des précipitations intenses, localisées et de courte durée reste difficile pour les modèles climatiques, même si des améliorations significatives sont attendues dans les années à venir<sup>21</sup>.

Prenant acte que (1) le GIEC nous met en garde devant une fréquence accrue des précipitations intenses dans la plupart des régions du monde<sup>22</sup> et que (2) les sites du patrimoine mondial en République tchèque se sont trouvés

particulièrement exposés par le passé, il est temps à présent de mettre en œuvre des réponses appropriées.

Les mesures prises dans l'urgence en 2002 ont pu protéger ces sites de dommages plus importants. Mais un changement stratégique d'une approche réactive à une approche proactive (et préventive) est nécessaire. La maintenance régulière des sites porte plus de fruits que des interventions ponctuelles, et des analyses de risques solides incluant des éléments de gestion faciliteraient grandement la conservation de tels sites. C'est pourquoi le Gouvernement tchèque est actuellement en train de renforcer les mesures de protection contre les inondations de ces sites du patrimoine mondial.

20. GIEC, 2001, GT1, op. cit., Résumé à l'intention des décideurs.

21. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 4.3.8.

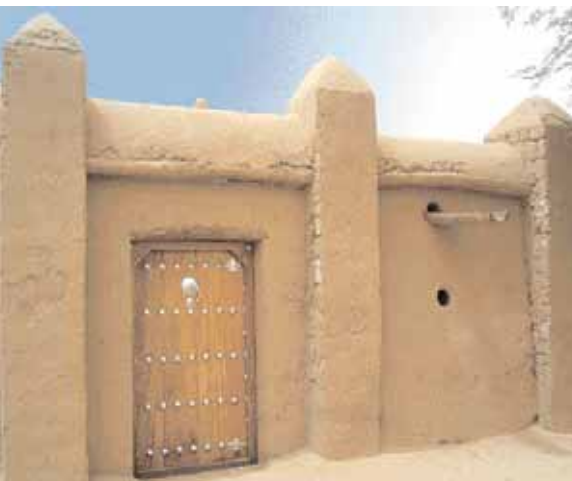
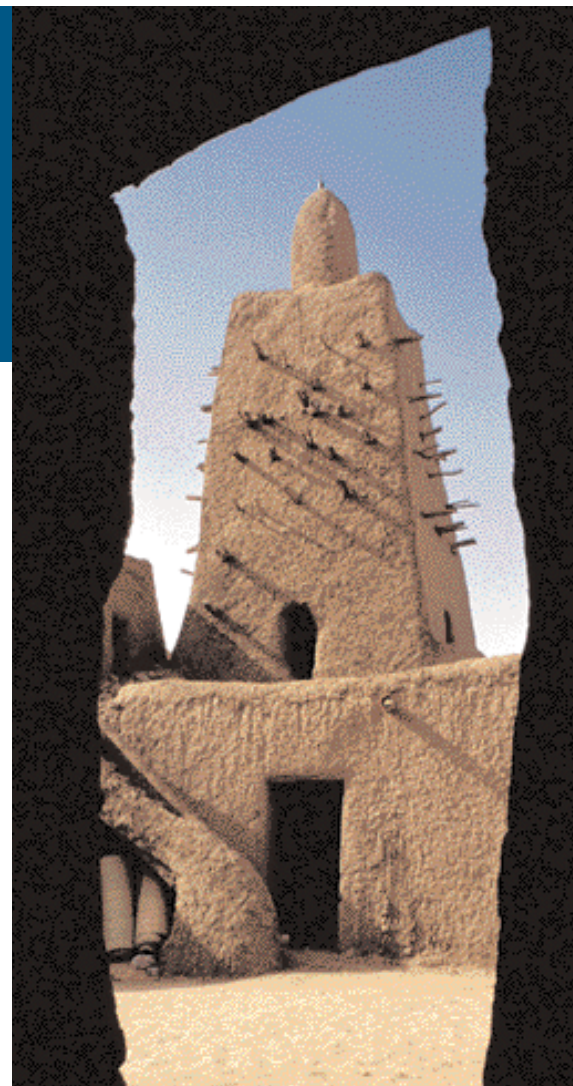
22. GIEC, 2001, GT1, op. cit., Résumé à l'intention des décideurs.



Hébergeant la prestigieuse Université coranique Sankoré et d'autres medersas, Tombouctou était une capitale intellectuelle et spirituelle, et un centre de propagation de l'islam à travers l'Afrique du XV<sup>e</sup> et du XVI<sup>e</sup> siècle. Les trois grandes mosquées de Djingareyber, Sankoré et Sidi Yahia nous remémorent l'âge d'or de Tombouctou et furent, dès lors, inscrites en 1988 sur la Liste du patrimoine mondial. Mais, aujourd'hui, la désertification menace ce site du patrimoine mondial.

La Convention des Nations Unies contre la désertification (UNCCD) définit la désertification comme la dégradation des zones arides, semi-arides et sèches subhumides résultant de divers facteurs dont la variabilité climatique et les activités humaines<sup>23</sup>. On estime que la désertification en Afrique a récemment réduit de 25 % la productivité végétale potentielle de plus de 7 millions de kilomètres carrés, soit un quart de la surface du continent<sup>24</sup>.

La désertification exerce aussi une pression importante sur les mosquées de Tombouctou. Par le passé, les murs de la mosquée de Sankoré étaient relevés continuellement pour se prémunir de l'ensablement. Par conséquent une différence de 1m est observée entre le mur actuel et celui de 1952. Cette menace de l'ensablement a motivé l'inscription de Tombouctou sur la Liste du patrimoine mondial en péril entre 1990 et 2005 et un programme spécifique fut mis en place pour sauvegarder le site.



*La menace de l'ensablement de la mosquée Sankoré a justifié l'inscription de Tombouctou sur la Liste du patrimoine mondial en péril. Traditionnellement, les murs étaient continuellement relevés pour compenser l'ensablement, on voit ici la différence entre les gouttières de 1952 et celles d'aujourd'hui.*

L'identification des facteurs conduisant à la désertification de la région de Tombouctou reste l'objet d'un débat d'experts. Comme dans d'autres endroits du monde, l'importance relative des changements climatiques et des changements liés aux facteurs humains locaux reste inconnue<sup>25</sup>. Certains scientifiques estiment que les activités anthropogéniques dominent les facteurs climatiques alors que d'autres avancent que les sécheresses prolongées restent le facteur principal. Aussi il est nécessaire de mentionner la rétroaction entre le changement climatique et la désertification car la dégradation des terres a un impact significatif sur le climat.

23. Organisation des Nations Unies, 1994, Convention des Nations Unies contre la désertification (UNCCD). Document de l'Organisation des Nations Unies No. A/AC.241/27, New York, États-Unis, 58 pp.

24. PNUE, 1997, World Atlas of Desertification, 2nd ed. Programme des Nations Unies pour l'environnement, E. Arnold, Londres, Royaume-Uni, 69 pp.

25. GIEC, 2001, GT2, op. cit., Chapitre 10.2.6.



*Djingareyber est la plus grande et la plus complexe des mosquées de Tombouctou.*

*La restauration des anciennes mosquées de Tombouctou a été conduite par des artisans locaux en suivant les pratiques traditionnelles.*



Autour des mosquées de Tombouctou, les influences anthropiques ne peuvent pas être négligées en particulier à cause de pratiques traditionnelles telles que le renouvellement du sable fin à l'intérieur des habitations en préparation des fêtes saintes. Cependant le changement climatique joue aussi un rôle important. Entre 1901 et 1996, la température a augmenté de 1,4°C dans cette région, et l'impact des sécheresses devient significatif. Les changements annoncés montrent qu'à l'avenir la région devra faire face à une baisse des précipitations moyennes et une augmentation de la température, ce qui favorisera certainement l'empiétement du désert et les dégâts causés par le sable à Tombouctou.

Les précipitations extrêmes constituent un autre élément climatique qui doit être pris en compte. Lors des dernières années, les mosquées de terre de Tombouctou ont souffert de sérieux dommages induits par les pluies intenses de 1999, 2001 et 2003 qui ont conduit à l'effondrement des bâtiments traditionnels en argile, et ont aussi causé l'effondrement de bâtiments plus récents. La modélisation de l'évolution des régimes de précipitations intenses dans la région du Sahel est un véritable défi. Néanmoins, l'impact potentiel de tels événements sur la conservation de ce site unique souligne le besoin de répondre à cette question importante.

Plusieurs mesures furent mises en place pour protéger la ville de Tombouctou de ces impacts :

- restauration des mosquées et des maisons endommagées,
- déblaiement du sable au voisinage des mosquées,
- mise en place de zones tampons pour protéger les mosquées de l'ensablement,
- amélioration du système d'évacuation des eaux de pluie.

Ces actions furent conduites en s'assurant de la collaboration et de la participation active de toutes les parties prenantes (imams, Ville de Tombouctou, Mission culturelle de Tombouctou, etc.). Un aspect important de ce projet concernait l'implication des artisans locaux dans le processus de restauration. Et les leçons apprises lors de ce projet constituent à présent des exemples en termes de bonnes pratiques concernant l'utilisation de méthodes traditionnelles pour protéger le patrimoine culturel face à la menace du changement climatique.

Le succès de ces mesures a conduit le Comité du patrimoine mondial à retirer Tombouctou de la Liste du patrimoine mondial en péril. Cependant la menace émergente du changement climatique impose de pérenniser une surveillance accrue de la bonne conservation de ce site.

# Ouadi Qadisha et (ou Vallée sainte) forêt des cèdres de Dieu (Horsh Arz el-Rab)

Liban

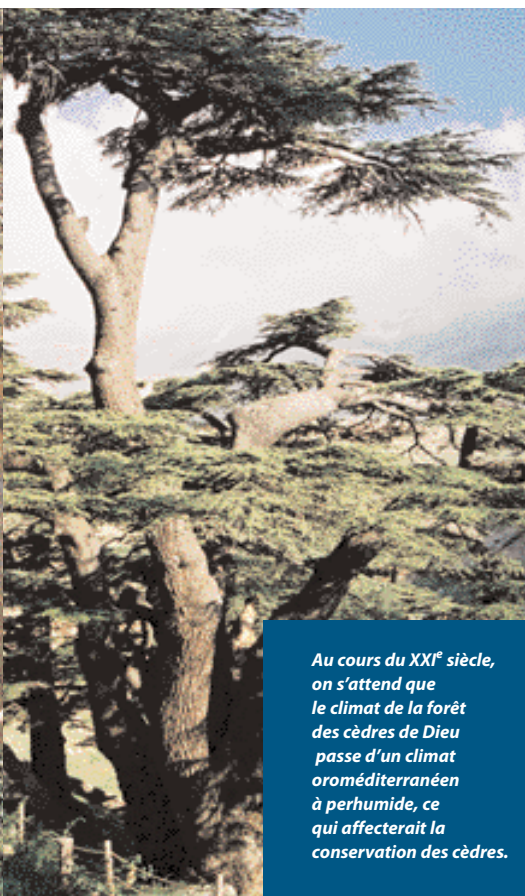
Certains sites du patrimoine mondial furent inscrits sous des critères culturels à cause de caractéristiques naturelles qui leur confèrent une importance culturelle particulière. Par conséquent, si le changement climatique touche ces caractéristiques naturelles, il pourrait aussi mettre à mal leurs valeurs culturelles exceptionnelles.

La Ouadi Qadisha (ou Vallée sainte) est l'une des plus importantes implantations monastiques chrétiennes précoces du monde. Ces monastères, dont plusieurs sont très anciens, s'inscrivent dans un paysage spectaculairement accidenté. Non loin on trouve les restes de la célèbre forêt des cèdres de Dieu du Liban, très recherchés dans l'Antiquité pour la construction de bâtiments religieux. Le cèdre (*Cedrus libani*) était dépeint dans les anciens traités de botanique comme le plus vieil arbre du monde. À cause de sa chair très dure et de son odeur appréciée, il était utilisé pour construire les temples, les palais, et les bateaux des populations locales dont les Phéniciens, les israélites et les premiers chrétiens.





Ouadi Qadisha, Liban.



**Au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, on s'attend que le climat de la forêt des cèdres de Dieu passe d'un climat oroméditerranéen à perhumide, ce qui affecterait la conservation des cèdres.**

Les changements actuels et à venir sur ce site du patrimoine mondial sont plus souvent liés aux effets directs des activités humaines qu'aux tendances climatiques. Cependant on décèle déjà quelques éléments suggérant une tendance à l'assèchement de la région<sup>26,27</sup>, ce qui pourrait menacer la conservation de la forêt des cèdres de Dieu.

Le climat libanais inclut six zones bioclimatiques : aride, semi-aride, subhumide, humide, perhumide et oroméditerranéenne. Des simulations numériques ont été conduites pour analyser le changement climatique à venir au Liban pour les années 2020, 2050 et 2080<sup>28</sup>. Les résultats des modèles indiquent un changement significatif de la proportion respective des zones représentant chaque zone bioclimatique. D'ici à 2080, une nouvelle zone apparaîtra : extrêmement aride. D'autres régions se contracteront : allant d'une réduction de 18 % de la zone humide à une disparition complète de la zone oroméditerranéenne

d'ici à 2050. La zone aride pourrait s'étendre jusqu'à 13,2 % d'ici à 2080<sup>29</sup>.

La vallée de la Qadisha se situe dans les régions perhumide et humide et la forêt des cèdres de Dieu dans la zone oroméditerranéenne. Mais le changement climatique devrait conduire la forêt des cèdres de Dieu à devenir perhumide alors que la partie basse de la vallée de la Qadisha évoluerait vers un climat subhumide.

Ces changements induiront un déplacement des espèces végétales auquel certaines espèces ne survivront pas. On verra aussi un empiètement des espèces invasives aux dépens des plantes locales. Par conséquent, les distributions spatiales, comme la composition et la structure des communautés seront affectées<sup>30</sup>, ce qui pose des questions sérieuses pour la bonne conservation de la forêt des cèdres de Dieu.

26. M. Khawlie, 1999, *Assessment of Lebanon's Vulnerability to Climate Change – Water Resources, première communication nationale sur le changement climatique, Ministère de l'environnement, Liban, PNUD, GEF, B2, pp. 1-39.*

27. M. Khawlie, 2003, *The Impacts of Climate Change on Water Resources of Lebanon – Eastern Mediterranean, in C. Giupponi et M. Shechter (eds.), Climate Change in the Mediterranean – Socio-Economic Perspectives of Impacts, Vulnerability and Adaptation, Edward Edgar Publication, Royaume-Uni, pp. 94-107.*

28. *Ministère de l'environnement, Liban, 1999, Annexe technique à la Première communication nationale sur le changement climatique, Beyrouth, Liban.*

29. S. Safi, 1999, *Assessment of Bioclimatic Change – Lebanon Case Study, Première communication nationale sur le changement climatique, Ministère de l'environnement, Liban, PNUD, GEF, B1, pp. 1-19.*

30. R. Sadek, 1999, *Assessment of Terrestrial Ecosystems to Impacts of Climate Change, première communication nationale sur le changement climatique, Ministère de l'environnement, Liban, PNUD, GEF, B4, pp. 9-38.*

## Crédits photos

- Couverture** *Image satellite des glaciers dans le Bhoutan - Himalaya* © NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, J. Kargel et équipe scientifique ASTER États-Unis/Japon. <http://visibleearth.nasa.gov/>
- p. 11** *Carte du monde* © NASA Goddard Space Flight Center image de Reto Stöckli, Robert Simmon, groupe MODIS Terre; équipe des données MODIS, groupe MODIS atmosphère; groupe MODIS océan; données additionnelles: Centre de données USGS EROS <http://visibleearth.nasa.gov/>
- p. 12** *Évolution des concentrations de CO<sub>2</sub>* © GIEC, 2001
- p. 13 haut** *Évolution passée et projection future des températures* © GIEC, 2001
- p. 13 bas** *Projection de l'augmentation du niveau de la mer* © GIEC, 2001
- p. 17** *Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn* © L. Albrecht / Pro Natura Zentrum Aletsch
- p. 19 haut** *Parc national Sagarmatha, glacier Pattar* © UNESCO / J.M. Gassend
- p. 19 bas** *Parc national Sagarmatha, vallée Pheviche* © UNESCO / J.M. Gassend
- p. 22** *Lac glaciaire de Tsho Rolpa* © P.K. Mool, S.R. Bajracharya et S.P. Joshi, Inventory of glaciers, glacial lakes and glacial lake outburst flood monitoring and early warning systems in the Hindu Kush-Himalayan Region – Nepal. Katmandou, ICIMOD, 2001
- p. 23 haut** *Cordillère Huayhuash en 1936* © Erwin Schneider, avec l'aimable autorisation de Association for Comparative Alpine Research, Munich, Allemagne et Archives d'Alton Byers, The Mountain Institute
- p. 23 bas** *Cordillère Huayhuash en 2003* © A. Byers, The Mountain Institute
- p. 24 haut** *Fjord glacé de l'Ilulissat* © UNESCO dossier d'inscription / J. Lautrup GEUS
- p. 24 bas** *Fonte de la calotte glaciaire du Groenland* © Arctic Climate Impact Assessment, 2004, <http://www.acia.uaf.edu>
- p. 25** *Mont Kilimandjaro* © NASA, J. Williams, NASA Goddard Space Flight Center, Scientific Visualization Studio, USGS et équipe scientifique Landsat 7, <http://veimages.gsfc.nasa.gov>
- p. 26** *Glacier Aletsch en 1979, 1991 et 2002* © L. Albrecht / Pro Natura Zentrum Aletsch
- p. 27** *Eggishorn dans la région de la Jungfrau* © L. Albrecht / Pro Natura Zentrum Aletsch
- p. 29** *La Grande Barrière* © Great Barrier Reef Marine Park Authority
- p. 30** *Blanchissement de corail sur l'île de Keppel* © O. Hoegh-Guldberg, Centre for Marine Studies, University of Queensland, Australie
- p. 31 haut** *La Grande Barrière* © Great Barrier Reef Marine Park Authority
- p. 31 bas** *Évolution des températures de surface de la mer* © O. Hoegh-Guldberg, Centre for Marine Studies, University of Queensland, Australie et A. Timmermann, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Pays-Bas.
- p. 32** *La Grande Barrière* © Great Barrier Reef Marine Park Authority
- p. 36 haut** *Parc national des Sundarbans* © Naymuzzaman Prince <http://www.ebonynivory.net>
- p. 36 bas** *Évolution de l'élévation du niveau de la mer au Bangladesh* © UNEP/GRID Genève, University of Dacca, JRO Munich, Banque mondiale, World Resource Institute, Washington D.C., États-Unis
- p. 37** *Delta du Gange* © USGS EROS Data Center Satellite Systems Branch, NASA Visible Earth <http://visibleearth.nasa.gov/>
- p. 38** *Surveillance du récif corallien du Komodo* © Jones / Shimlock, Secret Sea
- p. 39** *Parc national de Komodo* © J. O'Hare
- p. 41** *Crapaud doré du Panama* © Forrest Brem
- p. 43 haut** *Région florale du Cap* © UNESCO, dossier de nomination / Norman Guy Palmer
- p. 43 centre** *Évolution des températures dans la Région florale du Cap* © South African Weather Service
- p. 43 bas** *Projection de l'impact du changement climatique sur la croissance végétale* © Midgley et al., 2001
- p. 44** *Habitat optimal de Protea laticolor* © American Institute of Biological Sciences, Hannah et al., 2005
- p. 45** *Habitat optimal du biome de fynbos* © G. F. Midgley
- p. 46** *Région des montagnes Bleues, Australie* © Jim Thorsell / Photothèque UICN
- p. 47** *Forêt tempérée d'eucalyptus dans la Région des montagnes Bleues, Australie* © Jim Thorsell / Photothèque UICN



- p. 48-49 *Parc national de l'Ichkeul* © UNESCO / K. Hendili  
 p. 49 haut *Végétation dans la région de l'Ichkeul* © NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, équipe scientifique ASTER, États-Unis/Japon, <http://visibleearth.nasa.gov>  
 p. 49 bas *Évolution des précipitations dans la région de l'Ichkeul* © Rapport sur le suivi scientifique au Parc national de l'Ichkeul, 2004/2005, Agence nationale de protection de l'environnement, Tunisie, 2006
- p. 50 *Tropiques humides de Queensland* © Evergreen  
 p. 51 *Crapaud doré du Panama, parc national Omar Torrijos, El Cope, Panama* © Forrest Brem  
 p. 53 *Lanzón monolithique de Chavín* © Alejandro Balaguer / PromPerú  
 p. 55 haut *Zone archéologique de Chan Chan* © Carolina Castellanos  
 p. 55 bas *Citadelle de Chan Chan, La libertad* © PromPerú  
 p. 56 gauche *Inondation à Chan Chan* © Instituto Nacional de Cultura, Pérou  
 p. 56 droite *Inondation à Chan Chan* © Instituto Nacional de Cultura, Pérou  
 p. 57 *Citadelle de Chan Chan, La Libertad* © Carlos Sala / PromPerú  
 p. 58 gauche *Habitations de baleiniers sur l'île d'Herschel* © Gouvernement du Yukon  
 p. 58 droit *Évolution de la ligne de côte sur l'île d'Herschel* © Gouvernement du Yukon  
 p. 59 *Tombe sur l'île d'Herschel* © Gouvernement du Yukon  
 p. 60 *Déblaiement de la façade de bâtiments à Chavín* © M.G. Moreno  
 p. 61 haut à gauche *Site archéologique de Chavín* © J. Marroquin, Chavín Management Plan  
 p. 61 haut à droite *Chavín de Huántar* © Carlos Sala / PromPerú  
 p. 61 bas *Art précolombien, structure ornementale zoomorphique* © Aníbal Solimano / PromPerú  
 p. 62 *Kurgans et paysages de l'Altai* © Garry Tepfer  
 p. 63 *Montagnes dorées de l'Altai* © Greenpeace / Vadim Kantor  
 p. 65 *Hautes eaux à Venise* © Archivio Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova  
 p. 66 *National Maritime Museum, ancien Royal Navy College vu de l'île Gardens* © Neil Morkunas  
 p. 67 *Tour de Londres* © J. Didon  
 p. 68 bas *Abbaye de Westminster* © UNESCO / Y. Raheem  
 p. 68 droite *Barrière de la Tamise* © UKCIP, 2002  
 p. 68 bas *Fermeture de la barrière de la Tamise* © Thames Estuary, 2100  
 p. 69 *Fréquence des inondations maritimes* © UKCIP 2002 Climate Change Scenarios, financé par Defra, produit par les Centres Tyndall et Hadley pour l'UKCIP  
 p. 70 *Hautes eaux à Venise* © Archivio Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova  
 P. 71 haut *Hautes eaux à Venise* © Mario Fletzer, tratta da PoloEst-Rete telematica della Provincia di Venezia. [www.provincia.venezia.it](http://www.provincia.venezia.it)  
 p. 71 bas *Hautes eaux à Venise* © Archivio Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova  
 p. 72 *Ancien centre municipal et église Tyn, Prague* © 2007 Service d'information de Prague, <http://www.prague-info.cz>  
 p. 73 *Centre historique de Český Krumlov* © CzechTourism  
 p. 74 haut *Mosquée Djingareyber à Tombouctou* © UNESCO / T. Joffroy / CRA Terre-ENSAG  
 p. 74 bas *Mosquée Sankoré à Tombouctou* © A. Ould Sidi  
 p. 75 *Restauration de la mosquée Sankoré* © UNESCO / T. Joffroy / CRA Terre-ENSAG  
 p. 76 *Ouadi Qadisha, monastère* © UNESCO / A. Sidorenko-Dulom  
 p. 77 haut *Cedrus libani* © UNESCO / Bureau de Beyrouth  
 p. 77 bas *Ouadi Qadisha* © UNESCO / V. Dauge

Le climat de notre planète change rapidement, et les activités humaines y contribuent de manière significative, cela fait à présent l'objet d'un large consensus. Le changement climatique est maintenant considéré comme l'un des principaux défis environnementaux auxquels nous aurons à faire face au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.

La *Convention relative à la protection du patrimoine culturel et naturel mondial* adoptée par l'UNESCO en 1972 a vocation à assurer la protection des sites exceptionnels autour du globe et à faire en sorte qu'ils soient transmis intacts aux générations à venir. Mais cette tâche devient un véritable défi alors que le changement climatique fait fondre les glaciers, que les espèces végétales et animales doivent se déplacer hors des zones protégées pour s'adapter à un nouvel environnement, que les parasites se répandent, que les côtes s'érodent face à l'élévation du niveau de la mer, que la fréquence et l'intensité des tempêtes changent, et que la glace polaire disparaît. En effet, les sites du patrimoine mondial sont aussi menacés par ces changements.

Le Centre du patrimoine mondial, en partenariat avec les États parties de la *Convention* et diverses organisations internationales, et sous la direction du Comité du patrimoine mondial, a pris plusieurs initiatives pour protéger les sites du patrimoine mondial et promouvoir leur bonne gestion face au changement climatique : une stratégie spécifique a été approuvée par le Comité du patrimoine mondial en juillet 2006, et un rapport sur la prévision et la gestion des effets du changement climatique sur le patrimoine mondial a été élaboré. Un document de politique générale sur ce sujet a été approuvé par l'Assemblée générale des États parties en 2007.

Ce document présente plusieurs études de cas à partir d'une sélection de sites naturels et culturels du patrimoine mondial afin d'illustrer les impacts du changement climatique d'ores et déjà observés et ceux qui pourraient apparaître à l'avenir. Pour chaque site, les mesures d'adaptation en cours et celles qui sont envisagées sont détaillées afin de donner des pistes de gestion pour chaque situation.



Organisation  
des Nations Unies  
pour l'éducation,  
la science et la culture



Convention du  
patrimoine mondial

**Pour tous renseignements :**  
*Centre du patrimoine mondial*  
**UNESCO**

7, place de Fontenoy  
75352 Paris 07 SP France  
Tél : 33 (0)1 45 68 15 71  
Fax : 33 (0)1 45 68 55 70  
Courriel : [wh-info@unesco.org](mailto:wh-info@unesco.org)  
<http://whc.unesco.org>

Imprimé sur du papier recyclé

