



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



Convention du  
patrimoine mondial



# Les effets du changement climatique sur les récifs coralliens du patrimoine mondial

Une première évaluation  
scientifique mondiale



**Auteurs principaux chargés de la coordination :**

Scott F. Heron<sup>1,2</sup>, C. Mark Eakin<sup>1</sup>, Fanny Douvère<sup>3</sup>

**Auteurs collaborateurs\* :**

Kristen Anderson<sup>4</sup>, Jon C. Day<sup>4</sup>, Erick Geiger<sup>1,2</sup>, Ove Hoegh-Guldberg<sup>5</sup>, Ruben van Hooidonk<sup>6,7</sup>, Terry Hughes<sup>4</sup>, Paul Marshall<sup>8,9</sup>, David Obura<sup>10</sup>

*\*listés par ordre alphabétique*

**Citation suggérée :**

Heron et al. 2017. Les effets du changement climatique sur les récifs coralliens du patrimoine mondial : Une première évaluation scientifique mondiale. Paris, Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO.

Titre original : *Impacts of Climate Change on World Heritage Coral Reefs: A First Global Scientific Assessment.*

© UNESCO, 2017.

CLT-2017/WS/12

L'utilisation ou la reproduction des photos présentées dans cette évaluation n'est autorisée que sous réserve d'en avoir obtenu l'autorisation préalable auprès des titulaires des droits d'auteur.

La présente évaluation a pour objet de présenter l'état le plus récent des connaissances relatif aux effets du changement climatique sur des sites du patrimoine mondial conformément à la décision 40 COM 7 adoptée par le Comité du patrimoine mondial (Istanbul/UNESCO, 2016).

Photo de couverture :

© The Ocean Agency, XL Catlin Seaview Survey, Christophe Bailhache  
*La Grande Barrière, Lizard Island*

© The Ocean Agency, XL Catlin Seaview Survey, Richard Vevers  
*La Grande Barrière*

© NOAA

*Satellite météorologique géostationnaire américain de la prochaine génération vu par un artiste*

<sup>1</sup> Coral Reef Watch, U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration, États-Unis d'Amérique

<sup>2</sup> Global Science & Technology, Inc., États-Unis d'Amérique

<sup>3</sup> Centre du patrimoine mondial, Programme marin, UNESCO, Paris, France

<sup>4</sup> Australian Research Council Centre of Excellence for Coral Reef Studies, James Cook University, Townsville, Australie

<sup>5</sup> Global Change Institute, University of Queensland, Australie

<sup>6</sup> Laboratoire océanographique et météorologique de l'Atlantique de la NOAA, Ocean Chemistry and Ecosystems Division, 4301 Rickenbacker Causeway, Miami, États-Unis d'Amérique.

<sup>7</sup> Cooperative Institute for Marine and Atmospheric Studies, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, États-Unis d'Amérique.

<sup>8</sup> Reef Ecologic, Environmental Consultancy, Australie

<sup>9</sup> The Centre for Biodiversity & Conservation Science, University of Queensland, Australie

<sup>10</sup> Commission de la sauvegarde des espèces de l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN-SSC), Coral Specialist Group et CORDIO Afrique de l'Est

# 1. Les systèmes de récifs coralliens inscrits sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO

Adoptée en 1972, la Convention du patrimoine mondial de l'UNESCO rassemble la communauté internationale autour de la responsabilité commune qui lui incombe de protéger les sites naturels et culturels ayant une valeur universelle exceptionnelle (VUE). À ce jour, 29 sites naturels marins abritant des systèmes de récifs coralliens<sup>a</sup> sont inscrits sur la Liste du patrimoine mondial. Ces récifs d'importance mondiale sont répartis sur l'ensemble de notre planète, notamment sur des sites emblématiques comme l'Aire protégée des Îles Phoenix (Kiribati), la Grande Barrière (Australie), Papahānaumokuākea (États-Unis d'Amérique), le Réseau de réserves du récif de la barrière du Belize (Belize) et le Parc naturel du récif de Tubbataha (Philippines). De par leur caractère unique mondialement reconnu, ils font partie du patrimoine commun de l'humanité.

Les récifs coralliens sont des écosystèmes d'une grande importance écologique et économique que l'on rencontre dans les océans tropicaux et subtropicaux. Bien qu'ils couvrent moins de 0,1 % du plancher océanique, ils servent d'habitat à plus d'un quart de toutes les espèces marines de poissons (en sus de maints autres animaux marins)<sup>1,2</sup>. Nul autre écosystème océanique n'offre une biodiversité intrinsèque aussi riche, comparable à celle des forêts tropicales terrestres. Ces « forêts tropicales des mers » fournissent des services économiques, sociaux et culturels dont on estime la valeur à plus de 1 000 milliards de dollars américains à l'échelle mondiale<sup>3,4</sup>. Ainsi la

a Les systèmes de récifs coralliens utilisés pour les besoins de cette évaluation sont situés dans les limites de sites du patrimoine mondial, mais ne constituent pas nécessairement des éléments conférant une valeur universelle exceptionnelle. On en trouvera la liste complète à l'annexe I.



structure tridimensionnelle complexe des récifs, propice à leur fonction d'habitat, contribue également à protéger les littoraux contre l'érosion et la dégradation en dissipant l'énergie des vagues. Protection du littoral et utilisation humaine (tourisme, loisirs et pêche par exemple) constituent l'essentiel des avantages économiques que les récifs coralliens apportent à plus d'un milliard d'habitants de notre planète.

Malgré l'importance et la valeur des récifs coralliens, la majorité d'entre eux sont gravement menacés par les diverses activités humaines pratiquées dans le monde, notamment le ruissellement agricole, le développement urbain et la surpêche<sup>5</sup>. S'ajoutant à ces menaces locales, l'augmentation de la température des océans a, ces dernières années, décimé les coraux aux quatre coins de la planète. La concentration croissante de dioxyde de carbone dans l'atmosphère liée à l'activité humaine représente aujourd'hui la menace la plus sérieuse pesant sur les récifs coralliens dans le monde, principalement parce que les océans se réchauffent et que, par voie de conséquence, leur taux d'acidification s'accroît.

## 2. Le blanchissement massif des coraux et ses incidences sur le patrimoine mondial

Les coraux sont des animaux vivant en symbiose avec des algues microscopiques ou dinoflagellés (portant le nom de zooxanthelles) qui se développent dans leur tissu. Comme d'autres plantes, ces algues réalisent la photosynthèse. Ce faisant, elles fournissent aux coraux jusqu'à 90 % de l'énergie dont ils ont besoin pour croître<sup>6</sup>. Les coraux peuvent alors édifier leurs squelettes calcaires qui forment la structure tridimensionnelle des récifs et procurer ainsi un abri à plus d'un million d'espèces. Ordinairement bénéfique, cette symbiose peut toutefois devenir nuisible pour les coraux en fonction des contraintes du milieu, telles que changements de température, de luminosité, de salinité et de qualité de l'eau.

Le blanchissement de coraux se produit en réaction à un stress, au cours duquel l'animal corallien expulse ses algues zooxanthelles et laisse voir par transparence son squelette blanc à travers le tissu corallien<sup>7</sup>. Les coraux qui ont subi un blanchissement sont



toujours vivants. Mais, aussi léger que soit le blanchissement, les séquelles sont parfois importantes et peuvent, par exemple, perturber la croissance et la reproduction des coraux. En cas de persistance des conditions de stress durant plusieurs semaines, les coraux risquent de mourir d'inanition ou de maladie. La mortalité des coraux et l'érosion de leur squelette qui en résulte

conduisent à une diminution de la complexité structurelle du système récifal et de sa biodiversité. Outre la perte d'habitat pour les espèces marines tributaires de l'écosystème de récifs, ce processus signifie aussi, pour les communautés humaines qui en dépendent, la disparition de biens et de services écosystémiques qui sont source de nourriture et de revenus et contribuent à la protection côtière.

Le facteur de stress responsable du blanchissement à grande échelle, ou « blanchissement massif », est le stress thermique<sup>8</sup>, associé au changement climatique mondial et exacerbé par une grande variabilité climatique comme les phénomènes El Niño et La Niña. Au cours du siècle écoulé, l'activité humaine a occasionné un accroissement spectaculaire de la concentration de dioxyde de carbone et d'autres gaz retenant la chaleur dans l'atmosphère, qui s'est traduit par une hausse d'environ 1 °C<sup>9</sup> de la température à la surface du globe depuis l'ère préindustrielle<sup>9</sup>. Le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère ayant fait monter la température des océans, les épisodes de stress thermique provoquant le blanchissement des coraux ont augmenté en fréquence et en gravité.

Il suffit que la température de l'eau dépasse de 1 à 2 °C la température à laquelle sont exposés les coraux en conditions normales pour causer leur blanchissement<sup>8</sup>. La tolérance

thermique des coraux varie d'un endroit à l'autre : en effet, au fil du temps (des siècles, si ce n'est des millénaires), ils s'adaptent au milieu local. Cependant, dans le contexte actuel de réchauffement rapide, la plupart des sites coralliens ont déjà subi des températures suffisamment élevées par rapport à celles observées dans le passé pour provoquer un blanchissement, et ce, d'une fréquence et d'une intensité sans précédent<sup>10,11</sup>. Le premier épisode de blanchissement massif de coraux à grande échelle que l'on a recensé remonte à 1983, année où le phénomène El Niño a été très marqué<sup>12</sup>. En 1998-1999, alors que se sont succédés un épisode El Niño extrêmement puissant puis un épisode La Niña d'intensité modérée, un blanchissement massif généralisé est apparu dans les trois grands bassins océaniques (indien, pacifique et atlantique). On s'accorde à considérer qu'il s'agit du premier épisode de blanchissement massif de coraux d'ampleur planétaire<sup>13</sup>. Le second épisode d'ampleur planétaire, survenu en 2010<sup>10,14</sup>, a été associé à un phénomène El Niño de faible intensité. Ces deux premiers épisodes mondiaux ont duré moins d'un an. Le troisième épisode mondial de blanchissement de coraux, en revanche, a débuté en juin 2014, près d'un an avant le phénomène El Niño de 2015-2016, et semble s'être achevé en mai 2017<sup>15,16</sup>. Les épisodes de stress thermique et de blanchissement se propagent dans l'ensemble des océans tropicaux, s'intensifient pendant El Niño, puis se prolongent pendant La Niña et au-delà (Figure 1). Les trois années les plus chaudes jamais enregistrées dans le monde ont été 2014, 2015 et 2016<sup>17</sup>. Pour l'heure, la température moyenne de la planète<sup>c</sup> en 2017 est comparable à celle de ces trois années antérieures<sup>18</sup>. Ces conditions extrêmes ont entraîné des épisodes consécutifs de blanchissement sévère, notamment dans l'un des systèmes

« LES ÉPISODES MONDIAUX DE BLANCHISSEMENT SONT RESPONSABLES DU BLANCHISSEMENT SÉVÈRE ET DE LA MORTALITÉ DES CORAUX DANS PLUSIEURS RÉCIFS INSCRITS SUR LA LISTE DU PATRIMOINE MONDIAL PARTOUT DANS LE MONDE. »



© The Ocean Agency, XL Catlin Seaview Survey, Richard Vevers / Christophe Bailhache  
*La Grande Barrière*

b Températures en surface combinant les terres émergées et les océans par rapport à la période de référence 1850-1900.

c Températures en surface combinant les terres émergées et les océans.

de récifs coralliens les plus emblématiques du monde, la zone du site du patrimoine mondial de La Grande Barrière, en 2016<sup>19</sup> et en 2017<sup>20</sup>.

Les trois épisodes mondiaux de blanchissement sont responsables du blanchissement sévère et de la mortalité des coraux dans plusieurs récifs inscrits sur la Liste du patrimoine mondial. Toutefois, la fréquence, l'intensité et la durée de ces épisodes de stress thermique ont augmenté à mesure du réchauffement de la planète, amplifiant dès lors leurs effets sur les récifs coralliens et d'autres systèmes marins dans le monde.

D'autres facteurs mondiaux peuvent aussi accroître la vulnérabilité des coraux au blanchissement en réduisant leur capacité de régénération. Environ 30 % du dioxyde de carbone d'origine anthropique sont absorbés par la surface des océans<sup>21</sup> et entraînent leur acidification. L'acidification de l'océan diminue la capacité des coraux d'édifier leur squelette calcaire et accentue l'érosion biologique et la dissolution des récifs. Les projections montrent qu'à des taux élevés de CO<sub>2</sub>, l'acidification de l'océan provoque l'érosion des récifs. Des éléments de plus en plus nombreux indiquent également que l'intensification des tempêtes aggrave le dépérissement des récifs coralliens. Selon des estimations récentes, la destruction des services fournis par les écosystèmes récifaux à cause du climat représentera près de 500 milliards de dollars américains par an, sinon plus, d'ici à 2100<sup>3,22</sup>. Il y a tout lieu de penser que les personnes les plus touchées seront celles dont la subsistance quotidienne dépend des services que procurent les systèmes récifaux.

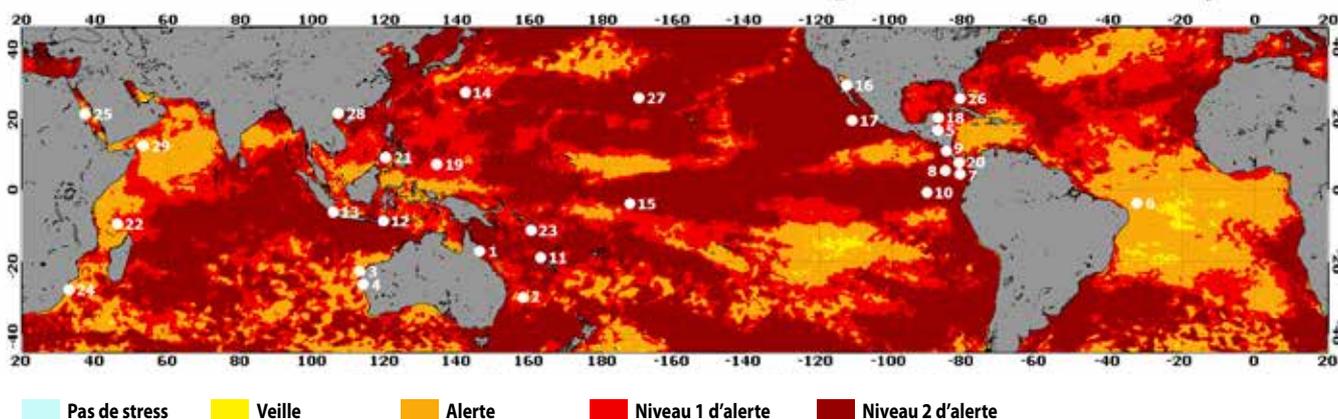
Certains facteurs de stress locaux peuvent affaiblir la résilience des récifs coralliens, c'est-à-dire leur capacité de résister et/ou de se régénérer après des perturbations et de préserver le fonctionnement de l'écosystème<sup>23</sup>. La surpêche et la pollution qui concourent à la dégradation de la qualité de l'eau peuvent nuire à la capacité de régénération des coraux après un stress thermique et ralentir le recrutement de nouveaux coraux après un épisode généralisé de mortalité.

Les efforts déployés pour renforcer la résilience en diminuant les pressions anthropiques locales occupent une place centrale dans la conservation du patrimoine mondial et sont un sujet de préoccupation pour le Comité du patrimoine mondial, qui formule des requêtes et des recommandations dans le cadre du processus de rapport sur l'État de conservation prévu par la Convention du patrimoine mondial de 1972. Protéger la valeur universelle exceptionnelle de ces sites exige plus que des capacités locales de gestion, quand bien même elles sont essentielles. Parmi les systèmes de récifs coralliens les mieux gérés du monde, certains ont été fortement affectés par les récents épisodes de blanchissement. Plusieurs systèmes de récifs coralliens inscrits sur la Liste du patrimoine mondial sont, par exemple, exposés à de faibles pressions anthropiques, comme Papahānamokuākea (États-Unis d'Amérique) et l'Atoll d'Aldabra (Seychelles), tandis que d'autres ont investi massivement dans le renforcement de la résilience, comme La Grande Barrière (Australie).

**FIGURE 1** Niveau maximal de stress thermique enregistré durant le troisième épisode mondial de blanchissement de coraux à l'aide des données satellitaires produites par le système Coral Reef Watch de la NOAA. Plus de 70 % des sites de récifs coralliens dans le monde ont été exposés à un stress d'intensité égale au seuil de blanchissement. La majorité d'entre eux y ont été exposés au moins deux fois depuis juin 2014.

La numérotation des sites du patrimoine naturel mondial (points blancs) contenant des récifs correspond à la liste des sites présentée ci-dessous et à l'annexe 1.

**Images satellitaires à 5 km de résolution d'une zone d'alerte au blanchissement de coraux fournies par le système Coral Reef Watch de la NOAA  
Juin 2014 - avril 2017**



n°	Pays	Bien	n°	Pays	Bien
1	Australie	La Grande Barrière	5	Belize	Réseau de réserves du récif de la barrière du Belize
2	Australie	Îles Lord Howe	6	Brésil	Îles atlantiques brésiliennes : les Réserves de Fernando de Noronha et de l'atol das Rocas
3	Australie	Côte de Ningaloo	7	Colombie	Sanctuaire de faune et de flore de Malpelo
4	Australie	Baie Shark, Australie occidentale			

n°	Pays	Bien
8	Costa Rica	Zone de conservation de Guanacaste
9	Costa Rica	Parc national de l'île Cocos
10	Équateur	Îles Galápagos
11	France	Lagons de Nouvelle-Calédonie : diversité récifale et écosystèmes associés
12	Indonésie	Parc national de Komodo
13	Indonésie	Parc national de Ujung Kulon
14	Japon	Îles d'Ogasawara
15	Kiribati	Aire protégée des îles Phoenix
16	Mexique	Îles et aires protégées du Golfe de Californie
17	Mexique	Archipel de Revillagigedo
18	Mexique	Sian Ka'an
19	Palaos	Lagon sud des îles Chelbacheb

n°	Pays	Bien
20	Panama	Parc national de Coiba et sa zone spéciale de protection marine
21	Philippines	Parc naturel du récif de Tubbataha
22	Seychelles	Atoll d'Aldabra
23	Îles Salomon	Rennell Est
24	Afrique du Sud	Parc de la zone humide d'Simangaliso
25	Soudan	Parc national marin de Sanganeb et Parc national marin de la baie de Dungonab – île de Mukkawar
26	États-Unis d'Amérique	Parc national des Everglades
27	États-Unis d'Amérique	Papahānaumokuākea
28	Viet Nam	Baie d'Ha-Long
29	Yémen	Archipel de Socotra

### 3. Stress thermique et fréquence de blanchissement observés sur des sites du patrimoine mondial contenant des récifs



© The Ocean Agency, XL Catlin Seaview Survey, Christophe Bailhache, Parc national de Komodo

« PRÈS DE LA MOITIÉ DES SITES DU PATRIMOINE MONDIAL CONTENANT DES RÉCIFS CORALLIENS ONT CONNU PLUS DE DEUX ÉPISODES DE BLANCHISSEMENT DÛS À UN STRESS PAR DÉCENNIE ENTRE 1985 ET 2013. SUR 29 SITES, 25 ONT CONNU UN ÉPISODE DE BLANCHISSEMENT DÛ À UN STRESS AU COURS DES TROIS DERNIÈRES ANNÉES. »

Pendant plus de vingt ans, l'analyse des données de température de la surface de l'océan enregistrées par les satellites a fourni, en temps quasi réel, un aperçu des conditions qui provoquent le blanchissement des coraux récifaux<sup>24</sup>. Grâce aux relevés de température produits depuis 1985 par les satellites, plus de trente années de données sont disponibles pour cette évaluation et permettent de dresser un bilan du stress thermique subi par les récifs du patrimoine mondial.

Le stress à l'origine du blanchissement de 29 sites naturels contenant des récifs qui sont inscrits sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO a été étudié pour des épisodes de stress thermique anciens (1985-2013) et récents (mi 2014-mi

2017) en s'appuyant sur des études de publication récente<sup>10</sup> et sur des données nouvellement établies<sup>25</sup> provenant du système Coral Reef Watch de la NOAA (National Ocean and Atmospheric Administration) aux États-Unis. La période récente, qui va de mi-2014 à mi-2017, correspond au troisième épisode mondial de blanchissement de coraux mentionné dans le paragraphe 2. Le risque de blanchissement a été calculé à l'aide d'un indicateur de l'accumulation du stress thermique, appelé Degree Heating Week (DHW), qui mesure l'anomalie hebdomadaire de température. Les seuils de température correspondant à l'apparition du blanchissement (DHW de 4 °C-semaines) et au blanchissement sévère (8 °C-semaines) sont bien établis et reposent sur des données satellites<sup>24</sup> ; ces seuils ont été utilisés, pendant plus de dix ans, pour modéliser les effets du blanchissement selon des scénarios d'évolution future du climat. Le système Coral Reef Watch définit des zones régionales ou « Regional Virtual Stations<sup>26</sup> » (c'est-à-dire des stations virtuelles, dont plusieurs coïncident étroitement avec des sites du patrimoine mondial) et calcule, pour chacune d'elles, le stress thermique subi par les 10 % de récifs les plus chauds (c'est-à-dire le 90e percentile). Chaque année, le pic de stress thermique enregistré sur l'ensemble des valeurs relatives à un site est comparé avec les seuils DHW afin de mettre en évidence les épisodes de stress d'intensité égale au seuil de blanchissement et au blanchissement sévère. Il est à noter que les épisodes de dépassement du seuil de stress sévère (DHW ≥ 8 °C-semaines) sont aussi comptabilisés comme des épisodes de dépassement du seuil d'apparition du blanchissement (DHW ≥ 4 °C-semaines).

De manière générale, il faut entre 15 et 25 ans au minimum aux communautés coralliennes pour se régénérer après des cyclones destructeurs et des épisodes de blanchissement massif<sup>7</sup>. Si les épisodes de mortalité massive deviennent de plus en plus fréquents et se reproduisent avant que la régénération naturelle des récifs n'ait eu le temps de s'opérer, la couverture corallienne des récifs sera en recul. On a donc calculé, pour chaque site du patrimoine mondial contenant

des récifs (Tableau 1), la fréquence des épisodes de stress ayant respectivement atteint ou dépassé les seuils de DHW de 4 °C et de 8 °C-semaines pour déterminer si la fréquence de blanchissement était supérieure au taux de régénération dans le meilleur des cas.

Il ressort de cette analyse que, **depuis quelques années, les sites du patrimoine mondial abritant des récifs coralliens sont de plus en plus souvent exposés à un stress thermique. Près de la moitié (13) des 29 sites récifaux inscrits sur la Liste du patrimoine mondial ont été, en moyenne, touchés par plus de deux épisodes de stress thermique ayant causé le blanchissement de coraux entre 1985 et 2013** (Tableau 1a, rouge ou rouge foncé). Six autres sites ont connu au moins un épisode de stress thermique en 10 ans (orange) et deux sites ont été dans ce cas en 20 ans (jaune). La fréquence d'exposition est inférieure à 20 ans sur 8 sites (vert). Sur ces derniers sites, **seuls 3 ont été épargnés durant la période étudiée : le Parc national de Ujung Kulon (Indonésie), le Parc de la zone humide d'iSimangaliso (Afrique du Sud) et l'Archipel de Socotra (Yémen)**. Huit récifs du patrimoine mondial (28 %) ont subi plusieurs épisodes de stress thermique provoquant un blanchissement sévère par décennie (Tableau 1b, rouge ou rouge foncé).

Les épisodes récents de stress thermique (mi-2014 à mi-2017, c'est-à-dire au cours du troisième épisode mondial de blanchissement de coraux) ont été classés en fonction de leur nombre et de leur intensité, comme pour la période allant de 1985 à 2013. La classification par couleur fait clairement ressortir l'amplification des effets de chaque épisode sévère, mais aussi l'effet cumulatif des épisodes récurrents de stress, même de faible intensité. Le degré de sévérité maximale (rouge foncé) s'applique aux sites ayant enregistré trois épisodes de stress correspondant au seuil de blanchissement (exposition annuelle à  $DHW \geq 4$  °C-semaines, Tableau 1c) ou au moins deux épisodes de stress sévère ( $DHW \geq 8$  °C-semaines, Tableau 1d) en trois ans. Le niveau de stress thermique immédiatement inférieur (rouge) concerne des sites qui ont été exposés à deux épisodes de stress correspondant au seuil de blanchissement (Tableau 1c). La troisième catégorie (orange) s'applique aux sites exposés à un seul épisode de stress sévère en trois ans, tandis que les sites n'ayant subi qu'un seul épisode de stress correspondant au seuil de blanchissement sont classés dans la catégorie jaune. Enfin, dans la dernière catégorie (vert), figurent les sites épargnés par un épisode de stress correspondant au seuil de blanchissement.

**70 % des sites récifaux du patrimoine mondial (21 sur 29) ont été soumis à un stress thermique sévère ou répété durant les trois dernières années.** Au cours des trois années (mi-2014 à mi-2017) que couvre l'épisode actuel de blanchissement d'ampleur planétaire, 18 récifs du patrimoine mondial (62 %) ont été classés dans la catégorie d'intensité maximale (rouge foncé) pour un ou pour les deux niveaux de stress (Tableau 1c, d). Trois autres sites ont été exposés à un épisode récurrent de stress avec blanchissement (rouge) ou à un épisode unique de stress sévère (orange). Ces données illustrent l'ampleur des effets produits sur les récifs coralliens durant cette période où la planète a affiché des records de température pendant trois années consécutives (2014, 2015 et 2016) et montrent l'accroissement de la fréquence de blanchissement par rapport aux décennies précédentes. Seuls quatre sites (14 %) ont été épargnés par le blanchissement dû au stress thermique au cours de ces trois dernières années : les Îles atlantiques brésiliennes : les Réserves de Fernando de Noronha et de l'atol das Rocas (Brésil), le Parc de la zone humide d'iSimangaliso (Afrique du Sud), le Parc national marin de Sanganeb et le Parc national marin de la baie de Dungonab – île de Mukkawar (Soudan) et l'Archipel de Socotra (Yémen).

Des observations du blanchissement sur le long terme sont disponibles pour plusieurs récifs du patrimoine mondial. Elles concernent un certain nombre de récifs sélectionnés sur chaque site et révèlent l'ampleur du phénomène. Cinq récifs du patrimoine mondial ayant fait l'objet d'observations régulières durant une grande partie des quarante dernières années<sup>27</sup> ont été répertoriés (Tableau 2). Pour chaque site et chaque épisode de blanchissement, un classement du degré de sévérité du blanchissement est indiqué : modéré (< 30 % des récifs affectés par un blanchissement) ou sévère ( $\geq 30$  %). Ces données ont servi de base pour calculer la fréquence du blanchissement observé (blanchissement cumulé modéré ou sévère, blanchissement sévère uniquement).

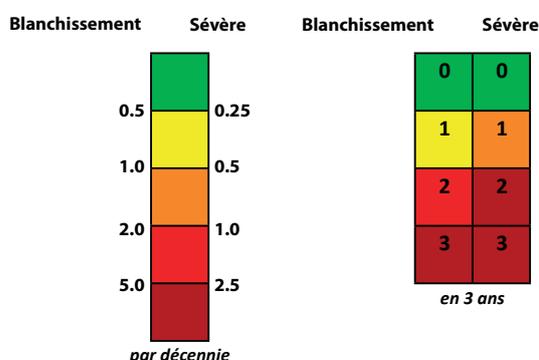
Ces observations montrent, en outre, une augmentation de la fréquence du phénomène ces dernières années par rapport aux décennies précédentes, en pleine concordance avec les résultats fournis par les données satellites sur les épisodes anciens et récents de stress thermique qui ont été présentés ci-dessus. **La mortalité corallienne enregistrée durant le troisième épisode mondial de blanchissement est l'une des pires jamais observées, y compris sur des récifs du patrimoine mondial, comme La Grande Barrière (Australie), Papahānaumokuākea (États-Unis d'Amérique) et l'Atoll d'Aldabra (Seychelles).**

**TABLEAU 1** Fréquence (par décennie) des épisodes de stress thermique correspondant au seuil de blanchissement (DHW  $\geq 4$  °C-semaines) et au blanchissement sévère (DHW  $\geq 8$  °C-semaines) entre 1985 et 2013 (épisodes anciens) et nombre d'épisodes survenus au cours des trois années comprises entre mi-2014 et mi-2017 (épisodes récents). Il est à noter que les épisodes de dépassement du seuil de stress sévère sont aussi comptabilisés comme des épisodes de dépassement du seuil de blanchissement.

L'explication des catégories de couleur (représentées ci-dessous) est donnée dans le texte.

Site du patrimoine mondial contenant des récifs	Stress ancien		Stress récent	
	(a) #Stress avec blanchissement, par décennie (1985-2013)	(b) #Stress sévère, par décennie (1985-2013)	(c) # Stress avec blanchissement, en 3 ans (mi-2014 à mi-2017)	(d) # Stress sévère, en 3 ans (mi-2014 à mi-2017)
La Grande Barrière	1,7	0,0	3	2
Îles Lord Howe	2,1	1,0	1	0
Côte de Ningaloo	3,1	2,1	2	0
Baie Shark, Australie occidentale	5,9	2,8	3	3
Réseau de réserves du récif de la barrière du Belize	1,7	0,0	3	1
Îles atlantiques brésiliennes : les Réserves de Fernando de Noronha et de l'atol das Rocas	0,3	0,3	0	0
Sanctuaire de faune et de flore de Malpelo	2,1	1,0	2	2
Zone de conservation de Guanacaste	0,3	0,3	3	1
Parc national de l'île Cocos	0,3	0,0	1	0
Îles Galápagos	4,5	3,4	3	3
Lagons de Nouvelle-Calédonie : diversité récifale et écosystèmes associés	2,8	0,0	3	2
Parc national de Komodo	2,4	0,3	3	3
Parc national de Ujung Kulon	0,0	0,0	2	2
Îles d'Ogasawara	3,4	1,0	1	1
Aire protégée des îles Phoenix	4,1	2,8	3	3
Îles et aires protégées du Golfe de Californie	2,8	0,3	3	2
Archipel de Revillagigedo	2,8	1,0	3	3
Sian Ka'an	3,1	0,0	3	3
Lagon sud des îles Chelbacheb	0,7	0,3	1	0
Parc national de Coiba et sa zone spéciale de protection marine	1,0	0,7	2	2
Parc naturel du récif de Tubbataha	0,3	0,0	2	1
Atoll d'Aldabra	0,3	0,0	1	0
Rennell Est	1,4	0,0	3	1
Parc de la zone humide d'Isimangaliso	0,0	0,0	0	0
Parc national marin de Sanganeb et Parc national marin de la baie de Dunganab - île de Mukkawar	1,4	0,0	0	0
Parc national des Everglades	2,4	0,7	3	3
Papahānaumokuākea	0,7	0,0	2	2
Baie d'Ha-Long	1,4	0,0	3	2
Archipel de Socotra	0,0	0,0	0	0

Seuil de stress avec blanchissement correspondant à un DHW de 4 °C-semaines ; seuil de stress avec blanchissement sévère correspondant à un DHW de 8 °C-semaines.





© The Ocean Agency, XL Catlin Seaview Survey, Richard Vevers / Christophe Bailhache / La Grande Barrière

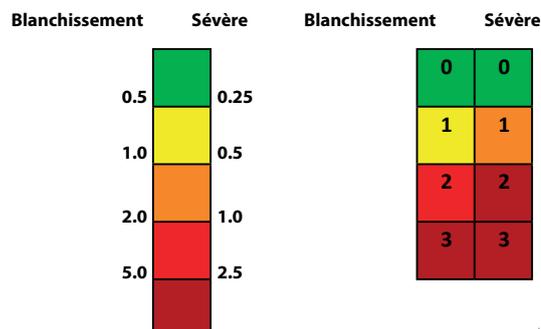
Si les données relatives tant à l'exposition au stress thermique (Tableau 1) qu'aux effets du blanchissement observé (Tableau 2) confirment une amplification généralisée des effets, elles n'en présentent pas moins des différences, en particulier dans la plage des valeurs de stress de faible intensité (4-8 °C-semaines ou faible blanchissement). Les valeurs du stress thermique obtenues par télédétection ne concordent jamais parfaitement avec les mesures du blanchissement sur site. En effet, les zones analysées ne sont pas toujours représentatives de l'ensemble du site en raison de sa taille, comme c'est le cas de Papahānaumokuākea (États-Unis

d'Amérique) et de La Grande Barrière (Australie) qui, de tous les sites du patrimoine mondial, comptent parmi les plus vastes. La sensibilité variable des coraux au stress thermique peut aussi expliquer cet écart. De surcroît, l'analyse en cours ne tient pas compte du moment où se produisent les épisodes étudiés au cours d'une période donnée (par exemple, la façon dont les coraux survivants réagissent à des épisodes consécutifs de stress thermique peut varier d'une année à l'autre) ou d'autres facteurs qui peuvent contribuer à modifier la résilience des coraux et des récifs<sup>23</sup>.

**TABLEAU 2.** Fréquence du blanchissement observé entre 1980 et 2013 et entre mi-2014 et mi-2017 sur cinq sites du patrimoine mondial contenant des récifs. Il est à noter que les épisodes de stress sévère sont aussi comptabilisés comme des épisodes de blanchissement.

L'explication des catégories de couleur (représentées ci-dessous) est donnée dans le texte.

Site du patrimoine mondial contenant des récifs	Blanchissement observé (1980-2013)		Blanchissement observé (mi-2014 – mi-2017)	
	(a) #épisodes de blanchissement par décennie	(b) #épisodes de stress sévère par décennie	(c) #épisodes de blanchissement en 3 ans	(d) # blanchissement sévère en 3 ans
La Grande Barrière	2.1	0.7	2	2
Lagons de Nouvelle-Calédonie : diversité récifale et écosystèmes associés	0.7	0.7	1	1
Aire protégée des îles Phoenix	1.0	0.7	2	2
Atoll d'Aldabra	0.7	0.3	1	1
Papahānamokuākea	0.3	0.3	1	1



## 4. Projections de stress thermique futur sur des sites du patrimoine mondial selon deux scénarios de changement climatique



« DANS LE SCÉNARIO DU STATU QUO, 25 RÉCIFS DU PATRIMOINE MONDIAL SUR 29 CONNAÎTRONT DEUX ÉPISODES DE BLANCHISSEMENT SÉVÈRE PAR DÉCENNIE D'ICI À 2040. UNE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> PERMETTRAIT DE RAMENER LEUR NOMBRE À 14 SITES, VOIRE MOINS. »

Le lien entre les épisodes de blanchissement de coraux et la température des océans peut aussi être appliqué pour la modélisation de projections de température afin d'effectuer des estimations d'un stress potentiel futur. Cela permet d'imaginer ce que l'avenir réserve aux sites du patrimoine mondial abritant des récifs coralliens. Les projections d'exposition à un stress établies selon différentes trajectoires d'émissions de CO<sub>2</sub> (appelées profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP), ou Representative Concentration Pathways<sup>28</sup>), qui sont utilisées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), indiquent les différents effets attendus en fonction du taux de concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère au cours des années à venir. Les estimations futures du stress thermique accumulé sur des sites du patrimoine mondial contenant des récifs sont fondées sur des analyses publiées récemment<sup>29</sup>.

Le dépérissement en est déjà à un stade avancé et s'accélère depuis l'ère préindustrielle à raison d'environ 1 °C<sup>d</sup> de réchauffement moyen<sup>e</sup> de la planète<sup>19</sup>. D'après des analyses récentes, la majorité des récifs coralliens dans le monde

d Températures en surface combinant les terres émergées et les océans par rapport à la période de référence 1850-1900.

e La variation de température des océans tropicaux est habituellement égale aux 2/3 de ces valeurs et diffère d'une région à l'autre. À titre d'exemple, le réchauffement de 0,88 °C constaté entre 1880 et 2015 équivaut à un réchauffement des océans tropicaux égal à 0,57 °C<sup>30</sup>.

subiront une forte dégradation à des niveaux plus élevés de réchauffement<sup>22,31</sup>. Les conclusions des recherches et des publications revues par les pairs<sup>32,33</sup> sont unanimes : la seule chance de préserver les communautés coralliennes sur de nombreux sites récifaux de la planète est de réaliser l'objectif le plus ambitieux de l'Accord de Paris adopté en vertu de la Convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques<sup>34</sup>, appelant à limiter l'élévation de la température moyenne de la planète à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels. En tenant compte de cette situation et des autres facteurs de stress qui existent, on peut calculer l'année marquant l'apparition d'épisodes de stress entraînant un blanchissement sévère de fréquence bi-décennale (soit une fréquence supérieure au temps de régénération des récifs entre deux épisodes de blanchissement), et l'année marquant l'apparition d'épisodes de stress avec blanchissement sévère de fréquence annuelle.

Considérons le stress thermique futur d'après deux scénarios de projection aisément accessibles. Selon le premier scénario, RCP8.5, les émissions de CO<sub>2</sub> (et la température) continueront d'augmenter au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, dans des conditions analogues à celles décrites précédemment dans le scénario du « statu quo » présenté dans les précédentes évaluations du GIEC<sup>28,35</sup>. Dans le second scénario, RCP4.5 les émissions atteindront un pic vers 2040 avant de diminuer<sup>28</sup>, même si, compte tenu de la forte inertie du système climatique, le réchauffement se poursuivra probablement au-delà de cette date, mais à un rythme ralenti. Ces deux scénarios laissent prévoir une augmentation de la température moyenne de la planète d'ici à 2100 respectivement de 4,3 °C et 2,4 °C<sup>f</sup>, c'est-à-dire largement supérieure au niveau de réchauffement (1,5 °C) au-delà duquel on peut s'attendre à un dépérissement important de la grande majorité des récifs coralliens<sup>32</sup>. D'après des estimations récentes, les émissions produites par les pays sont susceptibles d'induire une hausse de la température moyenne de la planète d'environ 3,6 °C d'ici à 2100, tandis que les effets cumulés des promesses formulées par les pays dans l'Accord de Paris devraient se traduire par un réchauffement planétaire d'environ 3 °C<sup>36,37</sup>.

Selon la méthode d'analyse satellitaire, l'exposition à un stress futur correspond à l'année d'apparition d'un épisode de stress, à une fréquence bi-décennale et à une fréquence annuelle, sur au moins 10 % des récifs de chaque site. Il s'agit d'une mesure plus prudente que le délai de 10 à 15 ans nécessaire à la régénération des récifs, mais que les spécialistes de la modélisation utilisent pour tenir compte du moment où certains coraux n'ont plus suffisamment de temps pour se régénérer entre deux épisodes. La gamme de couleurs correspondant à l'exposition à un stress futur (Tableau 3) montre que les récifs coralliens ont une résistance d'autant plus grande

f Températures en surface combinant les terres émergées et les océans par rapport à la période de référence 1850-1900.

que leur exposition à un stress thermique fréquent est tardive, malgré d'inévitables effets négatifs ; la survenue précoce d'un stress futur est indiquée en rouge foncé. Ne sont représentés en vert que les sites où aucun stress n'apparaît avant 2100 dans la modélisation. Afin de pouvoir comparer les deux scénarios, les catégories de couleur correspondent aux mêmes années dans toutes les analyses présentées (2055, 2040 et 2025). Les épisodes de blanchissement sévère observés entre 2014 et 2017 indiquent les effets de dépérissement attendus si le réchauffement provoque un stress avec blanchissement

sévère selon une fréquence bi-décennale et selon une fréquence annuelle.

Les projections réalisées selon le RCP8.5 concordent étroitement avec la trajectoire d'émissions actuelle. **Dans le RCP8.5, l'apparition d'un blanchissement sévère deux fois par décennie concerne 25 récifs du patrimoine mondial sur 29 (86 %) d'ici à 2040 (Tableau 3a, rouge foncé et rouge), quatre de ces sites étant soumis à un stress thermique sévère et fréquent avant 2025 (rouge foncé).**

**TABLEAU 3.** Apparition d'épisodes récurrents de stress thermique causant un blanchissement sévère selon les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) 8.5 et 4.5. Fréquence bi-décennale et fréquence annuelle.  
*L'explication des catégories de couleur (représentées ci-dessous) est donnée dans le texte.*

Site du patrimoine mondial contenant des récifs	Stress sévère futur - RCP4.5		Stress sévère futur - RCP8.5	
	(a) Année prévue - fréquence bi-décennale	(b) Année prévue - fréquence annuelle	(c) Année prévue - fréquence bi-décennale	(d) Année prévue - fréquence annuelle
La Grande Barrière	2035	2044	2041	2051
Îles Lord Howe	2034	2043	2036	2055
Côte de Ningaloo	2041	2049	2052	2074
Baie Shark, Australie occidentale	2038	2047	2045	2074
Réseau de réserves du récif de la barrière du Belize	2028	2036	2036	2044
Îles atlantiques brésiliennes : les Réserves de Fernando de Noronha et de l'atol das Rocas	2028	2039	2035	2049
Sanctuaire de faune et de flore de Malpelo	2038	2050	2056	2077
Zone de conservation de Guanacaste	2019	2032	2028	2036
Parc national de l'île Cocos	2030	2043	2040	2055
Îles Galápagos	2017	2036	2027	2042
Lagons de Nouvelle-Calédonie : diversité récifale et écosystèmes associés	2031	2040	2039	2050
Parc national de Komodo	2017	2025	2021	2032
Parc national de Ujung Kulon	2032	2043	2042	2053
Îles d'Ogasawara	2030	2038	2041	2049
Aire protégée des îles Phoenix	2020	2035	2028	2040
Îles et aires protégées du Golfe de Californie	2044	2052		
Archipel de Revillagigedo	2031	2042	2043	2052
Sian Ka'an	2025	2033	2033	2041
Lagon sud des îles Chelbacheb	2028	2036	2032	2044
Parc national de Coiba et sa zone spéciale de protection marine	2030	2043	2040	2053
Parc naturel du récif de Tubbataha	2030	2039	2037	2048
Atoll d'Aldabra	2028	2036	2034	2042
Rennell Est	2025	2033	2030	2044
Parc de la zone humide d'iSimangaliso	2031	2040	2036	2048
Parc national marin de Sanganeb et Parc national marin de la baie de Dungonab - île de Mukkawar	2037	2046	2055	2069
Parc national des Everglades	2036	2044	2056	2071
Papahānaumokuākea	2029	2041	2044	2052
Baie d'Ha-Long	2077	2086		
Archipel de Socotra	2040	2048	2061	2077

Seuil de stress avec blanchissement sévère correspondant à un DHW de 8 °C-semaines.



Dans le scénario RCP8.5, les sites qui devraient subir un épisode de stress sévère au moins deux fois par décennie au cours des cinq prochaines années sont le Parc national de l'île Cocos (Costa Rica), les Îles Galápagos (Équateur), le Parc national de Komodo (Indonésie) et l'Aire protégée des Îles Phoenix

(Kiribati). Quatre récifs du patrimoine mondial (14 %) ne devraient pas subir de blanchissement massif à une fréquence bi-décennale avant 2040 (orange et jaune) ; néanmoins, **les 29 sites devraient tous y être exposés avant la fin du siècle selon le scénario RCP8.5.** Qui plus est, l'apparition d'un

épisode annuel de blanchissement sévère survient avant la fin du siècle sur l'ensemble des 29 sites selon le scénario RCP8.5 (Tableau 3b) et avant 2040 pour 12 sites (41 %, rouge).

Dans le scénario RCP4.5, les émissions atteignent un pic aux environs de 2040 avant de diminuer. **Le RCP4.5 prévoit l'apparition d'un épisode bi-décennal de blanchissement sévère sur moins de la moitié des sites (14) d'ici à 2040 (Tableau 3c, rouge foncé et rouge).**

Parmi eux, seul le Parc national de Komodo (Indonésie) devrait connaître des épisodes fréquents de stress sévère avant 2025 (rouge foncé). Sur les 15 sites restants, quatre (14 %) seraient dans ce cas après 2055 (jaune) : le Sanctuaire de faune et de flore de Malpelo (Colombie), le Parc national marin de Sanganeb et le Parc national marin de la baie de Dungonab – île de Mukkawar (Soudan), le Parc national des Everglades (États-Unis d'Amérique) et l'Archipel de Socotra (Yémen). Il importe de noter que, dans le RCP4.5, deux récifs du patrimoine mondial (vert) ne connaissent aucun épisode bi-décennal de blanchissement sévère avant 2100 : les Îles et aires protégées du Golfe de Californie (Mexique) et la Baie d'Ha-Long (Viet Nam). Aucun épisode annuel de blanchissement sévère n'est, selon le RCP4.5, attendu avant 2040 sur 27 des 29 (93 %) sites. Y font exception le Parc national de l'île Cocos (Costa Rica) et le Parc national de Komodo (Indonésie) (Tableau 3d, rouge), où l'apparition d'épisodes annuels de stress sévère est prévue après 2025. Dix sites (34 %) devraient être épargnés par des épisodes annuels de blanchissement jusqu'en 2055 et, là encore, les Îles et aires protégées du Golfe de Californie (Mexique) et la Baie d'Ha-Long (Viet Nam) ne devraient connaître aucun épisode de ce genre avant 2100.

Nos résultats peuvent se résumer comme suit. D'après les projections, pour les sites du patrimoine mondial abritant des récifs coralliens, la diminution du stress thermique enregistrée en passant de RCP8.5 à RCP4.5 aura pour effet de :

- ▶ ramener de 25 (68 %) à 14 (48 %) le nombre (pourcentage) de sites susceptibles de subir un blanchissement à une fréquence bi-décennale (ou plus) en 2040 ;
  - ▶ ramener de 12 (41 %) à 2 (7 %) le nombre de sites susceptibles de subir un blanchissement annuel en 2040 ;
- et

- ▶ différer de 2032 à 2044 au plus tôt l'apparition d'épisodes de stress sévère de fréquence bi-décennale, en moyenne sur l'ensemble des 29 sites.

Ces résultats ont de quoi inquiéter. Le scénario RCP4.5, bien qu'étant beaucoup plus optimiste que le RCP8.5, n'empêchera pas le dépérissement significatif des récifs coralliens. Deux sites seulement restent en dessous du seuil de stress thermique avant 2100 (et ce ne sont pas les sites coralliens les plus importants). Toutefois, le RCP4.5 montre que les scénarios de réduction des émissions prolongent de 12 ans en moyenne la période d'exposition à des conditions moins sévères sur l'ensemble des sites. Autrement formulé, le RCP4.5 réduit la proportion de sites qui franchissent le seuil de stress dans des proportions significatives au cours d'une année donnée. Les coraux ont un pouvoir d'adaptation certain, mais que l'on n'a pas encore quantifié avec précision.

Il n'a pas été possible d'appliquer une réduction d'échelle à haute résolution des scénarios d'émissions plus faibles pour cette analyse, mais des prévisions ont été effectuées avec une résolution moins fine. Dans le scénario RCP2.6, les émissions passent par un pic au cours de la décennie actuelle (2010-2020) avant de diminuer sensiblement, laissant prévoir un réchauffement planétaire égal à 1,6 °C, puis égal ou inférieur à 1,5 °C à l'horizon 2100. **D'après le tout dernier rapport du GIEC, la fréquence du blanchissement sévère et de mortalité des coraux diminue fortement selon le scénario RCP2.6 par comparaison à des scénarios d'émissions plus élevées, notamment dans les régions où se trouvent des sites du patrimoine mondial contenant des récifs<sup>31</sup>.**

De l'avis de nombreux scientifiques, un réchauffement de 1,5 °C est le seuil de tolérance des récifs coralliens au-delà duquel leur survie à long terme est menacée<sup>22,32,33</sup> et conduira, en tout état de cause, à la disparition des récifs dans des proportions significatives. De multiples études aboutissent à la conclusion que la régénération des coraux ne pourra s'opérer que si la plage de concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère est ramenée à 320-350 ppm<sup>38,39</sup>.

## 5. Résumé et solutions

Les effets des changements climatiques sur les récifs coralliens se font sentir depuis plus de trente ans sous la forme d'un stress thermique qui provoque le blanchissement et la mortalité des coraux. Les épisodes de blanchissement tendent à se généraliser, augmentent en fréquence et en intensité et ont des incidences majeures sur les récifs coralliens à l'échelle mondiale. D'après les projections, le réchauffement climatique dépassera la capacité de survie des récifs dans les dix à trente prochaines années sur la majorité des sites du patrimoine mondial abritant des récifs coralliens, et les pressions supplémentaires qui s'y ajouteront, comme l'acidification de l'océan et les facteurs de stress locaux, aggraveront ces effets.

Ces trois dernières années, seuls quatre sites du patrimoine mondial contenant des récifs coralliens ont échappé à un épisode de stress thermique d'intensité égale au seuil de blanchissement, tandis que plus des trois-quarts des sites ont été soumis à un stress thermique sévère et/ou répété. La présente étude prévoit que, selon le scénario RCP8.5 (équivalent à un scénario du « statu quo »), 25 récifs du patrimoine mondial sur 29 connaîtront deux épisodes de blanchissement sévère par décennie d'ici à 2040, autrement dit une fréquence qui entraînera une mortalité rapide de la plupart des coraux existants et empêchera la reproduction et, par conséquent, la régénération des coraux survivants. **Tous les sites subiront un blanchissement sévère annuel et ne pourront donc plus servir d'habitat aux écosystèmes de récifs coralliens vivants d'ici la fin du siècle, à moins d'une réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.**

À l'heure actuelle, la moyenne mondiale des concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère est supérieure à 400 ppm et, compte tenu des trajectoires des émissions compatibles avec l'Accord de Paris, un retour en dessous de 350 ppm n'interviendra pas avant le milieu du XXI<sup>e</sup> siècle, voire jamais<sup>40</sup>. L'attention des milieux scientifiques commencent à se porter sur l'évolution de la composition et de la dynamique des récifs, et non plus exclusivement sur les coraux eux-mêmes, même si les émissions de CO<sub>2</sub> sont fortement réduites<sup>30</sup>.

Des trajectoires d'émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère plus faibles donnent aux coraux le temps de s'adapter, et deux possibilités se présentent alors :

- ▶ amélioration des possibilités d'adaptation des coraux par un ralentissement du rythme du réchauffement futur et prolongation de la période de survie avant d'atteindre un seuil critique ; et
- ▶ élargissement des possibilités de recherche et d'élaboration de nouvelles solutions, réduction des facteurs de stress combinés, mise au point de nouveaux modèles de gestion, de nouvelles techniques de régénération et d'innovations dans les secteurs de l'industrie et de la fabrication pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et favoriser le processus de séquestration de façon à éliminer le CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère et dans les couches supérieures de l'océan.



© The Ocean Agency, XL Catlin Seaview Survey, Christophe Bailhache  
La Grande Barrière, Wilson Reef

« LES CAPACITÉS DE GESTION LOCALE SONT DORÉNAVANT INSUFFISANTES POUR ASSURER L'AVENIR DES RÉCIFS CORALLIENS. PROTÉGER LES RÉCIFS DU PATRIMOINE MONDIAL EXIGE DES EFFORTS COMPLÉMENTAIRES AUX NIVEAUX NATIONAL ET MONDIAL POUR LIMITER LE RÉCHAUFFEMENT À 1,5 °C »

Passer du scénario RCP8.5 au scénario RCP4.5 représente une amélioration certes mineure, mais néanmoins réelle. Un scénario d'émissions plus faibles, comme le RCP2.6, serait bien préférable, mais rien ne permet encore d'affirmer avec certitude que cela sera suffisant. À la lumière de ce qui précède, cette évaluation conclut qu'une réduction considérable des émissions de CO<sub>2</sub> est une condition essentielle, sinon la seule solution réaliste, pour donner aux récifs coralliens inscrits sur la Liste du patrimoine mondial une chance de survivre aux changements climatiques.

Jusqu'à présent, la priorité des sites du patrimoine mondial pour maintenir la valeur universelle exceptionnelle de leurs caractéristiques essentielles a été de préserver leur intégrité par des mesures de gestion et des actions sur site et par une législation habilitante au niveau national ou régional. Les efforts visant à rétablir la résilience et limiter les facteurs de stress anthropiques locaux ne suffisent plus, même s'ils restent nécessaires. Une menace planétaire omniprésente, en l'occurrence un stress thermique d'intensité suffisante pour provoquer des phénomènes sévères et fréquents de blanchissement et de mortalité, pèse désormais pour la première fois et si lourdement sur la valeur universelle exceptionnelle des sites du patrimoine mondial que les capacités de gestion locale sont impuissantes à y faire face. La seule solution viable est que tous les pays où se trouvent des récifs coralliens du patrimoine mondial prennent des mesures pour réduire les facteurs de stress, mais aussi pour ramener à zéro leurs émissions de gaz à effet de serre et contribuer

parallèlement à l'élimination active du CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère et dans les couches supérieures de l'océan.

La réduction des émissions de gaz à effet de serre (combinée au piégeage du carbone) ralentit le rythme du réchauffement au cours de ce siècle et fait reculer la date de franchissement du seuil critique. Elle permet aussi la stabilisation à long terme des températures et du stress thermique après 2100. Passer du scénario RCP8.5 au scénario RCP4.5 prolonge de 12 années (en moyenne) la période d'adaptation possible et réduit la proportion de sites exposés à des niveaux de stress sévère au cours d'une année donnée. Ce n'est à l'évidence pas une solution suffisante, ni pour « sauver » les récifs, ni en

soi, mais on ne saurait manquer cette occasion de « **gagner du temps** » pour favoriser l'adaptation naturelle des récifs et la recherche de solutions. **Réduire** davantage encore les émissions, comme le prévoit le scénario RCP2.6, et **respecter l'objectif énoncé dans l'Accord de Paris concernant la nécessité de « contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation des températures à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels »**<sup>32</sup> est la seule possibilité d'empêcher le dépérissement des récifs coralliens à l'échelle mondiale et dans les 29 sites naturels du patrimoine mondial contenant des récifs.

## 6. Recherches complémentaires

Cette analyse fournit une première évaluation scientifique des effets subis par des récifs coralliens du patrimoine mondial dans le passé et des risques auxquels il faut s'attendre dans les décennies à venir selon différents scénarios d'émissions de CO<sub>2</sub>. Des études complémentaires s'imposent pour étayer et compléter l'analyse en vue d'informer le Comité du patrimoine mondial et la communauté internationale dans les domaines suivants :

- ▶ intensifier les efforts de collecte de données historiques et élargir le suivi de l'état des récifs dans tous les sites du patrimoine mondial contenant des récifs coralliens ;
- ▶ améliorer l'analyse des épisodes passés de blanchissement et de stress thermique afin d'évaluer les effets des épisodes consécutifs de stress thermique ou des facteurs locaux responsables d'un affaiblissement de la résilience des récifs ;
- ▶ entreprendre une analyse des projections futures à haute résolution (réduction d'échelle) pour le scénario RCP2.6 comme pour le nouveau scénario RCP1.9, afin de prendre la mesure exacte de ce que l'objectif à long terme énoncé dans l'Accord de Paris implique pour les sites du patrimoine mondial. Selon le RCP2.6, les émissions passent par un pic au cours de la décennie actuelle (2010-2020) avant de diminuer sensiblement, laissant prévoir un réchauffement planétaire égal à 1,6 °C, puis égal ou inférieur à 1,5 °C

à l'horizon 2100<sup>g</sup>. Le RCP1.9 correspond à un profil d'évolution des émissions selon lequel le réchauffement de la planète atteint un pic proche de 1,5 °C, avant de retomber à environ 1,3 °C d'ici à 2100 ;

- ▶ renforcer les capacités de détection des effets exercés sur les coraux avant que des signes visibles de blanchissement n'apparaissent et rechercher des moyens d'atténuer ces effets par des mécanismes physiques ou autres conférant aux coraux leur résistance et leur résilience au blanchissement ;
- ▶ étendre le champ d'étude des effets au-delà des coraux pour y intégrer les effets plus larges du réchauffement et de l'acidification sur des écosystèmes et prendre en compte leur importance socioéconomique ;
- ▶ identifier et protéger les récifs coralliens (inscrits ou non sur la Liste du patrimoine mondial) les plus aptes à survivre aux changements climatiques et les mieux situés pour faciliter la régénération d'autres communautés coralliennes dès la stabilisation des conditions océaniques ; et
- ▶ élaborer des orientations à l'appui de la gestion des récifs du patrimoine mondial face aux changements climatiques et des industries qui sont tributaires des récifs (pour accroître leur capacité d'adaptation sociale).

<sup>g</sup> Températures en surface combinant les terres émergées et les océans par rapport à la période de référence 1850-1900.

## Remerciements

Les auteurs adressent leurs remerciements à Tim Badman (UICN), Sandeep Sengupta (UICN), Michiel Schaeffer et Bill Hare (Climate Analytics) pour leur contribution à la révision de ce document, de même qu'à Nicole Lampe (Resource Media) pour son travail rédactionnel. Les produits issus des données du système Coral Reef Watch de la NOAA proviennent du programme de conservation des récifs coralliens de la NOAA (CRCP, Coral Reef Conservation Program) et du programme de

télé-détection océanique de la NOAA (Ocean Remote Sensing Program). Le contenu de ce document exprime les opinions des seuls auteurs et n'implique aucune affirmation, décision ou prise de position de la part de la NOAA ou du Gouvernement des États-Unis d'Amérique, de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) ou des institutions dont font partie d'autres auteurs.

## ANNEXE 1

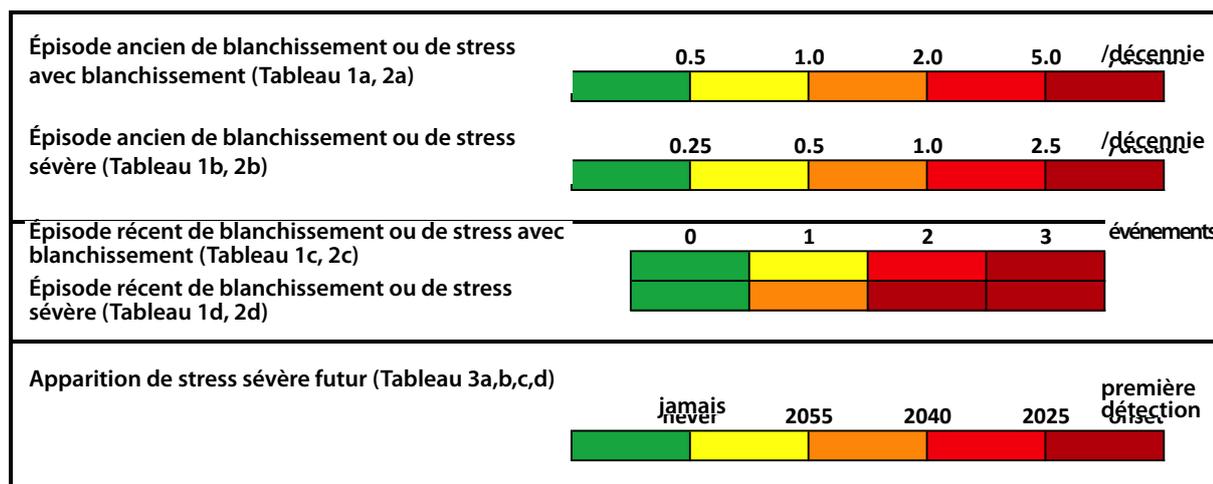
Sites naturels contenant des récifs coralliens qui ont une valeur universelle exceptionnelle et sont inscrits sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO (mars 2017). Leur emplacement est numéroté sur la figure 1<sup>h</sup>

N°	PAYS	BIEN	N°	PAYS	BIEN
1	Australie	La Grande Barrière	16	Mexique	Îles et aires protégées du Golfe de Californie
2	Australie	Îles Lord Howe	17	Mexique	Archipel de Revillagigedo
3	Australie	Côte de Ningaloo	18	Mexique	Sian Ka'an
4	Australie	Baie Shark, Australie occidentale	19	Palaos	Lagon sud des îles Chelbacheb
5	Belize	Réseau de réserves du récif de la barrière du Belize	20	Panama	Parc national de Coiba et sa zone spéciale de protection marine
6	Brésil	Îles atlantiques brésiliennes : les Réserves de Fernando de Noronha et de l'atol das Rocas	21	Philippines	Parc naturel du récif de Tubbataha
7	Colombie	Sanctuaire de faune et de flore de Malpelo	22	Seychelles	Atoll d'Aldabra
8	Costa Rica	Zone de conservation de Guanacaste	23	Îles Salomon	Rennell Est
9	Costa Rica	Parc national de l'île Cocos	24	Afrique du Sud	Parc de la zone humide d'Simangaliso
10	Équateur	Îles Galápagos	25	Soudan	Parc national marin de Sanganeb et Parc national marin de la baie de Dungonab – île de Mukkawar
11	France	Lagons de Nouvelle-Calédonie : diversité récifale et écosystèmes associés	26	États-Unis d'Amérique	Parc national des Everglades
12	Indonésie	Parc national de Komodo	27	États-Unis d'Amérique	Papahānaumokuākea
13	Indonésie	Parc national de Ujung Kulon	28	Viet Nam	Baie d'Ha-Long
14	Japon	Îles d'Ogasawara	29	Yémen	Archipel de Socotra
15	Kiribati	Aire protégée des îles Phoenix			

<sup>h</sup> Une description complète des sites du patrimoine mondial référencés dans cette étude est disponible à l'adresse : <http://whc.unesco.org/fr/programme-marin/>

## ANNEXE 2

Catégories de couleur utilisées pour présenter les données des Tableaux 1, 2 et 3



## ANNEXE 3 - Références

- <sup>1</sup> Spalding MD, Ravilious C, Green EP (2001) *World Atlas of Coral Reefs*. United Nations Environment Programme, World Conservation Monitoring Centre. University of California Press: Berkeley. 416pp.
- <sup>2</sup> Ormond RFG, Roberts CM (1997) The biodiversity of coral reef fishes. In: *Marine Biodiversity Patterns and Processes*. Ormond RFG, Gage JD, Angel MV (eds). Cambridge University Press, Cambridge UK, 449p.
- <sup>3</sup> Hoegh-Guldberg O, et al. (2015) *Reviving the Ocean Economy: the case for action - 2015*. WWF International, Gland, Switzerland., Geneva, 60p.
- <sup>4</sup> Costanza R, et al. (2014) Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26:152-158.
- <sup>5</sup> Burke L, Reynter K, Spalding M, Perry A (2011) *Reefs At Risk Revisited*. World Resources Institute.
- <sup>6</sup> Stanley GD (2006) Photosymbiosis and the evolution of modern coral reefs. *Science* 312:857-858.
- <sup>7</sup> Baker AC, Glynn PW, Riegl B (2008) Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80:435-471.
- <sup>8</sup> Glynn PW, D'Croz L (1990) Experimental evidence for high temperature stress as the cause of El Niño-coincident coral mortality. *Coral Reefs* 8:181-191.
- <sup>9</sup> IPCC AR5 WG1 (2013), Stocker TF, et al. (eds) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group 1 (WG1) Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 5th Assessment Report (AR5)*, Cambridge University Press.
- <sup>10</sup> Heron SF, Maynard J, van Hooidonk R, Eakin CM (2016) Warming Trends and Bleaching Stress of the World's Coral Reefs 1985-2012. *Scientific Reports* 6:38402.
- <sup>11</sup> Donner SD, Rickbell GJM, Heron SF (2017) A new, high-resolution global mass coral bleaching database. *PLoS ONE* 12(4):e0175490. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175490>
- <sup>12</sup> Coffroth MA, Lasker HR, Oliver JK (1989) Coral mortality outside of the eastern Pacific during 1982-83: Relationship to El Niño. In: *Global Ecological Consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation*. Glynn, PW. (ed.). Elsevier.
- <sup>13</sup> Wilkinson CR. (ed.) (2000) *Status of Coral Reefs of the World: 2000*. Australian Institute of Marine Science. 363p.
- <sup>14</sup> Heron SF, Eakin CM, Maynard JA, van Hooidonk R (2016) Impacts and effects of ocean warming on coral reefs. In: Laffoley D, Baxter JM (eds) *Explaining ocean warming: Causes, scale, effects and consequences. Full report*. Gland, Switzerland: IUCN. pp. 177-197.
- <sup>15</sup> Eakin CM, et al. (2016) Global Coral Bleaching 2014-2017? Status and an appeal for observations. *Reef Encounter* 43:20-26.
- <sup>16</sup> Eakin CM, et al. (2017) Ding, Dong, The Witch is Dead (?)—Three Years of Global Coral Bleaching 2014-2017. *Reef Encounter* 45:in press.
- <sup>17</sup> NOAA National Centers for Environmental Information (2017) *State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2016*, published online January 2017, retrieved on June 6, 2017 from <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613>.
- <sup>18</sup> NOAA National Centers for Environmental Information (2017) *State of the Climate: Global Climate Report for April 2017*, published online May 2017, retrieved on June 6, 2017 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201704>.
- <sup>19</sup> Hughes TP, et al. (2017) Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature* 543:373-377.
- <sup>20</sup> Hughes TP, Kerry JT (2017) Back-to-back bleaching has now hit two-thirds of the Great Barrier Reef, *The Conversation*, published online April 12 2017, retrieved on June 6, 2017 from <http://theconversation.com/back-to-back-bleaching-has-now-hit-two-thirds-of-the-great-barrier-reef-76092>.
- <sup>21</sup> Feely RA, et al. (2012) Decadal changes in the aragonite and calcite saturation state of the Pacific Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 26:GB3001.
- <sup>22</sup> Gattuso J-P, et al. (2015) Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions scenarios. *Science* 349:aac4722. doi: 10.1126/science.aac4722
- <sup>23</sup> Anthony KRN, et al. (2015) Operationalizing resilience for adaptive coral reef management under global environmental change marine conservation. *Global Change Biology* 21:48-61.
- <sup>24</sup> Liu G, et al. (2014) Reef-scale thermal stress monitoring of coral ecosystems: new 5-km global products from NOAA Coral Reef Watch. *Remote Sensing* 6:11579-11606.
- <sup>25</sup> Liu G, et al. (2017) NOAA Coral Reef Watch's 5km Satellite Coral Bleaching Heat Stress Monitoring Product Suite Version 3 and Four-Month Outlook Version 4. *Reef Encounter* 45:in press.
- <sup>26</sup> Heron SF, et al. (2016) Validation of reef-scale thermal stress satellite products for coral bleaching monitoring. *Remote Sensing* 8:59, doi:10.3390/rs8010059.
- <sup>27</sup> Hughes TP, et al. (2017) Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science* (in review).
- <sup>28</sup> van Vuuren DP, et al. (2011) The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109:5-31.
- <sup>29</sup> van Hooidonk R, et al. (2016) Local-scale projections of coral reef futures and implications of the Paris Agreement. *Scientific Reports* 6:39666.
- <sup>30</sup> Hughes TP, et al. (2017) Coral reefs in the Anthropocene. *Nature* 546:82-90.
- <sup>31</sup> Hoegh-Guldberg O, et al. (2014) The ocean. In: Field CB, et al. (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. pp. 1655-1731.
- <sup>32</sup> Frieler K, et al. (2013) Limiting global warming to 2°C is unlikely to save most coral reefs. *Nature Climate Change* 3:165-170.
- <sup>33</sup> Schleussner C-F, et al. (2016) Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5°C and 2°C. *Earth System Dynamics* 7:327-351.
- <sup>34</sup> United Nations Framework Convention on Climate Change (2015) "Paris Agreement" of the 21<sup>st</sup> Conference of the Parties of the UNFCCC. [http://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf)
- <sup>35</sup> Riahi K, et al. (2011) RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change* 109:33. doi:10.1007/s10584-011-0149-y
- <sup>36</sup> Rogelj J, et al. (2016) Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. *Nature* 534:631-639.
- <sup>37</sup> Fawcett A, et al. (2015) Can Paris pledges avert severe climate change? *Science* 350:1168-1169.
- <sup>38</sup> Veron JEN, et al. (2009) The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO<sub>2</sub>. *Marine Pollution Bulletin* 58(10):1428-1436.
- <sup>39</sup> Nortröm AV, et al. (2016) Guiding coral reef futures in the Anthropocene. *Frontiers in Ecology and the Environment* 14:490-498. doi:10.1002/fee.1427
- <sup>40</sup> Meinshausen M, et al (2011) The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change* 109:213-241. doi: 10.1007/s10584-011-0156-z







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



Convention du  
patrimoine mondial