



Les petites îles, l'océan et le climat

Virginie Duvat,
Alexandre Magnan,
Jean-Pierre Gattuso

Les caractéristiques physiques des petites îles (surface émergée limitée, plaines réduites, forte exposition aux aléas météorologiques et marins) et humaines (forte dépendance vis-à-vis des activités de subsistance et des écosystèmes) expliquent leur vulnérabilité aux changements environnementaux. Elles sont devenues des figures emblématiques des processus associés au changement climatique : élévation du niveau de la mer, intensification des cyclones, réchauffement des eaux océaniques, et acidification de l'océan. De grandes menaces pèsent donc sur les systèmes insulaires, bien que ceux-ci y répondront de manière très diversifiée : réduction de la surface des îles, recul du trait de côte, dégradation des récifs coralliens et des mangroves, etc. Les répercussions sur les ressources terrestres (sols, eau, faune et flore) et marines (ressources récifales et halieutiques) auront des impacts majeurs sur les moyens de survie des sociétés insulaires. Celles-ci vont donc devoir relever un défi considérable.

Les petites îles, qu'elles appartiennent ou non à un archipel, et quel que soit leur statut politique¹, sont confrontées à un ensemble de contraintes inhérentes à leur petite taille (de quelques milliers de km² de surface à moins de 1 km²) et à leur éloignement géographique par rapport aux principaux centres mondiaux d'activité (peu d'économies d'échelles, par exemple, ce qui nuit à leur compétitivité, au système éducatif, etc.). En particulier, leurs caractéristiques physiques (surface émergée limitée, plaines réduites, forte exposition aux aléas météorologiques et marins) et humaines (forte dépendance vis-à-vis des activités de subsistance et des écosystèmes) expliquent leur forte sensibilité aux changements environnementaux et leur exposition aux catastrophes naturelles. De telles caractéristiques génèrent vite des en-

chaînements d'impacts qui, dans des contextes continentaux, sont en général davantage dilués dans l'espace et dans le temps (Duvat et Magnan, 2012). Les petites îles sont donc des systèmes territoriaux à la fois vulnérables et réactifs, ce qui les place en première ligne des impacts des modifications environnementales liées à la surconcentration de gaz à effet de serre d'origine anthropique dans l'atmosphère, notamment celles qui affectent l'océan global (réchauffement des eaux de surface et acidification). Les représentants politiques de ces territoires les présentent d'ailleurs souvent comme les premières victimes du changement climatique. Toutefois, les menaces qui pèsent sur les petites îles ne sont pas si marginales, puisqu'elles sont d'une certaine manière les mêmes que celles qui pèsent sur la grande majorité des littoraux de la planète. On peut donc apprendre de la situation de ces terres du minuscule, au-delà de leurs spécificités.

¹ État indépendant comme les Maldives ou l'île Maurice; État en libre association avec l'ancienne puissance coloniale, comme les Îles Marshall (États-Unis) ou les îles Cook (Nouvelle-Zélande); territoire ultramarin d'un territoire plus vaste, comme les Outre-Mer français, par exemple.



Ce texte suit une logique simple, celle de la chaîne des impacts qui part des processus physiques climatiques et océaniques, pour aller jusqu'aux conséquences sur les écosystèmes et sur les ressources des systèmes insulaires. Cela nous conduit à aborder plus globalement la question des changements environnementaux et leur lien avec le processus de « mal-développement »², pour conclure sur quelques messages-clés.

LES PROCESSUS PHYSIQUES À L'ŒUVRE

Les nations insulaires tirent la sonnette d'alarme depuis la fin des années 1980 : les changements environnementaux liés à l'évolution du climat, qu'il s'agisse de la dégradation progressive de ressources vitales telle que l'eau douce ou de la survenue d'événements extrêmes dévastateurs comme les cyclones, posent la question de leur viabilité à l'horizon de quelques décennies. Ainsi les petites îles sont-elles devenues des figures emblématiques des menaces associées au changement climatique, voire des métaphores du défi environnemental auquel l'humanité moderne est confrontée, « seule sur sa petite planète » (Diamond, 2006). Il y a des raisons scientifiques fondées à un tel diagnostic, qui sont directement liées aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre depuis près de 150 ans, et que l'on peut classer en quatre catégories : l'élévation du niveau de la mer, les événements extrêmes, le réchauffement des eaux océaniques, et l'acidification de l'océan mondial.

L'élévation du niveau de la mer

Quand on s'intéresse aux petites îles, l'élévation du niveau de la mer est sans aucun doute la conséquence du changement climatique la plus médiatisée, avec des discours catastrophistes qui, mal connectés aux prudentes conclusions scientifiques, annoncent pour les uns, la disparition prochaine des îles les plus basses (en particulier des Maldives, de Kiribati et de Tuvalu) et pour les autres, la submersion des

plaines côtières qui concentrent populations et activités économiques. Si de telles affirmations doivent être nuancées, car les réponses des systèmes insulaires aux pressions climatiques seront nécessairement diversifiées, une chose est en revanche sûre : le niveau de la mer monte depuis plus d'un siècle en raison du changement climatique d'origine anthropique. Pourquoi ? Parce que l'augmentation de la température des basses couches de l'atmosphère engendre d'une part, le réchauffement des eaux océaniques de surface, qui a pour effet leur dilatation, et d'autre part, la fonte des glaces continentales (glaciers de montagne, calottes arctiques et antarctiques). Combinés, ces deux mécanismes se traduisent par une augmentation du volume d'eau de l'océan, lequel tend en quelque sorte à « déborder ». Le rythme d'élévation du niveau marin a été de 17 cm en moyenne à l'échelle du globe sur l'ensemble du XX^e siècle, soit environ 1,7 mm/an (Church *et al.*, 2013).

Les travaux scientifiques récents mettent en évidence deux éléments. D'abord, le fait que l'océan ne monte pas partout à la même vitesse : l'océan Indien oriental et le Pacifique central, notamment, connaissent des vitesses d'élévation particulièrement élevées, avec des valeurs qui atteignent par exemple + 5 mm/an à Funafuti (Tuvalu) (Becker *et al.*, 2012). En second lieu, la communauté scientifique rappelle que l'élévation du niveau de la mer, qui s'est accélérée depuis le début des années 1990³, va continuer à le faire au cours du siècle à venir. On attend en effet une hausse moyenne du niveau des océans de +45 à +82 cm d'ici à 2100 pour le scénario de projection le plus pessimiste⁴ (Church *et al.*, 2013). Et cette tendance est pour partie irréversible en raison des phénomènes de latence qui caractérisent les processus océaniques et atmosphériques, et qui expliquent que le niveau de la mer continuera à monter

3 +3,2 mm/an en moyenne mondiale entre 1993 et 2010 (Church *et al.*, 2013).

4 Les modélisations qui sont à la base du dernier rapport du GIEC ont considéré 4 grands scénarios de concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à l'horizon de la fin de ce siècle. Ces scénarios sont les « Representative Concentration Pathways » (RCP), qui vont du RCP2.6 pour le plus optimiste, au RCP8.5 pour le plus critique.

2 Terme qui traduit le caractère non durable des modes de développement actuels.



au minimum pendant plusieurs siècles même si l'on arrêta demain d'émettre tout gaz à effet de serre (Solomon *et al.*, 2009, Levermann *et al.*, 2013).

Les conséquences de cette élévation accélérée du niveau de la mer seront d'autant plus sérieuses sur les petites îles que celles-ci ont un indice côtier élevé (part du trait de côte par rapport à la superficie du territoire) et que leurs populations et activités se concentrent en général dans la zone côtière. À l'évidence, la situation des îles basses (atolls) est particulièrement préoccupante, comme nous le verrons plus loin à partir de l'exemple de l'archipel de Kiribati (Pacifique central).

Les Nations unies ont ainsi adopté dès 1989 une résolution spécifique sur les effets négatifs de l'élévation du niveau de la mer sur les îles et zones côtières, reconnaissant ainsi officiellement la forte vulnérabilité de ces territoires face au changement climatique. Quelques années plus tard, la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement (Sommet de la Terre, Rio, 1992) insistait à nouveau sur le cas particulier des petites îles. Très récemment, début septembre 2014, s'est tenue à Samoa la troisième Conférence internationale des Nations unies sur les petits États insulaires en développement, dont l'un des thèmes-clés portait sur le changement climatique et, plus particulièrement, sur l'élévation du niveau de la mer.

Les événements extrêmes : cyclones, houles distantes et phénomène El Niño

Bien que notre compréhension des interactions entre l'océan et l'atmosphère soit partielle et limite notre capacité à modéliser certains phénomènes climatiques, donc à réaliser des projections sur l'évolution des phénomènes extrêmes (tempêtes et phénomène El Niño), il faut s'attendre à ce que les pressions que ces derniers exercent sur les petites îles augmentent.

Les cyclones tropicaux possèdent une puissance supérieure à celle des dépressions tempérées, avec des vents dont la vitesse peut dépasser 350 km/h. Ces vents sont destructeurs pour la

végétation, les infrastructures et les bâtiments. Les cyclones s'accompagnent aussi souvent de fortes pluies (jusqu'à 1 500 mm en 24 h) qui font déborder les cours d'eau et peuvent provoquer des inondations catastrophiques. À ces effets strictement météorologiques, s'ajoutent sur le littoral les impacts des vagues cycloniques, lesquelles sont d'autant plus destructrices que les cyclones s'accompagnent d'une surcote marquée⁵. Les conséquences de la submersion d'origine marine (vagues + surcote) sont bien entendu amplifiées lorsque celle-ci se couple à des inondations venues des cours d'eau intérieurs. Les vagues cycloniques, qui atteignent fréquemment 4 à 6 m de hauteur à la côte, peuvent également être à l'origine de pics d'érosion marqués (recul du trait de côte de 10 à 15 m, abaissement du niveau des estrans) ou, au contraire, d'un fort engraissement des côtes sous l'effet de l'accumulation de sable et blocs de corail arrachés au récif corallien (Étienne, 2012).

Si au regard de la complexité des processus en jeu, il est difficile à ce stade de dire comment les cyclones, et donc leurs impacts sur les petites îles, vont évoluer sous l'effet du changement climatique, l'on peut néanmoins retenir, sur la base du dernier rapport du GIEC, que : (i) leur fréquence n'augmentera pas forcément à l'avenir ; (ii) les cyclones les plus intenses devraient s'intensifier ; (iii) les trajectoires, donc les aires d'impacts des cyclones, ont une forte probabilité d'évoluer à l'avenir. Sur ces bases et en dépit des incertitudes qui subsistent sur l'évolution des cyclones, l'on doit s'attendre à une augmentation des impacts destructeurs des cyclones dans les petites îles : premièrement, parce que l'élévation du niveau de la mer permettra aux vagues cycloniques de se propager plus loin à l'intérieur des terres ; et en second lieu, parce que l'intensification des cyclones les plus forts accroîtra d'autant leurs effets destructeurs sur les côtes. Par exemple, là où les cyclones sont déjà à l'origine de pics d'érosion, l'érosion devrait s'accélérer.

⁵ Élévation anormale du niveau de la mer sous l'effet de la diminution de la pression atmosphérique (-1 mb = +1 cm) et de la poussée de vent (accumulation d'eau sur le littoral), qui s'ajoutent aux vagues elles-mêmes (flux et reflux sur le littoral).



Par ailleurs, l'évolution des tempêtes des zones tempérées (nord et sud) et des hautes latitudes, qui reste difficile à prévoir, aura aussi des impacts sur l'évolution des risques liés à la mer en milieu insulaire. En effet, il est désormais clairement établi que les houles puissantes que produisent ces tempêtes se propagent sur de grandes distances à travers l'océan et causent des dégâts importants sur des territoires insulaires éloignés de plusieurs milliers de kilomètres de leur zone de formation (Nurse *et al.*, 2014). Celles de décembre 2008 en particulier ont engendré d'importants dégâts dans de nombreux États du Pacifique occidental, comme la république des Îles Marshall, les États Fédérés de Micronésie et la Papouasie-Nouvelle Guinée (Hoewe *et al.*, 2013).

Enfin, à ce jour, il est tout aussi difficile de prévoir l'évolution du phénomène El Niño alors que quatre de ses manifestations au moins perturbent fortement les milieux insulaires. Premièrement, les variations importantes des températures océaniques de surface qui se produisent pendant les épisodes El Niño se traduisent dans certaines régions par des pics thermiques marqués. Ceux-ci sont à l'origine de phénomènes de blanchissement corallien⁶ dévastateurs (95 à 100 % de mortalité corallienne aux Maldives et aux Seychelles en 1997-1998). En deuxième lieu, les épisodes El Niño se traduisent par une augmentation des cyclones dans certaines régions peu exposées à ces phénomènes, comme c'est le cas de l'archipel des Tuamotu en Polynésie française : alors que la fréquence des cyclones y est de 1 phénomène tous les 20 à 25 ans, 5 cyclones sont passés sur les îles du nord-ouest de cet archipel en l'espace de 6 mois pendant l'épisode El Niño 1982-1983 (Dupont, 1987). En troisième lieu, le phénomène El Niño engendre de fortes perturbations du régime pluviométrique, provoquant des pluies diluviennes dans certaines régions (centre et est du Pacifique) et des sécheresses marquées dans d'autres (ouest

du Pacifique, avec de forts impacts à Kiribati et dans les Îles Marshall, par exemple). Certains archipels, comme ceux du sud de Kiribati par exemple, peuvent alors connaître des sécheresses d'une durée de 1 à 2 ans. En dernier lieu, les épisodes El Niño s'accompagnent d'une élévation anormale du niveau marin de 30 à 40 cm dans le Pacifique occidental, ce qui provoque des submersions importantes sur les îles de cette région, notamment lorsque ces niveaux marins anormalement hauts se conjuguent avec des houles de tempête. L'évolution du phénomène El Niño intéresse donc tout particulièrement les milieux insulaires.

Le réchauffement de l'océan

L'augmentation de la température des eaux océaniques de surface est un autre problème, qui va se combiner aux précédents. Une très large majorité de l'énergie accumulée par le système climatique est stockée dans l'océan, si bien que les premiers 75 m d'eau se sont réchauffés de 0,11 °C par décennie entre 1971 et 2010 (Rhein *et al.*, 2013). Un réchauffement substantiel est désormais également nettement mesurable jusqu'à 750 m de profondeur au moins (Arndt *et al.*, 2010). Les conséquences de telles modifications seront majeures dans les zones hauturières : migration d'espèces, notamment celles qui sont pêchées, perturbation des échanges d'oxygène, etc. Les conséquences seront également importantes sur les zones côtières, avec de forts impacts sur les récifs coralliens, qui sont très sensibles aux hausses de température. L'augmentation graduelle des températures océaniques de surface, combinée à la survenue de pics thermiques destructeurs se produisant pendant les épisodes El Niño, fait redouter une hausse de fréquence des phénomènes de blanchissement, voir leur persistance (Hoegh-Guldberg, 2011, Gattuso *et al.*, 2014). Cela pourrait conduire à la disparition de nombreuses espèces.

L'acidification de l'océan

La pollution par les gaz à effet de serre a commencé à générer, en parallèle du changement climatique, une augmentation de la teneur des eaux océaniques en CO₂ dissous, plus connue sous le nom d'acidification de l'océan (Gattuso et Hansson, 2011). L'acidification des océans,

⁶ Lorsque le seuil de tolérance thermique des coraux, qui avoisine 30°C, est dépassé, les coraux expulsent les zooxanthelles (algues symbiotiques qui assurent la photosynthèse et une partie de la nutrition des coraux), blanchissent et sont susceptibles de mortalité massive. Un blanchissement prolongé peut aboutir à la mort des récifs.



c'est donc « l'autre problème du CO₂ » (Turley, 2005, Doney *et al.*, 2009). Les océans ont en effet absorbé environ un tiers du CO₂ anthropique depuis la révolution industrielle. Or, l'augmentation du CO₂ dans l'eau de mer diminue son pH, la rendant plus acide. Les projections pour le XXI^e siècle annoncent des réductions du pH moyen à l'échelle mondiale, lequel pourrait être de 7,8 en 2100 (Ciais *et al.*, 2013) par rapport à 8,18 avant l'ère industrielle et 8,10 maintenant. Ce phénomène a d'ores et déjà, et il continuera d'avoir, de lourdes répercussions sur la chimie de base de l'océan, puis par effet domino, sur les organismes (diminution de calcification chez de nombreux organismes à squelette ou coquille calcaire) et les écosystèmes (Pörtner *et al.*, 2014, Gattuso *et al.*, 2014, Howes *et al.*, In Press). Ainsi les spécialistes estiment-ils que les conséquences de l'acidification sur les coraux deviendront très importantes au-dessus d'une concentration en CO₂ atmosphérique de 500 ppm (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2014)⁷.

La vulnérabilité future des petites îles aux changements climatiques et océaniques va donc en grande partie dépendre de l'évolution de ces quatre facteurs de pression (niveau de la mer, événements extrêmes, réchauffement et acidification de l'océan). Or, dans ces systèmes insulaires réactifs parce que très dépendants des conditions environnementales, l'acidification combinée au réchauffement des eaux de surface, aura d'autant plus d'impacts négatifs que les écosystèmes côtiers (récifs, mangroves, etc.) sont d'ores et déjà soumis à de fortes pressions d'origine anthropique, qui se traduisent déjà dans certains cas par d'importantes dégradations de leurs fonctions. Il en va de même pour les menaces portées par l'élévation du niveau de la mer et la survenue de cyclones tropicaux plus intenses : plus les systèmes naturels côtiers ont été perturbés, parfois de manière irréversible, plus leurs capacités naturelles d'adaptation seront amputées dans le futur, et plus les impacts des événements extrêmes et des changements plus graduels seront importants. Ainsi, la non-durabilité

de nos modes de développement actuels (dégradation des écosystèmes marins et côtiers, déconnection des sociétés modernes vis-à-vis des contraintes environnementales, aménagement de zones exposées aux aléas, etc.) est au cœur des menaces que le changement climatique fait peser sur les littoraux, notamment insulaires (Duvat et Magnan, 2014).

IMPACTS ET VULNÉRABILITÉ DES PETITES ÎLES

Il faut entrer désormais davantage dans le détail des impacts combinés de l'élévation du niveau de la mer, des événements extrêmes, du réchauffement et de l'acidification de l'océan, pour comprendre pourquoi les petites îles sont en première ligne des changements environnementaux à venir.

Quels impacts attendre ?

Bien que les modèles climatiques ne fournissent pas encore de scénarios d'évolution précis à l'échelle des différentes sous-régions océaniques, les projections dont nous disposons, complétées de la compréhension que nous avons des réponses des systèmes insulaires à différents types de pressions naturelles et anthropiques, permettent de déterminer les principaux impacts qu'aura le changement climatique sur ces milieux. L'on abordera successivement ses effets sur l'évolution des îles et de leurs principaux écosystèmes littoraux, récifs coralliens et mangroves.

La réduction de la surface des îles et le recul du trait de côte

Il est impossible de prévoir la réponse des systèmes insulaires aux pressions associées au changement climatique en raison de la multitude des facteurs en jeu, tant naturels (réserves sédimentaires, impacts des tempêtes, réponses des récifs coralliens aux pressions associées au changement climatique, etc.) qu'anthropiques (interférence des aménagements avec le fonctionnement du littoral, impacts des activités humaines et politiques publiques, etc.), et de la complexité de leurs interactions. Ceci étant, l'on peut s'attendre, à l'échelle des prochaines

⁷ Le seuil de concentration en CO₂ atmosphérique de 400 ppm a été franchi en mai 2013 à la station de mesure de l'observatoire Mauna Loa (Hawaii). À cette même station, il était par exemple de 386 ppm en 2009.



décennies, à une diminution de la superficie des îles, en particulier coralliennes. Un pays comme les Maldives, dont 80 % de la surface émergée se situe à moins de 1 m d'altitude, verra très probablement sa superficie se réduire significativement sous l'effet de l'élévation du niveau de la mer. Mais ce facteur de pression aura, comme les autres facteurs de pression (fréquence et intensité des tempêtes, dégradation de l'état de santé des récifs coralliens, etc.), des impacts variables d'une île à l'autre, en fonction du contexte géomorphologique et humain. Par exemple, les îles déjà affectées par l'érosion ou dont le littoral est fortement aménagé ne bénéficieront d'aucun mécanisme naturel d'exhaussement leur permettant de s'ajuster à l'élévation du niveau marin. Car pour qu'un tel mécanisme d'ajustement se produise, il faut qu'existe, non seulement un réservoir sédimentaire sous-marin susceptible d'alimenter les côtes, mais aussi un espace libre de tout aménagement le long du littoral sur lequel puissent s'accumuler les sédiments. Or, ces deux conditions ne sont actuellement réunies que dans un nombre limité d'îles habitées. En revanche, un tel mécanisme d'ajustement naturel fonctionnera probablement sur certaines îles peu ou pas aménagées.

De la même manière, sur la frange côtière des îles hautes, les terres basses seront progressivement gagnées par la mer là où aucun phénomène d'accrétion n'engendrera leur exhaussement ou leur extension vers le large. À moins que des interventions techniques, telles que des travaux de remblaiement, ne s'y opposent et permettent de maintenir ces espaces au-dessus du niveau de la mer.

Dans certains cas, la réduction de la surface des îles basses remettra probablement en cause leur viabilité, car leurs ressources deviendront insuffisantes pour subvenir aux besoins de leurs habitants. Les plaines côtières des îles hautes seront elles aussi soumises à des pressions climatiques dont les impacts sur les sociétés seront d'autant plus forts que la pression démographique est élevée et que les systèmes vivriers sont développés (Nurse *et al.*, 2014).

Ainsi l'évolution des îles coralliennes et des plaines côtières variera-t-elle d'un lieu à un autre

en fonction d'un grand nombre de facteurs, dont les évolutions ne sont pas forcément prévisibles.

Des récifs coralliens menacés

Le comportement des récifs coralliens jouera un rôle déterminant dans la réponse de nombreuses îles aux effets du changement climatique. Or, le devenir des récifs dépend lui-même de la combinaison de divers facteurs, dont les principaux sont le rythme d'élévation du niveau de la mer, la température des eaux océaniques de surface, le rythme d'acidification des eaux océaniques, la vitalité actuelle des coraux et leur capacité à résister aux perturbations, et le degré d'affaiblissement de leur résilience par les activités humaines (Gattuso *et al.*, 2014). Les vitesses d'élévation du niveau de la mer annoncées pour les prochaines décennies permettent théoriquement aux coraux de compenser par leur croissance le relèvement du niveau de l'océan, car ils peuvent croître de 10 à 25 mm/an. Au cours de la dernière remontée du niveau de la mer, la grande majorité des récifs ont suivi pas à pas (croissance continue) ou après un temps de retard (croissance retardée) le relèvement du niveau de l'océan. Mais ces divers éléments restent théoriques, car en réalité, le comportement des coraux dépendra des conditions écologiques qui régneront dans les différentes régions océaniques. Là où l'état du récif est bon, les coraux pourront éventuellement suivre l'élévation du niveau de la mer, mais là où elles se dégraderont de manière significative, ils pourraient être amenés à disparaître. Différents facteurs, globaux à locaux, déterminent la qualité des conditions écologiques. Au niveau global, elles vont se dégrader en raison de l'acidification des océans qui, nous l'avons vu, a pour effet de réduire la vitesse de calcification des organismes à squelette calcaire et, du même coup, la résistance de ces organismes aux facteurs de pression naturels et anthropiques.

Aux échelles régionale et locale, les principaux facteurs d'influence du comportement des coraux sont les températures de surface (moyennes et variations intra et interannuelles), le pH, les tempêtes et le degré de perturbation du milieu par l'homme. En ce qui concerne le blanchissement des colonies coralliennes, les modèles



développés pour Tahiti (Polynésie française) sur la période 1860-2100 montrent que les températures de surface sont restées inférieures au seuil critique⁸ jusqu'en 1970, ce qui signifie qu'aucun épisode de blanchissement ne s'est produit jusque-là (Hoegh-Guldberg, 1999). Depuis cette date, à partir de laquelle l'augmentation des températures océaniques de surface liée au changement climatique est avérée, la température de l'océan dépasse systématiquement ce seuil pendant les épisodes El Niño, produisant un phénomène de blanchissement. À partir de l'évolution prévisible des températures océaniques, ces modèles prévoient une fréquence de blanchissement annuelle à partir de 2050, qui pourrait remettre en cause la capacité des coraux à se maintenir. L'augmentation de la fréquence de ces épisodes pourrait ne plus laisser le temps aux récifs coralliens de se régénérer entre deux pics thermiques. Mais ceci reste une hypothèse, car les réactions des récifs coralliens varient d'une région à une autre en fonction de la circulation océanique et de la profondeur: les récifs peu profonds sont en général plus affectés par les pics thermiques et moins résilients que ceux qui se développent dans un environnement plus océanique (profondeurs élevées proches et échanges intenses avec la masse d'eau océanique). À l'échelle locale également, les réponses des différentes espèces de coraux diffèrent. Une même espèce ne réagit d'ailleurs pas de manière identique à deux stress thermiques de même intensité, comme l'ont montré les suivis réalisés en 1996, 1998 et 2002 sur les récifs coralliens du Golfe Arabo-Persique (Riegl, 2007). Celui de 1996 a complètement décimé les coraux branchus du genre *Acropora*, qui se sont réinstallés rapidement et n'ont pas été touchés en 2002. Cela semble indiquer que les coraux possèdent une certaine capacité d'adaptation. Les observations qui ont été réalisées dans le Pacifique oriental aboutissent aux mêmes conclusions. L'épisode El Niño de 1982-83 y a été plus destructeur que celui de 1997-98, ce qui conduit à l'hypothèse que les crises sélectionnent les individus les plus

⁸ Bien que la température maximale tolérée par les coraux varie d'une région à une autre - elle est notamment plus élevée dans les mers que dans les océans - l'on peut globalement considérer qu'au-delà de 30°C, un phénomène de blanchissement peut survenir.

résistants (Glynn *et al.*, 2001). La résilience des coraux dépend également de leur degré d'affaiblissement par des maladies, dont les pics thermiques favorisent le développement dans certaines régions (Les Caraïbes, par exemple). En dernier lieu, la résistance et la résilience des coraux dépendent largement du degré de perturbation anthropique. Or, l'on estime aujourd'hui qu'à l'échelle du globe, 30 % des récifs coralliens sont très dégradés et 60 % sévèrement menacés à l'horizon 2030 (Hughes *et al.*, 2003). Les pressions anthropiques qui s'exercent sur les récifs vont probablement se renforcer dans les systèmes insulaires en raison d'une croissance démographique généralement forte.

Pourquoi accorder autant d'importance à l'évolution des récifs coralliens dans l'analyse du devenir des îles ? Parce que la disparition totale ou partielle des récifs coralliens se traduirait d'une part, par l'annihilation de tout mécanisme d'ajustement vertical des îles et des côtes au niveau marin, et d'autre part, par une aggravation de l'érosion côtière, et ce pour deux raisons. D'une part, la mort des récifs réduirait l'alimentation des îles en débris coralliens frais. D'autre part, elle engendrerait une augmentation de l'énergie marine à la côte, donc des prélèvements opérés par les vagues, en particulier en situation de tempête. Dans cette configuration, le facteur qui jouera un rôle crucial dans le maintien des côtes coralliennes sera l'état des stocks de sédiments inertes⁹ susceptibles d'être mobilisés par les agents marins et de compenser la baisse de l'alimentation des côtes en débris coralliens frais. Le rôle de ces sables qui se sont accumulés sur les petits fonds marins ne doit pas être négligé, car certaines îles qui possèdent un récif peu développé (étroit ou présent sur une partie du linéaire côtier seulement) se sont formées et continuent à s'agrandir sous l'effet de la remontée de ces sables anciens vers les rivages (Cazes-Duvat *et al.*, 2002).

Là où les conditions écologiques seront favorables au développement des coraux, les platiers récifaux sans vie corallienne, comme ceux de Kiribati

⁹ Il s'agit des sédiments produits par des générations précédentes de récifs coralliens.



ou des Tuamotu par exemple qui sont constitués d'une plateforme conglomératique, pourraient être colonisés par des colonies coralliennes. Il en va de même des côtes bordées par un platier rocheux sans vie corallienne. Dans ce cas, le développement d'un récif pourrait permettre, à terme, aux platiers de s'exhausser et de suivre l'élévation du niveau de la mer. Une telle évolution serait évidemment favorable à l'exhaussement des îles basses et plaines côtières associées, qui seraient davantage alimentées en débris coralliens qu'elles ne le sont aujourd'hui. Toutes les côtes ne s'éroderont donc pas forcément. Il faut néanmoins noter que le développement des coraux ne produirait pas de bénéfices immédiats pour les sociétés humaines. Les processus de colonisation et de croissance corallienne sont lents et risquent d'autant plus de l'être à l'avenir que, comme on l'a vu, les conditions écologiques tendent à se dégrader.

Les îles et les côtes qui ne s'exhausseront pas seront plus régulièrement submergées, pendant les marées de vives-eaux, les tempêtes et les épisodes El Niño, alors que celles qui s'exhausseront ne seront pas forcément plus exposées à la submersion qu'elles le sont actuellement.

Quel devenir pour les mangroves ?

Les mangroves jouent un rôle tout aussi important que les récifs coralliens dans le maintien des îles basses et des côtes sableuses, et dans la protection des enjeux humains face aux tempêtes. Là où les mangroves n'ont pas été défrichées et où les vasières qu'elles colonisent continuent à être alimentées en sédiments, ces forêts littorales continuent en général à s'étendre. Dans de nombreux atolls, du côté du lagon, l'on observe par exemple une extension de la mangrove sous l'effet de la colonisation des bancs sablo-vaseux par de jeunes palétuviers (Rankey, 2011).

Quels impacts aura le changement climatique sur les mangroves ? Théoriquement, une élévation du niveau de la mer engendre leur migration vers le rivage, car les différentes zones écologiques qui constituent la vasière tendent elles-mêmes à migrer dans cette direction pour s'adapter. Mais au-delà de la seule élévation du niveau marin, deux facteurs vont jouer un rôle clé : la vitesse

de la sédimentation et le niveau de pression anthropique qui s'exerce sur cet écosystème. Là où les conditions sont favorables (sédimentation active et pression anthropique réduite), l'élévation du niveau de la mer peut être compensée par l'exhaussement des petits fonds marins. Dans ce cas de figure, les mangroves se maintiennent ou continuent à s'étendre vers le large. Les secteurs les plus sensibles sont donc incontestablement ceux qui sont déjà soumis à une forte érosion, qui détruit la mangrove, et/ou ceux dans lesquels celle-ci est dégradée par l'homme.

Il faut retenir de ce qui précède que les réponses des systèmes insulaires aux effets du changement climatique et de l'acidification des océans ne seront pas univoques, car elles dépendent d'une combinaison de facteurs dont l'assemblage et les interactions varient dans l'espace, y compris sur de faibles distances. De plus, les connaissances que nous avons de la capacité d'adaptation des coraux et des mangroves aux pressions naturelles sont encore insuffisantes pour établir un diagnostic définitif. S'il est indéniable que les récifs seront soumis à des pressions accrues à l'avenir, les résultats de travaux récents relativisent ceux, encore plus pessimistes, des premières études. Et comme le comportement des récifs jouera un rôle crucial dans l'évolution des îles coralliennes et des côtes sableuses des plaines côtières, dont le fonctionnement morpho-sédimentaire est lui-même complexe et variable dans l'espace, l'on ne saurait conclure que les îles coralliennes, par exemple, seront rapidement balayées de la surface de la planète. Aux incertitudes qui subsistent sur un certain nombre de processus, s'ajoutent donc de fortes incertitudes sur les temporalités auxquelles certains systèmes insulaires pourraient se trouver en situation critique.

Quels impacts sur les systèmes de ressources insulaires ?

Pour progresser dans la chaîne des impacts du changement climatique et de l'acidification de l'océan sur les sociétés humaines, l'on s'intéressera ici aux conséquences des perturbations physiques sur les ressources terrestres (sols, eau, faune et flore) et marines (ressources récifales et halieutiques) des îles basses et des plaines côtières des îles hautes.



À terre

Les ressources terrestres vont diminuer sous l'effet de différents processus (Nurse *et al.*, 2014, Wong *et al.*, 2014). D'abord, l'augmentation des températures atmosphériques accroît l'évapotranspiration¹⁰, ce qui assèche les sols et provoque une hausse des prélèvements opérés par les végétaux dans les lentilles d'eau saumâtre. Ces prélèvements ne doivent pas être négligés. En effet, les mesures effectuées dans l'atoll de Tarawa (Kiribati) ont montré que l'arbre le plus répandu, le cocotier, restituait à l'atmosphère par transpiration au moins 150 litres d'eau par jour. Dans ces conditions, l'augmentation prévisible du pompage d'eau par les cocotiers et le reste de la végétation renforcera significativement la pression qui s'exerce déjà sur ces lentilles utilisées par l'homme pour subvenir à ses besoins alimentaires. La dégradation de la qualité des sols et la diminution de la ressource en eau réduiront encore les possibilités de mise en culture, ce qui aura pour effet une baisse de la production qui posera, en particulier dans les systèmes insulaires vivriers, un défi de sécurité alimentaire. Il s'en suivra une augmentation de la dépendance extérieure, particulièrement dans les atolls ruraux de nombreux archipels coralliens. Les sols se dégraderont aussi sous l'effet de leur salinisation, due à l'élévation du niveau de la mer et à l'augmentation des submersions marines qui se produira dans les îles et plaines côtières qui ne s'exhausseront pas. Or, à l'exception du cocotier, peu d'espèces végétales comestibles tolèrent le sel. Les cocotiers ne le supportent d'ailleurs que jusqu'à un certain seuil au-delà duquel ils meurent. La contraction des surfaces exploitées, et en particulier des cocoteraies, réduira par ailleurs la disponibilité en matériaux de construction. Par ailleurs, l'évolution progressive des pratiques culturelles insulaires vers des espèces moins résistantes aux pressions du climat et des agents marins que les espèces indigènes – le bananier étant par exemple moins résistant que le pandanus ou le cocotier – risque d'accroître l'ampleur et la fréquence des pénuries alimentaires (exemple des Maldives suite aux dégâts engendrés par le

tsunami de 2004) et des déficits commerciaux (cas des Antilles suite au passage du cyclone Dean en 2007) à l'avenir.

Le changement climatique aura des impacts sur l'évolution quantitative et qualitative des ressources en eau, qui dépend de plusieurs facteurs. Le plus important est le niveau de la mer, dont l'élévation réduira inévitablement le volume des lentilles d'eau saumâtre. En effet, selon le principe de Ghyben-Herzberg qui régit le fonctionnement des aquifères, toute élévation du niveau marin engendre une réduction de leur volume. Des submersions marines plus fréquentes, voire systématiques pendant les hautes mers de vives-eaux, seront à l'origine d'intrusions répétées d'eau salée dans ces lentilles, ce qui contribuera à la dégradation de leur qualité. Les îles et les côtes soumises à une forte érosion côtière seront plus affectées que les autres par la réduction du volume des aquifères et la diminution de leur qualité. Un autre facteur important est la pluviométrie, qui détermine le taux et la fréquence de recharge des lentilles et des cours d'eau qui traversent les plaines côtières. Comme à ce jour l'on ne dispose d'aucune prévision fiable sur l'évolution des précipitations et que subsistent dans certains cas d'îles hautes des incertitudes sur les ressources souterraines en eau douce, il est impossible de dire quels îles et archipels seront les plus affectés par la dégradation de la ressource en eau. Là où les épisodes de sécheresse seront plus fréquents et/ou plus longs qu'actuellement, il faut s'attendre à une réduction du volume d'eau disponible. Par conséquent, l'eau deviendra plus salée, ce qui accroîtra la fréquence et la sévérité des pics de mortalité des cultures (cocotier et taro¹¹ notamment) qui s'observent déjà. Le prélèvement d'eau dans la lentille en période de sécheresse a pour effet de réduire encore son épaisseur. Cela signifie qu'en période de pénurie d'eau, l'utilisation de l'eau de la lentille, qui est cruciale pour la survie de nombreuses populations insulaires, pourrait la rendre impropre à la consommation. Comme les réservoirs d'eau pluviale des îles qui en possèdent sont vides quand la sécheresse dure, ce phénomène

¹⁰ L'évapotranspiration désigne l'ensemble des phénomènes relatifs à l'évaporation et à la transpiration des végétaux. Les deux sont liés car par leur transpiration, les végétaux livrent de l'eau issue du sol ou du sous-sol à l'atmosphère. Ils participent ainsi au cycle de l'eau.

¹¹ Tubercule emblématique de la civilisation océanienne (consommation et cérémonies). Chaque famille possédait une portion du « jardin à taro ».



pourrait remettre en cause l'habitabilité de certaines îles basses. L'accès individuel à l'eau diminuera aussi sous l'effet de la forte croissance démographique que connaissent ces espaces.

En mer

Comme le souligne le dernier rapport du GIEC (Pörtner *et al.*, 2014, Hoegh-Guldberg *et al.*, 2014), on ne dispose actuellement que de peu d'éléments sur les impacts qu'aura le changement climatique sur la distribution des ressources halieutiques. Les fortes pressions qui s'exercent déjà sur les récifs coralliens des régions les plus peuplées vont s'accroître partout où la croissance démographique restera forte. Comme différents facteurs concourent dans ces régions à la dégradation des récifs, les ressources récifales disponibles par habitant vont diminuer. Or, elles jouent un rôle important dans l'alimentation quotidienne des communautés insulaires, y compris encore dans les îles où la consommation de produits importés est élevée (Nurse *et al.*, 2014). Et ce, d'autant plus que la modification possible des courants marins pourrait réduire la présence des espèces pélagiques dans certaines régions océaniques et, par là même, empêcher le report de la consommation sur ces espèces. C'est donc le secteur de la pêche dans son ensemble qui est interrogé, de la ressources aux moyens de pêche (bateaux, ports, etc.), ces derniers étant par ailleurs mis à mal par l'élévation du niveau de la mer, les événements extrêmes et d'autres facteurs de pression (crise économique, par exemple). Bien entendu, à cela s'ajoute la diminution des stocks de poissons due à la surpêche, qui sévit déjà sévèrement près des côtes et dans les lagons comme au large.

En dépit des incertitudes qui demeurent, et au-delà du fait que les systèmes insulaires répondront de manière différenciée aux manifestations du changement climatique et de l'acidification des océans, il est certain que les contraintes environnementales, qui sont déjà fortes, vont s'accroître, et que les ressources déjà limitées qu'offrent ces îles vont diminuer ou devenir plus aléatoires qu'aujourd'hui. Par conséquent, c'est la viabilité de certaines îles coralliennes et États insulaires qui pourrait à terme être remise en question. Mais à l'heure actuelle,

la principale menace qui pèse sur la viabilité de ces îles est le mal-développement qui a, au cours des dernières décennies, dégradé les ressources disponibles et réduit par certains aspects leur résilience face aux pressions naturelles (Duvat et Magnan, 2012, 2014). Autrement dit, les principaux problèmes qui se posent aujourd'hui dans les îles coralliennes et les plaines côtières sont la pollution, les conflits fonciers, la raréfaction des ressources naturelles, etc., et non pas uniquement les effets du changement climatique et de l'acidification des océans. Dresser ce constat ne revient aucunement à nier que le changement climatique et l'acidification ont et auront des impacts majeurs, mais au contraire, à défendre l'idée que les sociétés actuelles vont devoir relever un défi qui sera sans égal avec ceux auxquels elles sont déjà confrontées aujourd'hui. Elles vont devoir faire face, avec une marge de manœuvre interne relativement réduite, à des impacts du changement climatique qui seront eux-mêmes démultipliés par les perturbations environnementales des dernières décennies, qui ont fortement accru la vulnérabilité des écosystèmes. Dans ces conditions, le changement climatique et l'acidification joueront le rôle d'accélérateurs des évolutions en cours. En réduisant la surface des îles dans un contexte de forte croissance démographique, le changement climatique va dans certains cas, par exemple, accuser les conflits fonciers. En engendrant une baisse des ressources récifales alors que les besoins alimentaires ne cessent d'augmenter, le changement climatique et l'acidification vont accélérer la dégradation et la mort des récifs dans certaines régions. La pression sur les ressources en eau va elle aussi s'accroître. Au total, il faut s'attendre à ce que la concentration de la population dans les capitales qui sont actuellement les seules zones à bénéficier de solutions alternatives (eau dessalée, produits alimentaires importés) s'accroisse, ce qui ne sera pas sans conséquences sur la sécurité alimentaire et la santé humaine notamment.

C'est donc la combinaison des effets du mal-développement, du changement climatique et de l'acidification, qui fait aujourd'hui redouter que certains archipels ne soient plus habitables à l'échéance de quelques décennies.



ENTRE CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX LIÉS AU CO₂ ATMOSPHÉRIQUE ET MAL- DÉVELOPPEMENT : LE CAS SYMPTOMATIQUE DES ATOLLS

Cette troisième section insiste sur l'importance de replacer les pressions liées au changement climatique et à l'acidification des océans dans un contexte plus général de pressions d'origine également anthropique. L'intention est de montrer combien les menaces futures prennent d'abord racine dans des problèmes actuels de « mal-développement », c'est-à-dire de non durabilité du développement, qu'illustrent en particulier la forte dégradation des écosystèmes côtiers et l'urbanisation incontrôlée. Ici, le changement climatique et l'acidification des océans vont jouer le rôle d'accélérateurs des pressions sur les conditions de vie des sociétés insulaires.

Le cas de l'archipel corallien de Kiribati (Pacifique central) permet d'illustrer ce propos (Duvat *et al.*, 2013, Magnan *et al.*, 2013). On se concentrera ici sur les effets du changement climatique, ceux de l'acidification de l'océan étant pour l'heure plus complexes à déterminer pour un cas précis comme Kiribati. Un rappel succinct des contraintes naturelles et des mutations socio-économiques des deux derniers siècles permet d'expliquer quelles sont les pressions qui pèsent actuellement sur ce pays, et en quoi le changement climatique va les amplifier. Cela démontre l'importance majeure, lorsque l'on s'interroge sur le devenir de ces espaces et populations insulaires, de croiser les dimensions physiques (processus climatiques et chimiques, écosystèmes, etc.) et humains (rapport culturel aux ressources et au risque, modes de développement, etc.) pour appréhender ces systèmes dans leur complexité géographique et historique. Autrement dit, leur vulnérabilité aux changements environnementaux à venir ne dépend pas seulement de l'évolution de la relation climat/océan. Cette base de raisonnement est fondamentale pour comprendre la vulnérabilité dans toutes ses dimensions, mais aussi pour penser des stratégies d'adaptation qui soient

localement pertinentes, cohérentes et réalistes quant à leur mise en œuvre.

Comme Tuvalu et les Maldives, Kiribati est principalement constitué d'atolls dont l'évolution dépend des réponses des coraux à la modification des conditions météo-marines. Sa zone économique exclusive (ZEE) est immense (3,5 millions de km²) et contraste avec la modestie de sa surface émergée (726 km²), laquelle est par ailleurs morcelée en un grand nombre d'îles. À l'échelle de l'atoll, l'élément dominant est le lagon, délimité par un anneau de corail qui porte des îles d'une superficie en général inférieure à 1 km². Celles-ci ne sont par ailleurs pas habitables sur toute leur surface du fait de la présence de marécages et vasières à mangrove, de la forte instabilité de leurs côtes et d'altitudes très faibles par endroits. Culminant en général entre 3 et 4 m, elles sont en effet très exposées au risque de submersion marine. Parce qu'elles sont jeunes (entre 2000 et 4000 ans), faites de sable et de débris de corail, et exposées aux agents marins, leurs sols sont pauvres et leurs ressources végétales peu diversifiées. L'eau y est rare, saumâtre (2 à 3 g. de sel/l) et très sensible aux fluctuations climatiques. Elle provient des précipitations qui s'infiltrent pour constituer une lentille souterraine peu profonde (de 1 à 2 m environ) de taille proportionnelle à celle des îles. Dans les atolls du sud de Kiribati, les sécheresses liées aux épisodes El Niño, qui peuvent durer jusqu'à 2 ans, rendent la présence d'eau aléatoire.

Sur le plan humain, trois mille ans d'histoire ont façonné une organisation territoriale basée sur une double stratégie : assurer à chaque famille un accès à la diversité (faible) des ressources terrestres et marines, et gérer rationnellement ces ressources. Le découpage des îles en lanières transversales reliant le lagon à l'océan permettait à chaque famille d'exploiter les différents milieux. L'habitat était en général implanté à une distance comprise entre 20 et 60 m de la côte lagonaire, abritée de la houle. À l'intérieur des terres, étaient cultivés le cocotier et le pandanus (bois, palmes et fruits) et, dans les zones très basses, le taro. Les familles se partageaient également l'exploitation d'écluses à poissons



côté océan et de bassins aquacoles implantés dans les zones abritées, et ramassaient en complément des coquillages et crustacés sur l'estran vaseux du lagon. Les communautés insulaires faisaient des réserves de nourriture et de noix de coco en prévision des aléas climatiques (Di Piazza, 2001). Ce système a permis de diversifier autant que possible l'alimentation de la population et d'amortir les crises dues à la fluctuation des différentes ressources. Il n'a quasiment plus cours aujourd'hui, en particulier dans les îles urbanisées, les plus peuplées (atoll de Tarawa-Sud).

En moins de deux siècles, Kiribati a connu cinq grandes mutations :

1. Le regroupement de l'habitat en villages dans les atolls ruraux et en zones urbaines dans l'atoll de Tarawa.
2. La concentration du pouvoir dans l'atoll-capitale de Tarawa, avec abandon du système d'autogestion à l'échelle de chaque atoll.
3. Le passage d'un droit coutumier riche et complexe à un droit écrit simplificateur
4. Le remplacement d'une économie de subsistance par une économie marchande
5. La déstructuration du système foncier traditionnel.

Les dernières décennies se sont par ailleurs caractérisées, notamment sous l'impulsion des progrès réalisés dans le domaine de la santé, par une explosion démographique dans l'atoll-capitale. La forte croissance de la population de Kiribati – de 38 000 habitants en 1963 à plus de 103 000 en 2010, soit +171 % ! – s'est en effet surtout concentrée dans le district urbain de Tarawa-Sud. Celui-ci abrite aujourd'hui la moitié de la population du pays sur seulement 2 % du territoire, avec une densité de population moyenne de 3 125 hab/km². Cette situation est à l'origine (i) d'une dégradation rapide des écosystèmes et des ressources, (ii) d'une perte du lien identitaire et culturel à l'environnement, (iii) d'une forte exposition des populations aux aléas météo-marins due à l'occupation de zones submersibles et instables, et (iv) d'une dépendance croissante vis-à-vis de l'aide internationale et des importations alimentaires.

L'on déduit de cela que de telles transformations, replacées dans le contexte des conclusions des sections 1 et 2 de ce texte (affaiblissement des récifs coralliens, érosion/submersion, raréfaction des ressources en eau, etc.), vont en grande partie expliquer la vulnérabilité de Kiribati au changement climatique et à l'acidification des océans.

LES MESSAGES-CLÉS À RETENIR ET LES PISTES À EXPLORER

Si leurs caractéristiques intrinsèques, tant physiques qu'anthropiques, placent les petites îles en première ligne des menaces associées au changement climatique et à l'acidification des océans, leur situation pose des questions plus universelles en ce sens que, finalement, la plupart des littoraux du monde sont eux aussi menacés par les événements météo-marins extrêmes et par la dégradation progressive des conditions de vie des écosystèmes et des sociétés. Les petites îles ne présentent donc pas des situations si marginales qu'on pourrait le penser a priori. Elles sont dès lors sources d'enseignements majeurs, dont trois principaux ressortent de ce texte.

D'abord, la vulnérabilité des territoires littoraux aux changements environnementaux futurs ne dépend pas que de l'élévation du niveau de la mer et de l'évolution des événements extrêmes. Si ce texte montre bien que ces deux facteurs de pression ont beaucoup d'importance, ils sont souvent les seuls à être invoqués dans les analyses de vulnérabilité sur le littoral. Or, ils constituent un filtre d'analyse trop étroit qui ne tient pas compte des conséquences ni du réchauffement, ni de l'acidification des océans. Or, ces deux processus vont fragiliser en profondeur les systèmes de ressources des territoires insulaires, notamment les maillons fondamentaux de la chaîne alimentaire à la côte (récifs coralliens, par exemple) comme en pleine mer (phytoplancton, par exemple).

Ensuite, la vulnérabilité ne dépend pas non plus que des seules pressions d'ordre naturel, en l'occurrence les aléas ponctuels et les changements



plus graduels des conditions environnementales. Les facteurs anthropiques vont jouer un rôle eux aussi déterminant dans le devenir des îles et, plus largement, des côtes (Duvat et Magnan, 2014). Si le changement climatique et l'acidification des océans sont des menaces réelles, il est irresponsable et dangereux de le nier, les problèmes de demain sont intimement liés à des modes actuels d'occupation de l'espace et d'exploitation des ressources qui ne sont pas durables.

Cela signifie enfin qu'engager dès maintenant, dans les îles comme sur les littoraux en général, des politiques volontaristes de réaménagement

des territoires, de protection de l'environnement et de modification du rapport des sociétés et de leurs économies aux ressources marines et côtières, constitue un pas majeur vers l'adaptation au changement climatique et à l'acidification des océans. L'identification des facteurs anthropiques de pression, qui agissent aujourd'hui, fournit finalement autant de clés de lecture pour penser et commencer à mettre en œuvre l'adaptation aux changements environnementaux (Magnan, 2013). Les responsabilités humaines sont de puissants leviers sur lesquels agir pour limiter les risques futurs.

RÉFÉRENCES

- ARNDT D. S., BARINGER M. O. and JOHNSON M. R., 2010 – *State of the Climate 2009*. Bull Am Meteorol Soc, 91 : 1-222.
- BECKER M. B., MEYSSIGNAC C., LETETREL C., LLOVEL W., CAZENAVE A. and DELCROIX T., 2012 – *Sea Level Variations at Tropical Pacific Islands since 1950*. Global Planet. Change 80-81 : 85-98.
- CAZES-DUVAT V., PASKOFF R. et DURAND P., 2002 – *Évolution récente des deux îles coralliennes du banc des Seychelles (océan Indien occidental)*. Géomorphologie, 3 : 211-222.
- CHURCH J. A. *et al.*, 2013 – *Sea Level Change*. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- CIAIS P. *et al.*, 2013 – *Carbon and Other Biogeochemical Cycles*. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- DIAMOND J., 2006 – *Effondrement : comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie*. Gallimard.
- Di Piazza A., 2001 – *Terre d'abondance ou terre de misère. Représentation de la sécheresse à Nikunau (République de Kiribati, Pacifique central)*, L'Homme, 157.
- DONEY S. C., FABRY V. J., FEELY R. A. and KLEYPAS J. A., 2009 – *Ocean Acidification: the Other CO₂ Problem*. Ann Rev Marine Sci 1 : 169-192.
- DUPONT J.-F., 1987 – *Les atolls et le risque cyclonique: le cas de Tuamotu*. Cahiers des sciences humaines, 23 (3-4) : 567-599.
- DUVAT V. et MAGNAN A., 2012 – *Ces îles qui pourraient disparaître*. Le Pommier-Belin.
- DUVAT V., MAGNAN A. and POUGET F., 2013 – *Exposure of Atoll Population to Coastal Erosion and Flooding: a South Tarawa Assessment, Kiribati*. Sustainability Science, Special Issue on Small Islands. 8 (3) : 423-440.
- V. DUVAT et A. MAGNAN, 2014 – *Des catastrophes... « naturelles » ?* Le Pommier-Belin.
- ÉTIENNE S., 2012 – *Marine Inundation Hazards in French Polynesia: Geomorphic Impacts of Tropical Cyclone Oli in February 2010*. Geological Society, London, Special Publications, 361 : 21-39.
- GATTUSO J.-P. and HANSSON L., 2011 – *Ocean Acidification*. Oxford University Press.
- GATTUSO J.-P., HOEGH-GULDBERG O. and PÖRTNER H.-O., 2014 – *Cross-Chapter Box On Coral Reefs*. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- GATTUSO J.-P., P. BREWER G., HOEGH-GULDBERG O., KLEYPAS J. A., PÖRTNER H.-O. and SCHMIDT D. N., 2014 –



Cross-Chapter Box on Ocean Acidification. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

- GLYNN P. W., MATÉ J. L., BAKER A. C. and CALDERON M. O., 2001 – *Coral Bleaching and Mortality in Panama and Ecuador during the 1997-1998 El Niño Southern Oscillation Event: Spatial/Temporal Patterns and Comparisons with the 1982-1983 Event*. *Bulletin of Marine Sciences*, 69: 79-109.
- HOEGH-GULDBERG O., 1999 – *Climate Change, Coral Bleaching and the Future of the Worlds' Coral Reefs*. *Marine and Freshwater Resources*, 50: 839-866.
- HOEGH-GULDBERG O., 2011 – *Coral Reef Ecosystems and Anthropogenic Climate Change*. *Regional Environmental Change*, 1: 215-227.
- HOEGH-GULDBERG O., CAI R., BREWER P., FABRY V., HILMI K., JUNG S., POLOCZANSKA E. and SUNDBY S., 2014 – *The Oceans*. In *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.
- HOEKE R. K., MCINNES K. L., KRUGER J. C., MCNAUGHT R. J., HUNTER J. R. and SMITHERS S. G., 2013 – *Widespread Inundation of Pacific Islands Triggered by Distant-Source Wind-Waves*. *Global and Planetary Change*, 108: 128-138.
- HOWES E. *et al.*, In Press – *The Physical, Chemical and Biological Impacts of Ocean Warming and Acidification*. *IDDR Study*.
- HUGHES T. P. *et al.*, 2003 – *Climate Change, Human Impacts and the Resilience of Coral Reefs*. *Science*, 301: 929-933.
- LEVERMANN A., CLARK P. U., MARZEION B., MILNE G. A., POLLARD D., RADIC V. and ROBINSON A., 2013 – *The Multi-Millennial Sea-Level Commitment of Global Warming*, *PNAS* 110 (34): 13745 – 13750.
- MAGNAN A., DUVAT V. et POUGET F., 2013 – *L'archipel de Kiribati entre développement non durable et changement climatique: quelles recherches pour quelle adaptation ?* *IDDR Policy Briefs*, 09/13.
- MAGNAN A., 2013 – *Éviter la maladaptation au changement climatique*. *IDDR Policy Briefs*, 08/13.
- NURSE L., MCLEAN R., AGARD J., BRIGUGLIO L. P., DUVAT V., PELESIKOTI N., TOMPKINS E. and WEBB A., 2014 – *Small Islands*. In *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.
- PÖRTNER H.-O., KARL D., BOYD P., CHEUNG W., LLUCH-COTA S. E., NOJIRI Y., SCHMIDT D. and ZAVIALOV P., 2014 – *Ocean Systems*. In *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.
- RANKEY E. C., 2011 – *Nature And Stability of Atoll Island Shorelines: Gilbert Island Chain, Kiribati, Equatorial Pacific*. *Sedimentology*, 44: 1859.
- RHEIN M. *et al.*, 2013 – *Observations: Ocean*. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- RIEGL B., 2007 – *Extreme Climatic Events and Coral Reefs: how Much Short-Term Threat from Global Change ?* *Ecological studies*, 192: 315-341.
- SOLOMON S., PLATTNER G.-K., KNUTTI R. and FRIEDLINGSTEIN P., 2009 – *Irreversible Climate Change Due to Carbon Dioxide Emissions*. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 106 (6): 1704-1709.
- TURLEY C., 2005 – *The Other CO₂ Problem*. *Open Democracy*. www.opendemocracy.net/globalization-climate_change_debate/article_2480.jsp.
- WONG P. P., LOSADA I. J., GATTUSO J.-P., HINKEL J., KHATTABI A., MCINNES K., SAITO Y. and SALLENGER A., 2014 – *Coastal Systems and Low-Lying Areas*. In *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.