



RAPPORT D'ETUDE N°2

Données scientifiques et scénarios climatiques

mai 2017



Le ministère de la Défense fait régulièrement appel à des études externalisées auprès d'instituts de recherche privés, selon une approche géographique ou sectorielle, visant à compléter son expertise interne. Ces relations contractuelles s'inscrivent dans le développement de la démarche prospective de défense qui, comme le souligne le dernier Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale, « doit pouvoir s'appuyer sur une réflexion stratégique indépendante, pluridisciplinaire, originale, intégrant la recherche universitaire comme celle des instituts spécialisés ».

Une grande partie de ces études sont rendues publiques et mises à disposition sur le site du ministère de la Défense. Dans le cas d'une étude publiée de manière parcellaire, la Direction générale des relations internationales et de la stratégie peut être contactée pour plus d'informations.

AVERTISSEMENT : Les propos énoncés dans les études et observatoires ne sauraient engager la responsabilité de la Direction générale des relations internationales et de la stratégie ou de l'organisme pilote de l'étude, pas plus qu'ils ne reflètent une prise de position officielle du ministère de la Défense.

Bastien ALEX



Bastien Alex est chercheur à l'IRIS. Il s'intéresse principalement aux impacts géopolitiques et sécuritaires du dérèglement climatique et aux enjeux énergétiques mondiaux. Ses centres d'intérêt actuels sont les liens entre changement climatique et sécurité/conflictualité et les implications géopolitiques de la révolution énergétique en cours aux Etats-Unis. Il a notamment dirigé en 2013-2014 une étude portant sur les conséquences sécuritaires du changement climatique pour le ministère de la Défense, analysant les répercussions stratégiques du phénomène mais aussi ses impacts amont/aval sur l'industrie de défense. Directeur du programme Climat, énergie et sécurité de l'IRIS, il signe, dans *L'Année stratégique*, annuaire géopolitique de l'institut, le chapitre « Energie et environnement » depuis 2013. Il est également responsable pédagogique du diplôme privé d'études fondamentales en Relations internationales au sein d'IRIS Sup'.

Alice BAILLAT



Alice Baillat est chercheuse à l'IRIS. Ses travaux sont essentiellement consacrés aux conséquences migratoires et sécuritaires des changements climatiques, ainsi qu'aux négociations internationales sur le climat. Elle s'intéresse en particulier à la situation et aux besoins spécifiques des pays en développement les plus vulnérables, ainsi qu'à leurs stratégies de négociation. Auteure de différents articles et chapitres d'ouvrage, elle a notamment contribué à *L'enjeu mondial. L'environnement* dirigé par François Gemenne et sorti aux Presses de Sciences Po en 2015. Docteure en science politique, elle a rédigé une thèse à l'IEP de Paris portant sur la diplomatie climatique du Bangladesh, soutenue en 2017. Elle enseigne par ailleurs depuis plusieurs années la politique internationale de l'environnement à Sciences Po Paris et co-anime le séminaire de recherche « Environnement et relations internationales » du Centre de Recherches Internationales (CERI).

François GEMENNE



Spécialiste des questions de géopolitique de l'environnement, François Gemenne est directeur exécutif du programme de recherche interdisciplinaire « Politiques de la Terre » à Sciences Po (Médialab). Il est par ailleurs chercheur qualifié du FNRS à l'Université de Liège, où il dirige l'Observatoire Hugo, un centre de recherche consacré aux interactions entre les migrations et l'environnement. Il enseigne également les politiques d'environnement et les migrations internationales à Sciences Po Paris et Grenoble, et à l'Université Libre de Bruxelles. Ses recherches sont essentiellement consacrées aux migrations et aux déplacements de populations liés aux changements de l'environnement, notamment aux catastrophes naturelles, ainsi qu'aux politiques d'adaptation au changement climatique. Il a participé à nombre de projets de recherches internationaux consacrés à ces questions, comme EACH-FOR, HELIX ou MECLEP). Il est aussi directeur du domaine 'Développement durable' aux Presses de Sciences Po.

Jean JOUZEL



Directeur de Recherche Emérite au CEA, Jean Jouzel a fait dans cet organisme l'essentiel de sa carrière scientifique largement consacrée à la reconstitution des climats du passé à partir de l'étude des glaces de l'Antarctique et du Groenland. De 2002 à 2015 il a été vice-président du groupe de travail scientifique du GIEC (organisation co-lauréate du Prix Nobel de la Paix en 2007). Conjointement avec Claude Lorius, il a en 2002, reçu la Médaille d'or du CNRS. En 2012, il a reçu le Prix de la Fondation Albert II de Monaco et le Prix Vetlesen, considéré comme le « Nobel des Sciences de la Terre et de l'Univers ». Depuis 2016, il est membre étranger de l'Académie des Sciences des Etats-Unis (NAS). Il a collaboré à ce rapport en tant que relecteur.

Sommaire

Auteurs	3
Table des figures	7
Introduction.....	9
Partie 1. Les évolutions du climat mondial.....	11
I. Atmosphère	11
1. Élévation de la température à la surface du globe	11
a) Observations et tendances	11
b) Principaux impacts	13
2. Modifications des régimes de précipitations	14
a) Observations et tendances	14
b) Principaux impacts	14
II. Mers et océans.....	15
1. Température océanique.....	15
a) Observations et tendances	15
b) Principaux impacts	17
2. Circulation thermohaline et courants océaniques.....	17
a) Observations et tendances	17
b) Principaux impacts	18
3. Acidification des océans	19
a) Observations et tendances	19
b) Principaux impacts	20
4. Hausse du niveau des mers	21
a) Observations et tendances	21
b) Principaux impacts	23
III. Évènements climatiques extrêmes	23
1. Observations et tendances	23
2. Principaux impacts.....	24
a) Déplacements de population	24
b) Vulnérabilités des infrastructures	26

c)	Sécurité alimentaire	27
IV.	Cryosphère	28
1.	Observations et tendances	28
2.	Principaux impacts.....	29

Partie 2. Projections régionales : tendances et impacts ...31

I.	La France et l'outre-mer face aux changements climatiques.....	31
1.	Impacts attendus en France métropolitaine	31
a)	Projections climatiques.....	31
b)	Impacts socio-économiques.....	33
2.	Impacts attendus dans les territoires d'outre-mer.....	36
a)	Projections climatiques.....	36
b)	Conséquences sur les principaux secteurs d'activité	38
II.	Impacts pour l'Afrique	45
1.	Principaux impacts physiques	45
2.	Impacts socio-économiques.....	47
a)	Sécurité alimentaire	47
b)	Tourisme et infrastructures.....	49
III.	Impacts pour l'Asie-Pacifique.....	52
1.	Principaux impacts physiques	52
2.	Impacts socio-économiques.....	53

Partie 3. Éléments de réflexion sur la typologie.....58

Bibliographie.....62

Annexes68

Augmentation observée des températures moyennes en surface.....	69
Exemples d'impacts liés aux variations des températures moyennes de surface	71
Variation de la hauteur de la surface des mers (1993-2012).....	72
Déplacements de population induits par les catastrophes naturelles (2008-2014).....	73

Exposition des populations aux cyclones	74
Exposition des populations aux inondations	74
Evolution des températures moyennes annuelles en France métropolitaine depuis 1900.....	75
Nombre de stations de ski avec enneigement assuré	76
Principales évolutions climatiques en outre-mer	77
Conditions naturelles de développement de la pêche dans les outre-mer français	78
Impacts attendus des changements climatiques sur la pêche et l'aquaculture	78
Impacts attendus des changements climatiques sur la forêt amazonienne et les mangroves	79
Impacts attendus des changements climatiques sur les aménagements littoraux	80
Impacts des changements climatiques en Afrique selon les régions.....	81
Évolution de la température et des précipitations dans les régions d'Afrique	82
Principaux impacts attendus des changements climatiques sur le secteur énergétique	83
Impacts des changements climatiques sur différents secteurs de service ...	84
Degré de risques et possibilités d'adaptation en Afrique	85

Table des figures

Tableau 1. Évolution de la température selon les différents scénarios du GIEC	11
Figure 1. Évolutions observée et projetée de la température à horizon 2100	12
Figure 2. Évolution des précipitations moyennes (entre 1986-2005 et 2081-2100)	14
Figure 3. Projections des rendements agricoles à horizon 2100	15
Figure 4. Tendance d'évolution de la température océanique entre 0 et 700m pour la période 1971-2010 (en °C par décennie)	16
Figure 5. Changement de la température de l'eau en surface selon les scénarios.....	16
Figure 6. Évolution des stocks halieutiques	19
Figure 7. Le pH des océans en surface à l'échelle du globe	20
Figure 8. Évolutions du pH en surface entre les périodes 1986-2005 et 2081-2100.....	20
Figure 8. Élévation du niveau moyen des mers à l'échelle du globe	22
Figure 9. Évolution relative du niveau de la mer de 2081 à 2100 par rapport à la période 1986-2005.....	22
Figure 10. Vulnérabilité face aux catastrophes climatiques dans le monde	24
Figure 11. Déplacements dans le monde causés par des catastrophes (2008-2013) ...	25
Figure 12. Vulnérabilité des infrastructures portuaires du golfe du Mexique face aux vagues.....	26
Figure 13. Exposition des populations au risque d'inondations en 2050	27
Figure 14. Différents indicateurs observés des évolutions du climat.....	29
Tableau 2. Impacts généraux des changements climatiques	30
Figure 15. Projections de températures en métropole	32
Figure 16. Expansion du moustique tigre et de l'Ambrosie en France métropolitaine (2030-2050)	34
Tableau 3. Impacts en France métropolitaine.....	36
Figure 17. Impacts attendus des changements climatiques sur le tourisme	39
Figure 18. Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture	40
Figure 19. Impacts attendus des changements climatiques sur la santé.....	42
Tableau 4. Impacts dans les territoires d'outre-mer	44
Figure 20. Évolution constatée et projetée de la température en Afrique	45
Figure 21. Évolution constatée et projetée des précipitations en Afrique	46
Tableau 5. Impacts en Afrique	51
Figure 22. Évolution constatée et projetée de la température en Asie.....	52
Figure 23. Évolution constatée et projetée des précipitations en Asie	53
Figure 24. Panorama des principaux impacts socio-économiques en Asie-Pacifique .	54
Tableau 6. Une urbanisation croissante en Asie	54
Figure 25. Simulation d'une hausse du niveau de la mer de 6 mètres en Asie	56
Tableau 7. Impacts en Asie-Pacifique	57

"La science montre à présent avec 95% de certitude que depuis la fin du XXe siècle, l'activité humaine est la cause principale du réchauffement observé" (GIEC, 2013, p. v.)

Introduction

Il est aujourd'hui établi sans équivoque que les activités humaines sont les premiers moteurs des changements climatiques. On détecte cette influence anthropique dans le réchauffement de l'atmosphère et des océans, dans les changements du cycle global de l'eau, dans le recul des neiges et des glaces, dans l'élévation du niveau moyen des mers et dans la modification de certains extrêmes climatiques.

L'objectif de ce second rapport est de présenter les évolutions climatiques et leurs impacts selon deux scénarios de réchauffement : le premier se fonde sur une augmentation de la température moyenne de surface de 2°C à l'horizon 2100, et se confond avec le scénario le plus optimiste établi par le GIEC (RCP2.6), dont les rapports constituent à ce jour la plus grande base de données climatiques disponibles ; le second porte sur une augmentation de 5°C à l'horizon 2100, et correspond quasiment au scénario le plus pessimiste (RCP8.5). L'objectif de l'Accord de Paris¹, conclu à la COP21 de 2015, est de limiter la hausse de la température terrestre moyenne à 2°C, et si possible 1,5°C, d'ici 2100. Les scientifiques s'accordent néanmoins à dire que cet objectif sera difficile à atteindre, et ne correspond pas du tout à l'évolution actuelle de nos émissions de gaz à effet de serre. Beaucoup envisagent désormais une hausse de la température moyenne de 5°C d'ici 2100, alors que ceci semblait encore un scénario de science-fiction il y a quelques années.

Autant que faire se peut, les impacts physiques mais aussi socio-économiques et sanitaires de ces deux scénarios sont évalués aux horizons 2030 et 2050. Toutefois, les variations entre les deux scénarios demeurent, selon les enseignements tirés de la littérature existante, souvent minces voire imperceptibles en 2030. Ils peuvent être plus facilement décelables à 2050, quoique les impacts des changements climatiques soient déterminés environ 50 ans à l'avance, en raison de l'inertie du système climatique : il s'écoule à peu près deux générations entre le moment des émissions de gaz à effet de serre et la matérialisation de leurs impacts. Les impacts pour 2050 sont donc largement connus, et dépendent de nos émissions passées, et non futures.

De même, la question des seuils de rupture (*tipping points*), bien que fondamentale, n'est guère intégrable dans un travail prenant en compte des horizons temporels à court terme, puisqu'aucun seuil ne devrait être franchi avant 2050, même selon le scénario RCP8.5.

L'AR5 étant à ce jour l'évaluation la plus détaillée sur les tendances et les impacts des changements climatiques, à l'échelle globale mais aussi régionale, il a été privilégié pour nourrir cette étude. Les auteurs se sont aussi efforcés d'intégrer des éléments issus de publications plus récentes.

Ce rapport est construit de la manière suivante : la première partie revient sur les grandes variations climatiques, observées et attendues, au niveau global ; la seconde se concentre sur les projections régionales pour la France et l'outre-mer, l'Afrique et le Pacifique ; la troisième met à jour la typologie de crises esquissée dans le premier rapport, en l'enrichissant des résultats tirés de cette nouvelle étude.

¹ Les Etats-Unis ont annoncé leur sortie de l'accord de Paris le 1^{er} juin 2017. Elle ne sera effective qu'en 2020 car un délai de trois ans de réflexion est prévu par le texte après ratification et la sortie ne peut être réalisée qu'après un préavis d'un an. Le président Trump a toutefois annoncé que les crédits au Fonds vert ne seraient pas versés (2 milliards de dollars) et que la contribution à l'effort de réduction des émissions de GES proposée par les Etats-Unis à la COP21 était désormais caduque. De nombreuses collectivités américaine, Etats (Californie) comme municipalités (New York) ont protesté contre cette décision et assuré vouloir poursuivre l'application de l'Accord de Paris, ce qui rend l'estimation de la trajectoire d'émission américaine difficile.

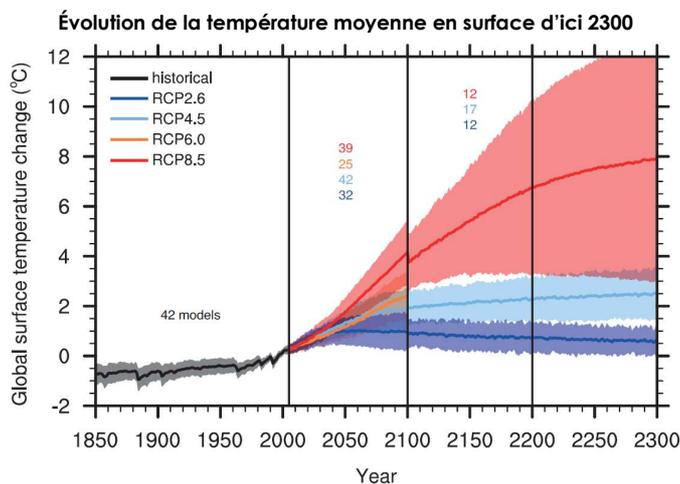
Les scénarios du GIEC

À partir des statistiques sur le volume de rejets des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, les climatologues proposent, grâce à des modèles informatiques, des simulations d'évolution de la température et de ses impacts à différents horizons. Sont ainsi définis des scénarios évaluant une température moyenne en fonction du niveau de concentration de GES dans l'atmosphère. Le 5^e rapport du GIEC (AR5) apporte une innovation majeure par rapport au précédent (AR4) avec un changement dans la méthodologie de l'élaboration de ces scénarios.

Dans l'AR4, le travail d'élaboration des scénarios combine successivement des raisonnements d'analyse socio-économique et de physique climatique : la température est évaluée en fonction de l'évolution des niveaux d'émissions au cours du temps, et elle-même calculée en fonction de scénarios politico-économiques, suivant le principe stipulant que les émissions de GES dépendent des choix politiques qui seront effectués durant la période considérée. Cette méthode aboutit à un ensemble de scénarios et sous-scénarios, reposant sur plusieurs paramètres tels que le rythme de la croissance économique, l'évolution démographique, le type de mix énergétique, les disparités entre régions du monde, etc. Toutefois, le revers de la précision produite est une faible lisibilité des résultats.

Ce système complexe a été simplifié pour l'AR5². Dans le cadre d'une collaboration internationale baptisée CMIP-5 (*Coupled model intercomparison project*³), indépendante du GIEC, les scientifiques ont simulé le climat terrestre à l'aide de plusieurs dizaines de modèles, puis publié leurs résultats. Ces nouveaux scénarios ne sont pas définis par le GIEC, mais ont été établis par la communauté scientifique pour les besoins de l'organisation (Moss et al., 2010).

Les auteurs du GIEC se sont alors saisis de ces résultats pour dégager un consensus. À ce stade, ils ont adopté au préalable quatre profils d'évolution de concentration de GES représentatifs d'un accroissement du bilan énergétique : les RCP (*Representative concentration pathways*). À partir de ceux-ci, les experts des différentes disciplines ont travaillé simultanément, les climatologues créant des projections en utilisant ces RCP comme matériau de base et les économistes élaborant des scénarios sur des émissions de GES cohérents avec les RCP. Ces scénarios sont nommés en fonction du forçage radiatif consécutif aux émissions de GES. Le forçage radiatif, exprimé en watts par m² (W.m⁻²), est le changement du bilan radiatif résultant de ces rejets. Il était en 2011 de 2,84 W.m⁻². On a abouti à quatre scénarios représentant des forçages radiatifs de 2,6 W.m⁻² (correspondant à un réchauffement de 1,8 °C) ; 4,5 W.m⁻² (correspondant à 2,5°C) ; 6 W.m⁻² (3°C) et 8,5 W.m⁻² (4,5°C). La présentation finale est ainsi beaucoup plus compréhensible, et se résume à quatre scénarios.



Selon le scénario le plus vertueux (et le plus improbable, puisqu'il suppose que l'on aurait des émissions de gaz carbonique négatives à partir de 2070, autrement dit que l'on nettoierait l'atmosphère), la température terrestre augmenterait probablement de 0,3 à 1,7°C en 2100, par rapport à la moyenne mesurée entre 1986 et 2005. Rappelons que l'engagement pris dans l'Accord de Paris de limiter si possible le réchauffement à 1,5°C est encore plus ambitieux, mais encore moins plausible⁴.

Selon le scénario le plus « réchauffant », la hausse serait probablement comprise entre 2,6 et 4,8°C. Cette évolution se traduirait par une montée du niveau des océans de 26 à 55 cm dans le cas le plus optimiste, et de 45 à 82 cm, dans le cas le plus pessimiste, valeurs ici aussi calculées par rapport à la moyenne entre 1986 à 2005, et globalement par un ensemble de risques beaucoup plus important que ce que l'on peut attendre d'un réchauffement de 2°C par rapport à l'ère préindustrielle.

Rappelons qu'un consensus s'est dégagé depuis quelques années pour tenter de limiter à 2°C le réchauffement de la température moyenne à la surface du globe. D'abord formulé officiellement en 2007 par la Commission européenne⁵, cet objectif a ensuite été adopté par la communauté internationale lors de la COP15 à Copenhague en 2009.

Il est essentiel de noter, à ce stade, que l'évolution des émissions depuis une vingtaine d'années suit le rythme du scénario le plus émissif.

²Voir : ONERC, *Découvrir les nouveaux scénarios RCP et SSP utilisés par le GIEC*, septembre 2013, <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Decouvrir-les-nouveaux-scenarios.html>.

³ <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>.

⁴ Un rapport du GIEC sur les implications d'un réchauffement de 1,5°C (SR1.5) est attendu pour 2018.

⁵ Communication de la Commission, *Limiter le réchauffement de la planète à 2 degrés Celsius Route à suivre à l'horizon 2020 et au-delà*, mai 2007, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0002:FIN:FR:HTML>.

Partie 1. Les évolutions du climat mondial

I. Atmosphère

1. Élévation de la température à la surface du globe

a) Observations et tendances

Les conclusions du 5e rapport d'évaluation (AR5) du GIEC sont formelles : les activités humaines, en particulier celles émettrices de dioxyde de carbone, sont principalement responsables du réchauffement du système climatique observé actuellement (95% de chances). **La moyenne globale des températures de surface (terres et océans) a augmenté de 0.85°C entre 1880 et 2012** (Fig.1) (Stocker et al., 2013, p.5).

Chacune des trois dernières décennies a été plus chaude que la précédente, et que toutes les autres décennies depuis 1850⁶. Les mesures ont enregistré les dix années les plus chaudes depuis 1850 entre 1998 et 2010. Ces données démontrent que les températures sont toujours en hausse, malgré le « palier des températures » observable depuis 1998 – la hausse est moins claire depuis cette date – et utilisé par les climato-sceptiques pour démentir l'idée d'un réchauffement anthropique de la surface du globe⁷. De plus, **l'AR5 revoit à la baisse l'effet refroidissant des aérosols**, ces fines particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère et émises par les activités humaines ou naturelles (volcans, incendies de forêts).

Tableau 1. Évolution de la température selon les différents scénarios du GIEC

	Scénario	2046–2065		2081–2100	
		moyenne	plage probable ^c	moyenne	plage probable ^d
Évolution de la température moyenne à la surface du globe (°C) ^a	RCP2,6	1,0	0,4 à 1,6	1,0	0,3 à 1,7
	RCP4,5	1,4	0,9 à 2,0	1,8	1,1 à 2,6
	RCP6,0	1,3	0,8 à 1,8	2,2	1,4 à 3,1
	RCP8,5	2,0	1,4 à 2,6	3,7	2,6 à 4,8

Source : GIEC, 2013, p.23

Entre 2016 et 2035, il est probable que les températures augmentent entre 0.3 et 0.7 °C selon les scénarios, par rapport à la période 1986-2005, soit une hausse de 1 à 1,4°C par rapport à 1850⁸. Cette élévation des températures moyennes sera plus importante dans les régions tropicales et subtropicales que dans les moyennes latitudes. Des régions d'outre-mer, comme les Antilles ou la Polynésie française, risquent donc d'être plus rapidement affectées par ces variations climatiques que la métropole française.

D'ici 2100, seul le scénario le plus optimiste et le plus ambitieux du GIEC (RCP2.6) permet encore d'espérer maintenir la hausse des températures sous le seuil de 2°C, par rapport à

⁶ Voir annexe 1.

⁷ Il n'existe pas de consensus parmi les climatologues pour expliquer pourquoi les températures n'augmentent pas aussi rapidement que prévu. Une des explications les plus souvent évoquées est que les océans absorbent naturellement une partie de la chaleur de la planète. Une autre est que le cycle actuel de refroidissement de l'océan Pacifique contribuerait à réduire la hausse des températures atmosphériques. Ce « palier » serait donc le résultat des variations naturelles du climat.

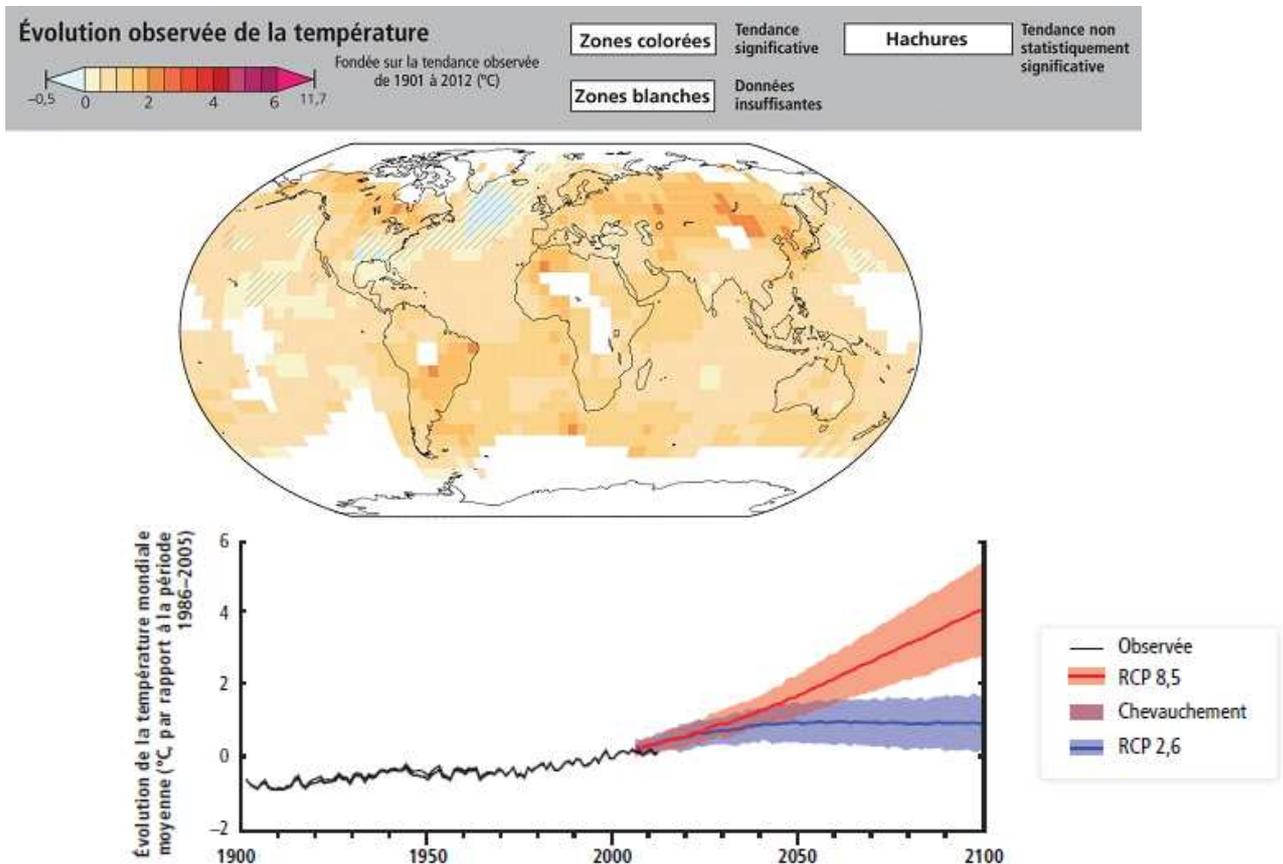
⁸ Dans le 5^e rapport du GIEC, tous les chiffres sont donnés par rapport aux moyennes constatées à la fin XX^e siècle (sur la période 1986-2005). Cependant, entre le début de l'ère industrielle (1850) et 1986, les températures avaient déjà augmenté de 0,6 à 0,7°C. Il faut donc ajouter 0,7°C aux estimations du GIEC pour constater l'impact de notre mode de vie « industrialisé » sur le climat durant la période 1850 et 2005.

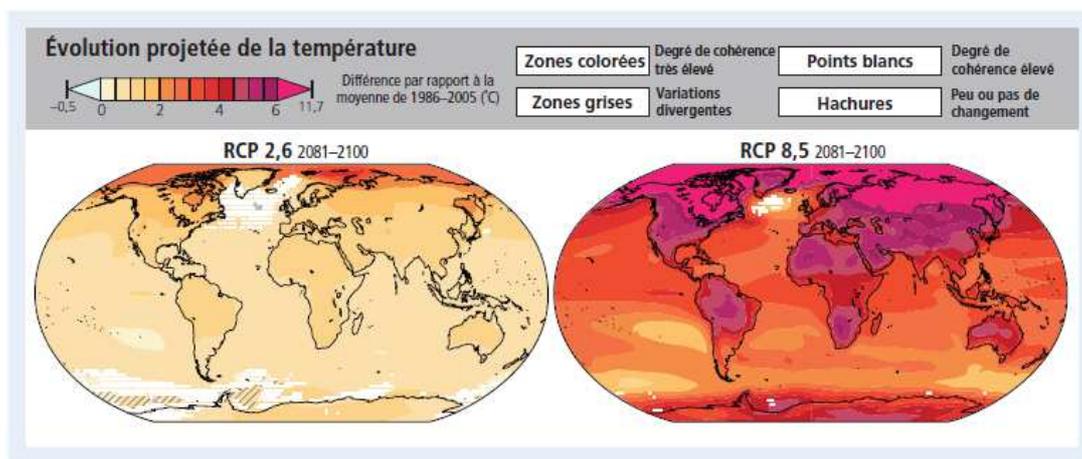
l'ère préindustrielle (1850) (Tab.1 et Fig.1). Pour atteindre cet objectif, **il faudra impérativement réduire les émissions totales de gaz à effet de serre (GES) d'au moins 10% par décennie**, soit un effort global considérable.

Le scénario le plus pessimiste (RCP8.5), qui correspond à la prolongation des émissions actuelles sans effort de réduction, **prévoit une hausse des températures pouvant aller jusqu'à +4,8°C en 2100** (Fig.1).

Dans tous les scénarios envisagés, à l'exception du RCP2.6, le réchauffement de la planète se poursuivra après 2100. Dans tous les cas, il ne sera pas uniforme d'une région à l'autre. Les régions continentales connaîtront des extrêmes chauds plus nombreux, et des extrêmes froids moins nombreux. Les zones subtropicales deviendront plus sèches, à cause de la diminution des précipitations. À l'inverse, il est probable que la fréquence et l'intensité des fortes pluies augmentent dans les hautes latitudes.

Figure 1. Évolutions observée et projetée de la température à horizon 2100





Source : GIEC, 2014, p10.

b) Principaux impacts

Les changements climatiques augmenteront considérablement les **risques de phénomènes météorologiques extrêmes** (vagues de chaleur, précipitations extrêmes, inondations des zones côtières, etc.). Dans le scénario RCP8.5, les vagues de chaleur qui surviennent actuellement dans le monde pourraient doubler ou tripler de fréquence.

Avant 2050, l'augmentation de la température aura des impacts sur la **santé humaine**, en exacerbant principalement les problèmes préexistants (Field et al., 2014)⁹. Les problèmes de malnutrition et de sous-nutrition augmenteront dans les régions défavorisées, avec la baisse des rendements agricoles et de la production alimentaire. Les variations locales de température et de précipitations modifieront également la répartition de certaines maladies, notamment celles d'origine hydrique ou transmises par les moustiques.

Les facteurs non climatiques (évolution démographique, vieillissement de la population, avancées technologiques, réglementation, gouvernance, etc.) continueront à avoir une incidence plus forte que celle des changements climatiques dans la plupart des secteurs économiques. Mais **certaines activités humaines normales, comme l'agriculture et le travail à l'extérieur, souffriront avant la fin du siècle de l'élévation de la température et du taux d'humidité dans l'air**. Les besoins énergétiques des infrastructures varieront également en fonction de ces changements.

La hausse des températures aura des **conséquences graves sur des écosystèmes déjà fragiles et menacés**, comme la banquise de l'Arctique et les récifs coralliens. Elle pourrait conduire à la disparition de plusieurs espèces, et à une élévation du niveau de la mer plus ou moins importante selon les scénarios. Cela conduira à des inondations côtières plus intenses et plus fréquentes, ainsi qu'à un effacement du trait de côtes (érosion). Ces phénomènes auront des impacts majeurs sur l'habitabilité et l'attractivité des littoraux.

⁹ Voir annexe 2.

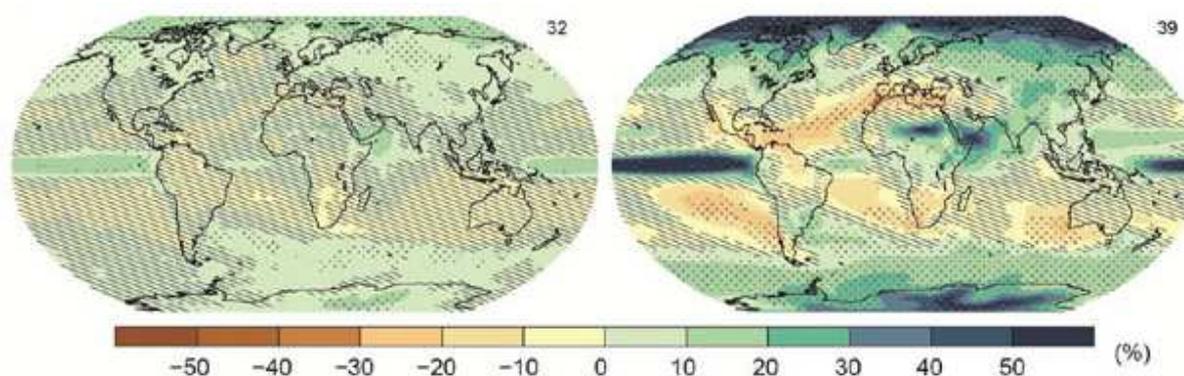
2. Modifications des régimes de précipitations

a) Observations et tendances

La variation des précipitations est, de manière générale, plus difficile à mesurer et à interpréter que celle des températures, compte tenu de leur forte variabilité naturelle et de l'influence de mécanismes physiques complexes comme El Niño (Kergomard, 2012). Depuis la parution de l'AR4, le GIEC constate cependant une certaine **amélioration dans la simulation de l'évolution des précipitations terrestres à l'échelle globale**.

En moyenne, le GIEC prévoit, d'ici la fin du siècle, des **précipitations plus abondantes et des épisodes de précipitations extrêmes plus fréquents dans les masses continentales des hautes et moyennes latitudes, et dans les régions tropicales humides**. À l'inverse, **les régions arides et semi-arides des moyennes latitudes et des régions subtropicales subiront une baisse des précipitations**, et une aggravation et augmentation des sécheresses (Fig.2).

Figure 2. Évolution des précipitations moyennes (entre 1986-2005 et 2081-2100)



Source : GIEC, 2013, p.22

Légende : Les deux cartes montrent les changements dans les précipitations moyennes annuelles pour la période 2081-2100, par rapport à la période 1986-2005, en fonction de deux scénarios, RCP2.6 (à gauche) et RCP8.5 (à droite).

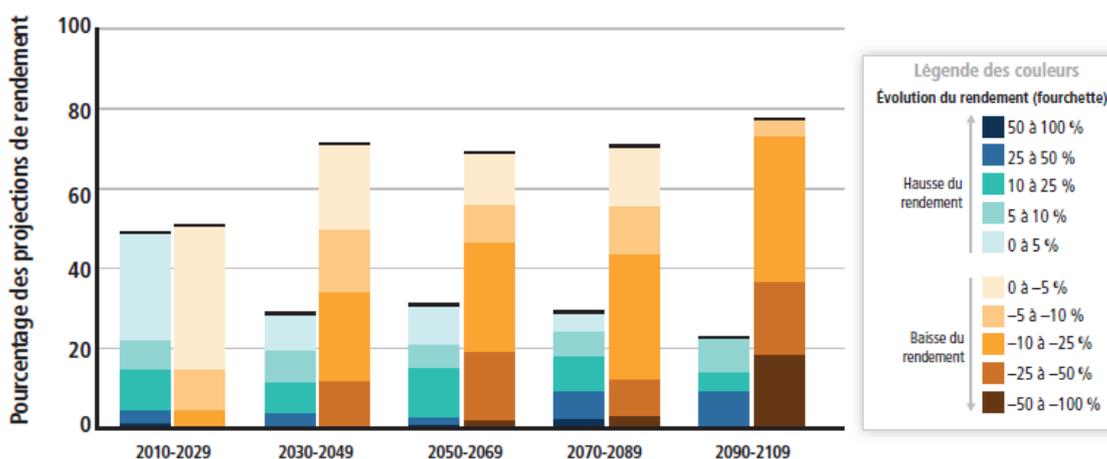
b) Principaux impacts

L'agriculture reste fortement dépendante de la pluviométrie et de l'ensoleillement, et donc du climat, malgré l'usage de pesticides et d'engrais pour améliorer la productivité. La baisse des précipitations dans les régions arides et semi-arides aura des **conséquences importantes sur les rendements agricoles et le prix des produits alimentaires**, à cause de l'augmentation de la fréquence, de l'intensité et de la durée des sécheresses, et d'une désertification croissante.

La figure 3 présente des projections pour le XXI^e siècle correspondant à différents scénarios d'émissions, pour les régions tropicales et tempérées. Par exemple, il montre que pour la période 2030-2049, 30% des projections font état d'une hausse des rendements comprise entre 0 et 50% par rapport au niveau de la fin du XX^e siècle, et 70% prévoient au contraire une baisse pouvant aller jusqu'à 100%. Au-delà de 2050, la possibilité de chute des rendements agricoles augmente. Toutefois, ce travail de prospective agricole, en intégrant les changements climatiques, demeure très complexe à mener. Il est notamment difficile d'établir un point de comparaison précis, car la distinction entre les changements

environnementaux et climatiques relevant de la variabilité naturelle du climat et ceux imputables au réchauffement climatique d'origine anthropique reste quasi impossible (Porter et al., 2014, p491).

Figure 3. Projections des rendements agricoles à horizon 2100



Source : GIEC, 2014, p18

Des épisodes de pluies diluviennes seront à l'origine de crues importantes, et augmenteront notamment les **risques de glissements de terrain et d'inondations**. Ces phénomènes extrêmes endommageront les infrastructures côtières et urbaines, en l'absence de mesures de protection, ainsi que les chaînes d'approvisionnement. Des **incidences sur la santé publique** sont également à prévoir, liées à la dégradation de la qualité de l'eau et au stress hydrique.

II. Mers et océans

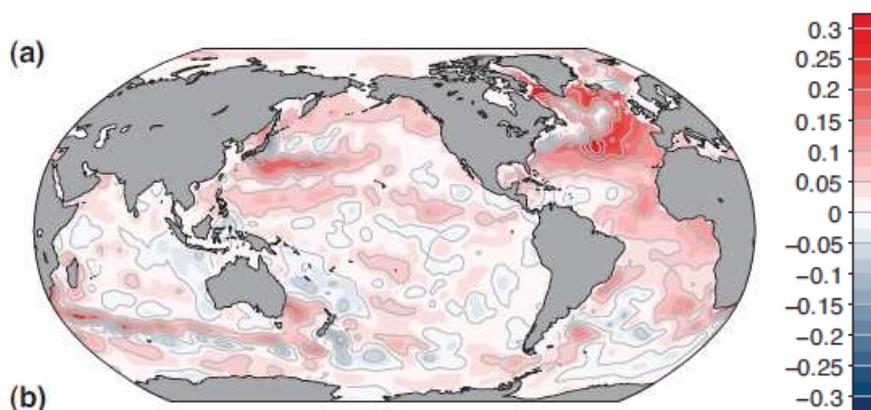
Les mers et les océans, qui recouvrent près de 70% de la surface du globe, sont des acteurs clés du système climatique en raison des échanges d'énergie permanents entre eux et l'atmosphère. Ils sont, entre autres via le plancton océanique, les principaux puits de carbone, devant les forêts, les tourbières et les prairies. Depuis le début de l'ère industrielle, le GIEC estime qu'ils ont absorbé près du tiers des émissions de GES. Cette captation a provoqué une acidification des eaux qui, de plus, se réchauffent, voient leurs courants se modifier et leurs niveaux s'élever.

1. Température océanique

a) Observations et tendances

Selon le GIEC, **les mers et les océans connaissent**, comme les terres émergées, **un accroissement de température, en surface comme en profondeur**. Ce réchauffement est plus marqué dans les couches supérieures (entre 0 et 700 m de profondeur) et à proximité de la surface (Fig.4). Ainsi, les 75 premiers mètres de profondeur se sont réchauffés en moyenne de 0,11°C par décennie sur la période 1971-2010 (GIEC, 2013, p8).

Figure 4. Tendence d'évolution de la température océanique entre 0 et 700m pour la période 1971-2010 (en °C par décennie)

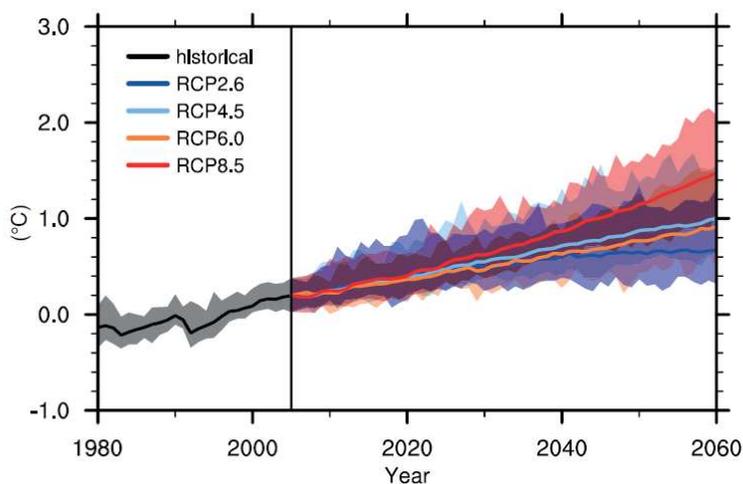


Source : Rhein, M. et al, p. 261, 2013.

Le réchauffement océanique constitue l'essentiel de la hausse de la quantité d'énergie emmagasinée au sein du système climatique et représente plus de 90 % de l'énergie accumulée entre 1971 et 2010 (degré de confiance élevé). Il est quasiment certain que l'océan superficiel (jusqu'à 700 m de profondeur) s'est réchauffé entre 1971 et 2010, et ce dernier s'est probablement réchauffé entre les années 1870 et 1971. (GIEC, 2013, p8).

D'après les projections, le réchauffement le plus fort concernera l'océan superficiel des régions tropicales et des régions subtropicales de l'hémisphère Nord. Plus en profondeur, le réchauffement sera le plus prononcé dans l'océan Austral. Les estimations les plus probables du réchauffement de l'océan sur les cent premiers mètres sont d'environ 0,6 °C (RCP2.6) à 2,0 °C (RCP8.5) et d'environ 0,3 °C (RCP2.6) à 0,6 °C (RCP8.5) à une profondeur d'environ 1 000 m vers la fin du XXI^e siècle (GIEC, 2013, p24).

Figure 5. Changement de la température de l'eau en surface selon les scénarios



Source : Kirtman, B. et al, 2013, p993.

Le GIEC prévoit, à horizon 2030, une hausse de 0,5°C pour le RCP2.6 à 0,6°C pour le RCP8.5 ; à l'horizon 2050, une hausse de 0,6°C pour le RCP2.6 et 1,1°C pour le RCP8.5 (avec un maximum de 2°C).

b) Principaux impacts

Cette hausse de la température provoque une **dilatation des masses d'eau, et donc une augmentation de leur volume, qui est le phénomène moteur de la hausse générale du niveau des mers**. Selon le GIEC, cette dilatation serait responsable de 40% de la hausse du niveau de la mer durant la période 1971-2010. L'impact de la fonte des glaces ayant été longtemps sous-estimé, la contribution de la dilatation des masses d'eau au phénomène d'élévation du niveau de la mer et celle de la fonte des glaces devrait être, à l'avenir et quel que soit le RCP, quasiment équivalente.

Le réchauffement de la température des océans soulève également un **risque de libération des hydrates de méthane** contenu dans le plancher océanique (Gattuso, 2011). Ces hydrates constituent un amas de molécules d'eau et de méthane dont la stabilité dépend de conditions (température basses et pressions élevées) et que l'on retrouve dans le pergélisol profond, les plateaux océaniques, les talus continentaux et les sédiments des grands fonds marins. L'augmentation de la température de l'eau pourrait déstabiliser ces hydrates et provoquer la libération de CH₄ dans l'océan qui pourrait se frayer un chemin jusqu'à l'atmosphère et **participer à l'amplification du réchauffement planétaire**. Toutefois, on estime que les grands fonds océaniques mettraient plusieurs siècles voire millénaires avant de se réchauffer suffisamment pour impacter la stabilité des hydrates, qui pourraient de plus être consommés par des micro-organismes au cours de leur remontée vers la surface. **Les hydrates de méthane contenus dans le pergélisol pourraient pour leur part connaître une libération beaucoup plus rapide** (GIEC, 2013, p142)¹⁰.

2. Circulation thermohaline et courants océaniques

a) Observations et tendances

La circulation thermohaline désigne le déplacement des masses d'eau océaniques sous l'action des principaux courants profonds, le Gulf Stream étant l'un des plus connus. Cette circulation dépend de la température, de la salinité (d'où son nom) mais aussi des vents et des marées. Le phénomène le plus étudié est l'AMOC (*Atlantic Meridional Overturning Circulation*) que l'on observe dans le bassin Atlantique. Celui-ci influe sur le climat régional, les intempéries, les températures, etc. Le système océanique étant plus stable que le système atmosphérique, il est moins complexe à étudier mais sans pour autant être plus facile à prédire.

Il est très probable que les effets des changements climatiques aient conduit, depuis les années 1950, à une salinisation des eaux de surface des moyennes latitudes, en raison d'une forte évaporation, et, a contrario, dans les régions tropicales et polaires, à l'adoucissement de ces eaux de surface du fait des précipitations. La différence moyenne entre les régions à forte et faible salinité a ainsi augmenté de 1950 à 2008. Ainsi, la salinité de l'Atlantique a augmenté tandis que celle de l'océan Pacifique et de l'océan Austral a diminué. Cette évolution de la salinité des eaux a une influence sur le phénomène de convection océanique, lorsque les eaux refroidies et salées plongent vers les fonds marins dans l'Atlantique nord.

¹⁰ Voir aussi la section sur la cryosphère, p27.

Selon les travaux du GIEC, il est aujourd'hui difficile, même après 10 ans d'une observation fine de l'AMOC de dégager une tendance. En détails, cela se vérifie par des hypothèses qui peuvent sembler contradictoires. Ainsi, le 5e rapport affirme qu'« il est *très probable* que la circulation méridienne océanique de retournement de l'Atlantique (AMOC) va s'affaiblir à partir de 2050 » mais également qu'elle « pourrait augmenter au cours de certaines décennies en raison de l'importante variabilité naturelle interne » (GIEC, 2013, p7). Ceci étant, un faisceau d'indices indique qu'un affaiblissement de l'AMOC a tendance à enrayer le transport de chaleur vers l'Atlantique Nord et à faire glisser la zone de convergence intertropicale (ZTIC) vers le Sud, ce qui augmente le risque de sécheresse au Sahel (c'est ce qui s'est produit dans les années 1970 et 1980 en Afrique).

Le GIEC ajoute qu'il est, selon les scénarios pris en compte, « *très improbable* que l'AMOC subisse une transition brutale ou s'effondre au cours du XXI^e siècle ». Le *degré de confiance* est faible en raison du nombre limité d'analyses et du caractère ambigu des résultats, bien que cette hypothèse ne puisse être totalement exclue.

b) Principaux impacts

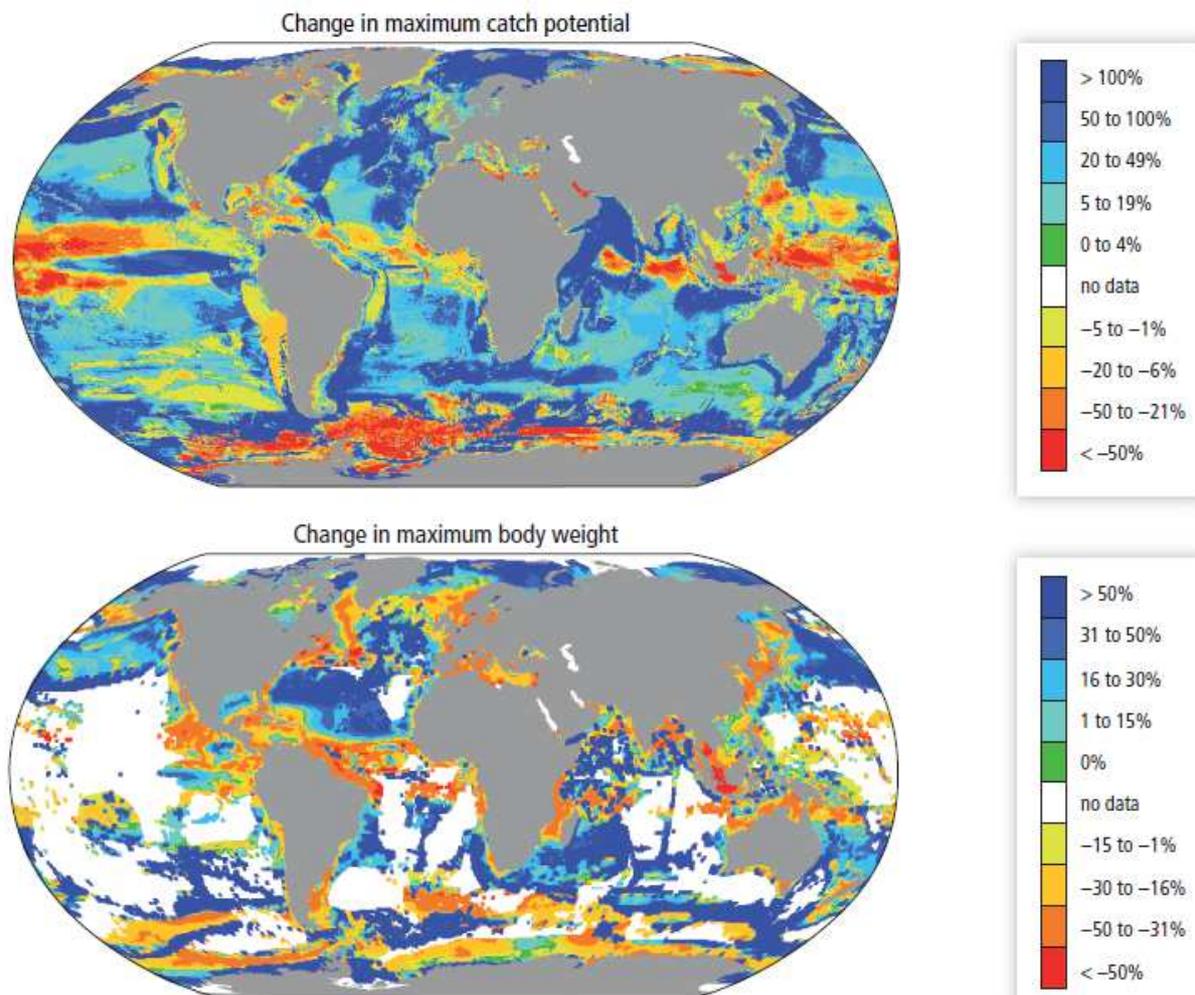
Les courants marins peuvent se modifier en raison du réchauffement des océans et de l'évolution de la salinité – lié à la fonte des glaces et aux précipitations qui conduisent à un apport d'eau douce. Les mécanismes à étudier sont toutefois d'une intense complexité ce qui rend délicat toute projection, comme l'illustre le débat au sein de la communauté scientifique (Foucart, 2006). Leur évolution voire leur arrêt dans le cas du Gulf Stream fait parfois craindre un net refroidissement des températures, scénario qui est développé dans le film catastrophe *Le jour d'après* sorti en 2004. Cette hypothèse est toutefois formellement écartée par les scientifiques, même en cas d'arrêt brutal du Gulf Stream à la fin du siècle.

Le phénomène El Nino dure une année et se produit tous les 3 à 7 ans, généralement suivi du phénomène la Nina. Couramment désigné par l'expression El Nino-Southern Oscillation (ENSO), ce phénomène consiste en un réchauffement de la température de surface de l'océan Pacifique équatorial oriental, ce qui modifie la circulation atmosphérique le long de l'équateur et impacte l'ensemble du globe, provoquant par exemples d'intenses sécheresses en Australie, d'importants épisodes pluviométriques en Amérique du Sud mais aussi une augmentation des cyclones en Polynésie. L'impact sur l'aquaculture est aussi très important puisque l'épisode 2016 aurait favorisé l'efflorescence algale au Chili, tuant les poissons par manque d'oxygène pour un coût estimé à 800 millions de dollars en 2016. (Laffoley et Baxter, 2016, p453-454).

L'hypothèse d'un « El Niño permanent perturbant durablement les conditions climatiques intertropicales reste peu probable (Bossy, 2013). Toutefois, les prévisions vont dans le sens d'une augmentation des impacts du phénomène El Nino dans les décennies à venir.

Les phénomènes à l'origine de la modification des courants marins auront des conséquences sur les écosystèmes océaniques et sur les **ressources halieutiques** (déplacements des ressources voire réduction du poids moyen des prises) (Fig.6). **L'impact sur la sécurité alimentaire pourrait être important** sachant que les ressources halieutiques fournissent au moins 15% de l'apport moyen journalier en protéines à 4,3 milliards d'êtres humains. D'ici 2050, 75 millions de tonnes de poissons supplémentaires seront nécessaires annuellement pour nourrir 9 milliards d'êtres humains. Les variations des stocks (augmentation aux hautes latitudes, réduction aux basses et moyennes) en fonction des régions risquent de complexifier la donne (Laffoley et Baxter, p454).

Figure 6. Évolution des stocks halieutiques



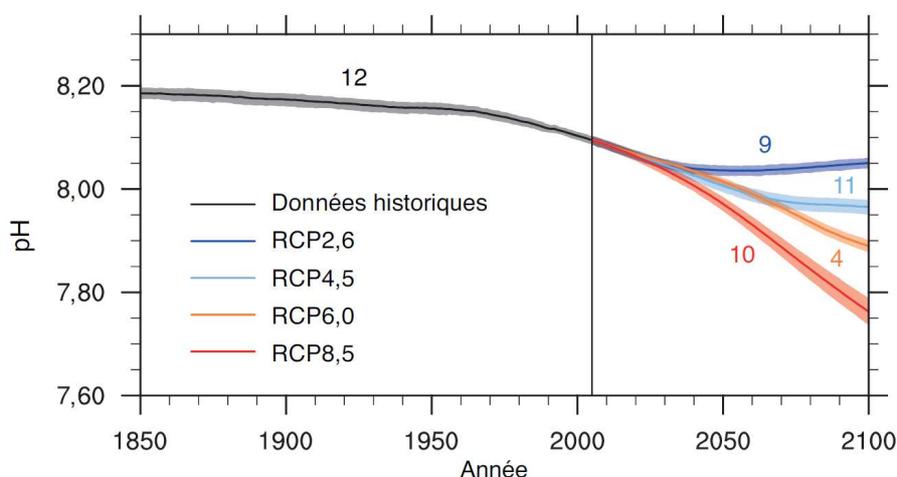
3. Acidification des océans

a) Observations et tendances

L'acidification des océans est un phénomène découlant principalement de l'**accroissement de la teneur en CO₂ des eaux des mers et des océans**. En effet, l'augmentation de la concentration de GES dans l'atmosphère, et notamment du CO₂, sollicite ardemment la fonction de puits de carbone des océans, si bien qu'il en résulte une acidification (Fig.7). Le GIEC estime ainsi, avec un degré de confiance élevé, que le pH de l'eau de mer a diminué de 0,1 depuis le début de l'ère industrielle, ce qui correspond à une augmentation de 26% de la concentration en ions hydrogène qui sert d'étalon pour le calcul du pH¹¹.

¹¹ Rappelons que le pH se déplace sur une échelle logarithmique : un liquide pH 6 est 10 fois plus acide qu'un liquide de pH 7, 100 fois plus acide qu'un liquide de pH 8, etc.

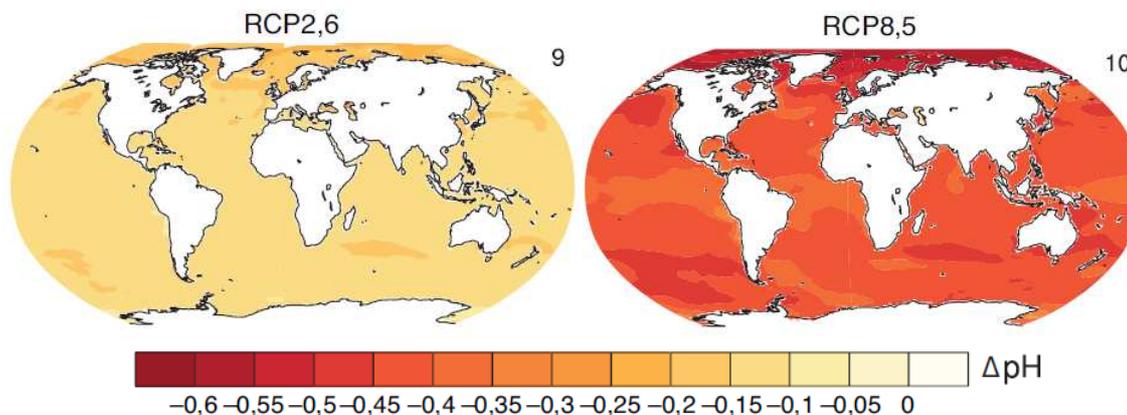
Figure 7. Le pH des océans en surface à l'échelle du globe



Source : GIEC, 2013, p. 95.

Les projections de modèles du système Terre indiquent une augmentation de l'acidification des océans pour tous les RCP. Les intervalles de la baisse attendue du pH de l'océan de surface vers la fin du XXI^e siècle sont de 0,06 à 0,07 pour le RCP2,6, de 0,14 à 0,15 pour le RCP4,5, de 0,20 à 0,21 pour le RCP6,0 et de 0,30 à 0,32 pour le RCP8,5 (Fig.8). Les zones exposées à une acidification la plus importante semblent être les pôles.

Figure 8. Évolutions du pH en surface entre les périodes 1986-2005 et 2081-2100



Source : GIEC, 2013, p. 95.

b) Principaux impacts

L'acidification des océans a de nombreux impacts qui commencent seulement à être étudiés. L'idée forte à retenir est que **cette acidification modifie la chimie des océans en faisant augmenter la concentration en ions hydrogènes (H⁺)**. Cela entraîne la disparition d'autres molécules comme les ions carbonates (CO₃²⁻) qui jouent pour leur part un rôle important puisqu'ils permettent aux animaux marins et aux végétaux de constituer leurs squelettes, coquilles ou d'autres structures calcaires. **Concrètement, cela pourrait affecter la chaîne alimentaire si les coraux, qui servent de nourriture à nombre d'espèces, étaient touchés**. Les zones les plus concernées seraient par ailleurs les pôles, les fonds marins, les récifs coralliens et les bords de mer.

Toutefois, il demeure encore très difficile d'évaluer comment l'acidification impacte tel ou tel phénomène en comparaison d'autres facteurs. Ainsi cumulés, les effets des variations de température de l'eau, celles des courants marins et l'évolution de la salinité, pourraient être importants. Selon le GIEC, « d'ici 2050, les déplacements des espèces marines changeront leur répartition spatiale qui augmentera aux latitudes moyennes et hautes (haute confiance) et diminuera dans les latitudes tropicales (confiance moyenne), ce qui entraînera une redistribution globale du potentiel de capture des poissons et invertébrés, avec des implications pour la sécurité alimentaire (confiance moyenne). » (Pörtner et al., 2014, p414).

Les autres effets sont indirects et se répercutent sur toute la chaîne alimentaire, les espèces et les écosystèmes marins (récifs coralliens, crustacés, poissons¹², zooplancton) et donc sur l'homme ainsi que sur de multiples secteurs d'activités qui en dépendent directement (pêche, aquaculture, tourisme). Un épisode de blanchiment des coraux en Asie du Sud-Est aurait entraîné une perte de revenus touristiques de l'ordre de 49 à 74 millions de dollars en six mois (Laffoley et Baxter, p453).

Il serait au final nécessaire d'évaluer la valeur des ressources et services que nous tirons de l'océan et la manière dont l'acidification les impactera, avec le souci de définir des seuils qui, selon les écosystèmes (lagunaire, abyssal, haute mer, etc.), peuvent être très différents.

4. Hausse du niveau des mers

a) Observations et tendances

La hausse du niveau des mers découle principalement de la dilatation des masses d'eau due au réchauffement (30 à 55%) et de la fonte des glaces (15 à 35%). Avec un degré de confiance élevé, le GIEC estime que, depuis le milieu du XIX^e siècle, le rythme moyen d'élévation du niveau moyen des mers est supérieur à celui des deux derniers millénaires. **Entre 1901 et 2010, le niveau moyen des mers à l'échelle du globe s'est élevé de 0,19 m** (GIEC, 2013, p.11)¹³. Il est également très probable que nous assistions à une accélération de la vitesse moyenne d'élévation du niveau des mers : de 1,7 [1,5 à 1,9] mm an⁻¹ entre 1901 et 2010, de 2,0 [1,7 à 2,3] mm an⁻¹ entre 1971 et 2010, et de 3,2 [2,8 à 3,6] mm an⁻¹ entre 1993 et 2010 (GIEC, 2013, p11). Selon des études récentes (Cazenave et al., 2017), le rythme s'est accéléré au cours des dix dernières années (+6,3 cm entre 1991 et 2014)¹⁴.

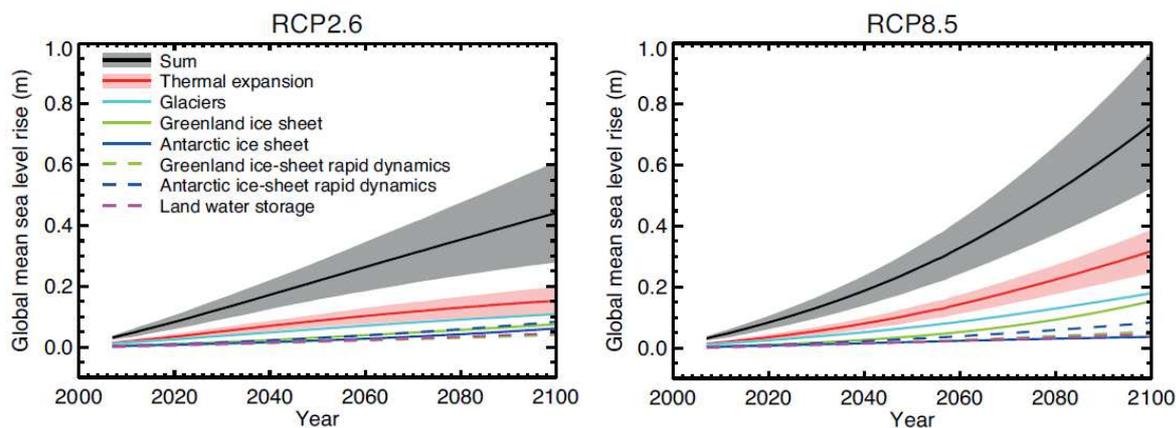
L'impact de la fonte des glaces polaires est mieux apprécié depuis l'AR5, ce qui explique que l'élévation maximale prévue dans le cadre du scénario le plus émissif (RCP8.5) a été revue à la hausse par rapport à l'AR4 (Fig.8 et 9). Toutefois, il persiste des divergences dans la contribution des calottes polaires (ou *inlandsis*) au phénomène. La valeur maximale de 1 m est par exemple remise en question par plusieurs publications récentes qui évoquent une hausse possible de 2 m (Hansen et al., 2016), voire 3 m (Defrance et al., 2017) à horizon 2100.

¹² Certaines études avancent que l'acidification des océans a un impact sur l'instinct de survie des poissons et donc, à long terme, sur la chaîne alimentaire. Voir Philip Munday, Alistair J. Cheal, Danielle L. Dixon, Jodie L. Rummer et Katharina E. Fabricius, « Behavioural impairment in reef fishes caused by ocean acidification at CO₂ seeps », *Nature Climate Change*, avril 2014.

¹³ Voir annexe 3.

¹⁴ Avec, encore une fois, de fortes disparités selon les régions. Si en France métropolitaine, aux Antilles et à La Réunion, l'augmentation se situe autour de cette moyenne, elle est beaucoup plus significative dans le Pacifique en Polynésie (+21 cm entre 1950 et 2010) et en Nouvelle-Calédonie (+12 cm).

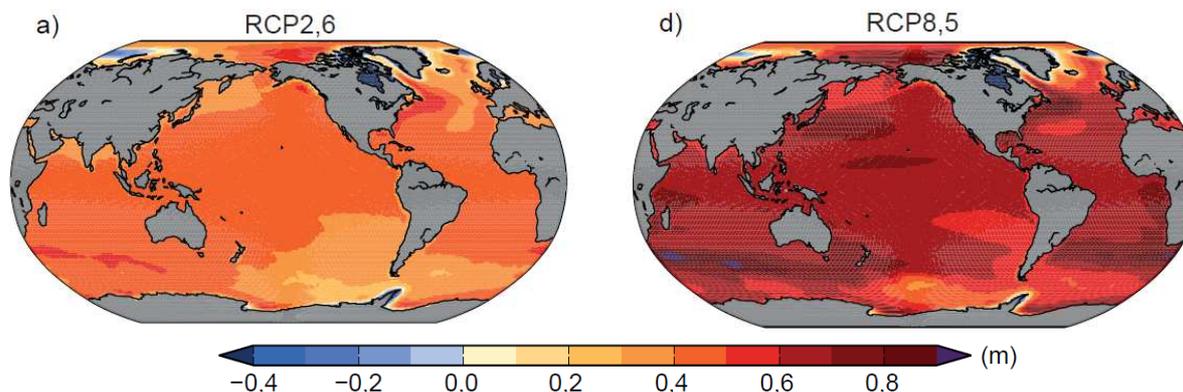
Figure 8. Élévation du niveau moyen des mers à l'échelle du globe



Source : Church et al., 2013, p.1181.

Il s'agit également d'un phénomène hétérogène avec des hausses variables selon les zones géographiques¹⁵.

Figure 9. Évolution relative du niveau de la mer de 2081 à 2100 par rapport à la période 1986–2005



Source : GIEC, 2013, p. 101

D'ici 2030, l'élévation moyenne du niveau des mers pourrait atteindre, tout scénario confondu (du RCP2.6 au RCP8.5), entre 8 et 17 cm environ et, d'ici 2050, entre 17 et 30 cm. Cette moyenne cache bien évidemment d'importantes disparités en fonction du relief des littoraux et n'aura pas les mêmes incidences sur une plage ou une falaise. Toutefois, le GIEC estime que toute augmentation du niveau de la mer accentuerait gravement le phénomène d'érosion. Ainsi **une hausse de 1 m provoquerait sur les plages (littoral le plus exposé) d'une pente de 1 % un recul de 100 m du trait de côte**¹⁶ (Lenôtre et Pedreros, 2006).

¹⁵ « Le changement des régimes des vents de surface, la dilatation des eaux de l'océan sous l'effet du réchauffement et l'addition de l'eau de fonte des glaces peuvent modifier les courants océaniques, entraînant des modifications du niveau de la mer, variables selon les endroits. Les variations passées et présentes de la distribution des glaces terrestres ont des répercussions sur la forme de la planète et son champ de gravitation, ce qui génère également des fluctuations régionales du niveau de la mer. Ce niveau subit également d'autres variations sous l'influence de processus plus localisés tels que la compaction des sédiments et la tectonique. » (GIEC, WG1AR5, résumé p. 173).

¹⁶ Pour l'horizon 2030, nous serions alors, en moyenne, pour les plages d'une pente de 1%, à un recul du trait de côte compris entre 8 et 17 m.

b) Principaux impacts

À court et moyen terme, la hausse du niveau des mers pose la question de la **submersion marine en cas d'aléas**. Un niveau de l'eau en hausse couplé à des phénomènes extrêmes plus puissants ou plus fréquents implique que la submersion marine s'avancera davantage dans les terres et provoquera davantage de dégâts (**destruction, salinisation des cultures et nappes**). La croissance démographique, le développement économique et de l'urbanisation pas toujours bien maîtrisé comptent parmi les facteurs qui risquent, avec un degré de confiance élevé, d'exacerber la vulnérabilité des espaces côtiers.

La menace pèse donc sur les **infrastructures** (énergie, transport, commerce), les habitats, les champs, les ressources en eau (salinisation des nappes) et les populations, de manière très différente puisque l'élévation du niveau de la mer n'est pas uniforme selon les régions du globe et qu'elle dépend du type de côtes.

À plus long terme, la hausse du niveau des mers laisse entrevoir la possibilité d'une **disparition des petites îles** de l'océan Indien ou Pacifique.

III. Évènements climatiques extrêmes

1. Observations et tendances

Les changements climatiques affectent déjà considérablement toute une série de phénomènes liés au climat : l'érosion côtière s'accélère, les saisons sont plus irrégulières dans de très nombreuses régions, et les records mondiaux de température se succèdent désormais à un rythme régulier. La description de ces différentes évolutions lentes mériterait à elle seule un rapport, mais ce sont lorsque ces événements climatiques deviennent extrêmes qu'ils posent de véritables enjeux de sécurité.

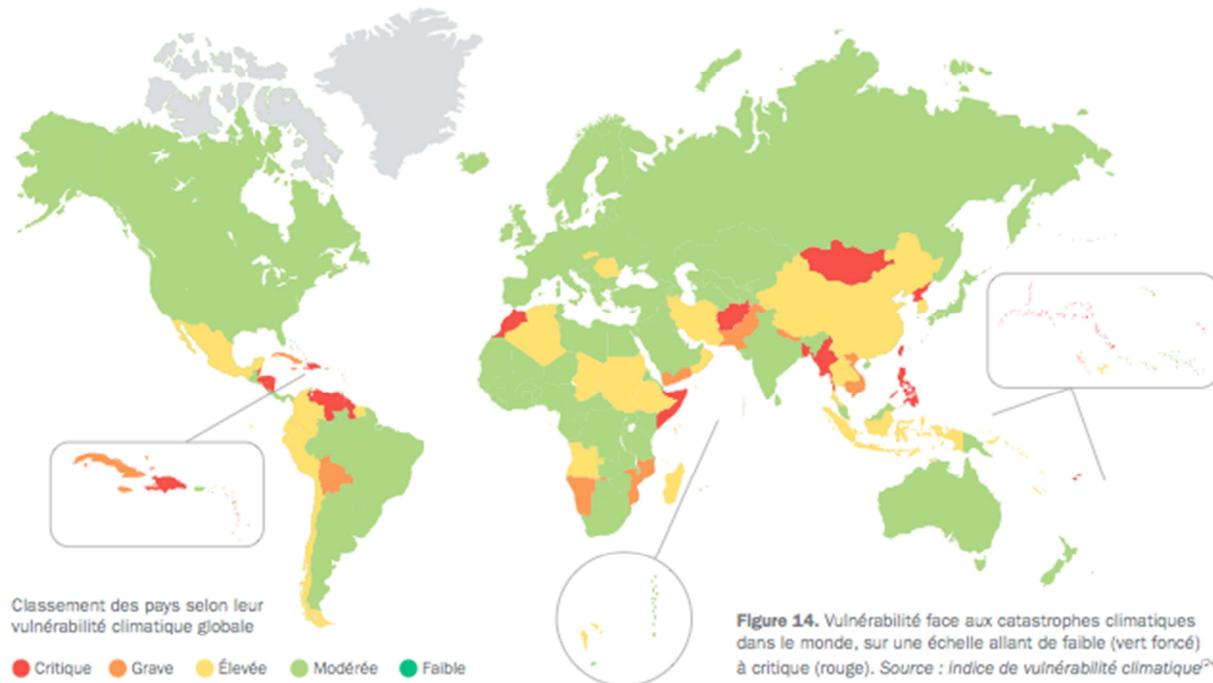
Les changements climatiques accroîtront à la fois la fréquence et l'intensité des événements climatiques extrêmes, à savoir les cyclones tropicaux, les vagues de chaleur, les inondations soudaines (*flash floods*), et les sécheresses. Par nature, il est toutefois impossible de prévoir précisément où et quand ces événements se produiront ; de la même manière, **il est inenvisageable aujourd'hui d'attribuer un événement climatique précis, aussi extrême soit-il, aux effets des changements climatiques**. Il est néanmoins possible de dégager certaines tendances à partir de l'analyse des observations des catastrophes passées.

Si le nombre de victimes des événements climatiques extrêmes reste relativement stable depuis la collecte systématique des données entamée au milieu des années 1970, **le nombre de catastrophes et de personnes affectées a régulièrement augmenté jusqu'à aujourd'hui**. Si les changements climatiques ont sans nul doute joué un rôle pour expliquer cette augmentation, il ne faut pas négliger l'importance de deux autres facteurs : d'une part, ces catastrophes sont mieux documentées aujourd'hui qu'elles ne l'étaient par le passé, ce qui accroît leur visibilité ; et d'autre part, le nombre de personnes exposées à ces catastrophes a régulièrement augmenté en raison de la croissance démographique.

L'Asie, est, de très loin, le continent le plus affecté par les catastrophes (Fig.10). Cela s'explique en raison de plusieurs facteurs : c'est à la fois, pour des raisons physiques et

climatiques, la région du monde la plus exposée à de telles catastrophes, mais également la plus peuplée, ce qui la rend particulièrement vulnérable. La carte ci-dessous présente précisément la vulnérabilité des différents pays à ces catastrophes.

Figure 10. Vulnérabilité face aux catastrophes climatiques dans le monde



En 2016, la base de données spécialisée EM-DAT a recensé 314 catastrophes naturelles d'origine hydro-climatiques (excluant donc les catastrophes industrielles et géophysiques comme les tremblements de terre ou les tsunamis). **Sécheresses, inondations et cyclones représentent environ deux tiers des catastrophes naturelles chaque année.**

2. Principaux impacts

a) Déplacements de population

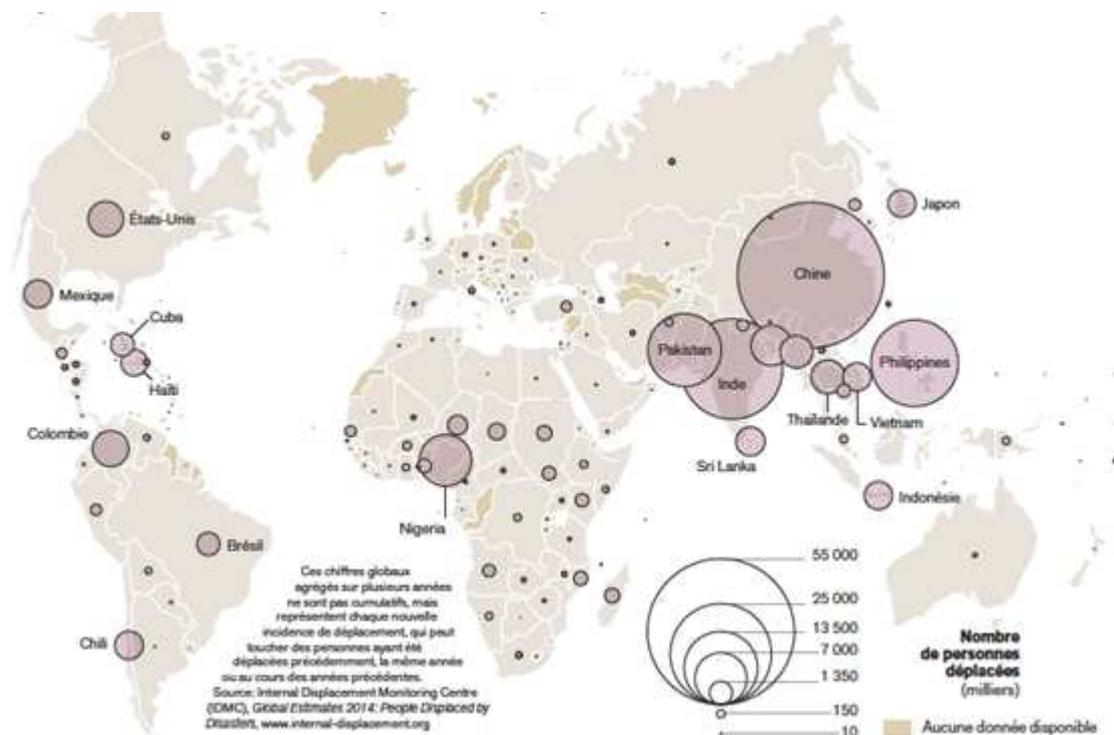
La principale conséquence de ces catastrophes, sur le plan de la sécurité, concerne évidemment les déplacements massifs de populations qu'elles engendrent. Selon les données de l'Internal Displacement Monitoring Center (IDMC), entre 2008 et 2014, ce sont chaque année 26.4 millions de personnes qui ont été déplacées par les catastrophes naturelles, soit l'équivalent d'une personne par seconde environ (Fig. 11). Là encore, c'est en Asie, et particulièrement en Asie du Sud et du Sud-Est, que surviennent la très grande majorité des déplacements qui y sont liés.

Selon l'IDMC, **86% de ces déplacements de populations, sur la période 2008-2014, sont imputables à des catastrophes d'origine climatique**¹⁷. Sous l'effet des changements climatiques, il est donc probable que la part des déplacements dus à des catastrophes de nature climatique augmente encore dans les années à venir.

¹⁷ Voir annexe 4.

Ce sont les inondations et les tempêtes (y compris les cyclones) qui sont responsables de l'écrasante majorité des déplacements de populations provoqués par des catastrophes naturelles, quelle qu'en soit l'origine¹⁸.

Figure 11. Déplacements dans le monde causés par des catastrophes (2008-2013)



Source : Ionesco et al., 2015

À l'horizon 2030, on peut s'attendre à plusieurs évolutions des flux migratoires sous l'effet des changements climatiques :

- D'une part, il est vraisemblable que les flux migratoires s'intensifient, en particulier en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud. **Ces flux migratoires seront avant tout des flux internes**, qui seront largement orientés vers les grandes métropoles. Ces villes seront donc confrontées à la fois à des changements climatiques et démographiques. Sans un soutien important, elles ne pourront fournir emplois, logements décentes et accès aux soins à ces populations additionnelles.
- Par ailleurs, les impacts des changements climatiques sur les systèmes agricoles se traduiront par des pertes de revenus très importantes pour les populations rurales, et donc par un accroissement considérable des migrations dites 'économiques', notamment vers l'Europe.
- Enfin, et paradoxalement, les effets des changements climatiques se traduiront aussi par une augmentation du nombre de populations 'coincées', incapables de se déplacer, faute de ressources. La migration demande en effet la mobilisation de ressources importantes (économiques notamment), qui seront considérablement réduites sous l'effet des changements climatiques.

¹⁸ Voir annexes 5 et 6.

- En l'état actuel de la recherche, il est impossible de quantifier ces évolutions futures. La seule certitude réside dans **l'augmentation de la contrainte migratoire** : il y aura à la fois plus de personnes qui seront forcées de partir, et plus de personnes qui seront forcées de rester.

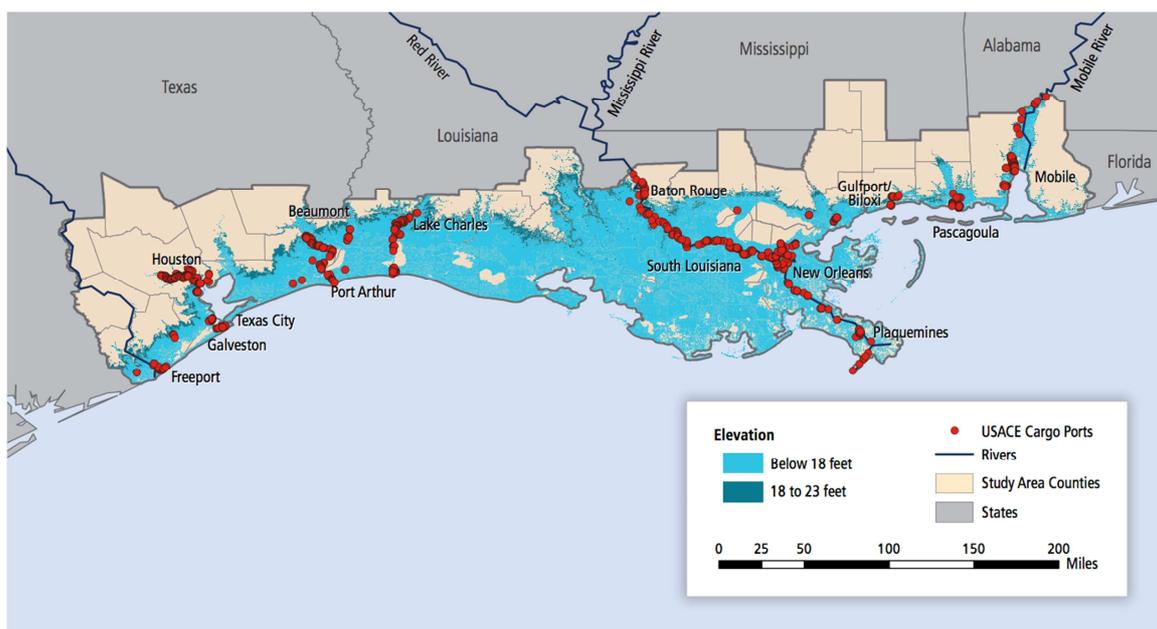
À l'horizon 2050, en plus de ces tendances, on peut s'attendre à deux évolutions supplémentaires :

- **Les migrations, jusqu'ici largement cantonnées à l'intérieur des frontières des États, s'internationaliseront davantage.** La migration internationale est souvent la continuation d'une migration interne. Au fur et à mesure que la capacité de portage de certains États, ou de certaines villes, se trouvera dépassée, les migrations s'internationaliseront.
- Par ailleurs, plusieurs territoires seront vraisemblablement devenus inhabitables, ce qui entraînera, *de facto*, une certaine forme de redistribution de la population.

b) Vulnérabilités des infrastructures

Ces catastrophes naturelles affecteront également très durement les **infrastructures stratégiques**, souvent situées dans des zones très exposées aux événements climatiques extrêmes : c'est le cas en particulier des infrastructures de transport : aéroports, routes et voies de chemin de fer. Plusieurs infrastructures énergétiques, comme des centrales nucléaires, sont également situées dans des zones très exposées aux événements climatiques extrêmes. Ce sont les tempêtes, inondations et glissements de terrain qui constitueront le risque le plus crucial pour ces infrastructures. L'exemple de la catastrophe de Fukushima, quoique la catastrophe ait été d'origine géophysique et non climatique, a conduit beaucoup d'infrastructures nucléaires à relever leur niveau de protection contre les aléas naturels. Beaucoup restent néanmoins très exposées notamment dans les pays en développement.

Figure 12. Vulnérabilité des infrastructures portuaires du golfe du Mexique face aux vagues



Source : Handmer et al. 2012, adapté de CCSP 2008.

Les secteurs des **infrastructures** et des **transports** constituent deux des secteurs les plus sensibles au risque de catastrophe. Les études détaillées sur les infrastructures à risques sont pour l'instant limitées à trois pays : l'Australie, le Canada et les États-Unis. La carte ci-dessous, par exemple, indique les infrastructures portuaires du Golfe du Mexique exposées à des vagues d'une hauteur de 5.5 et 7 mètres respectivement (Fig.12).

Il serait donc essentiel, dans un proche avenir, de **conduire une étude rigoureuse des infrastructures à risque en France et en Europe**. Le passage des tempêtes Lothar et Martin, en 1999, ont par exemple causé les plus importants dommages à un réseau d'électricité jamais observé dans un pays industrialisé : plus de 120 pylônes de transmission et 26 lignes à haute-tension – soit un quart des lignes dans le pays – furent mis hors d'usage (Abraham et al. 2000).

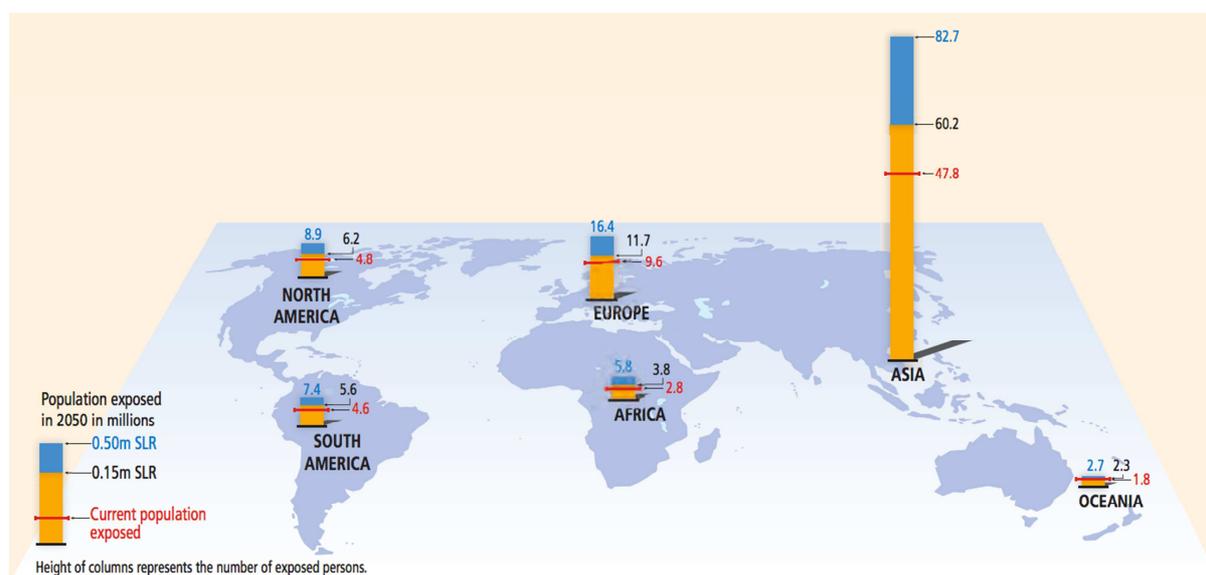
c) Sécurité alimentaire

L'**agriculture** est un autre secteur très exposé aux extrêmes climatiques : dans de nombreux pays en développement, l'économie repose encore largement sur l'agriculture de subsistance, particulièrement vulnérable aux extrêmes climatiques, ce qui a parfois provoqué des famines de grande ampleur. Dans de nombreux pays en développement, l'agriculture de subsistance constitue à la fois la principale source de revenu, mais aussi la principale source d'alimentation pour de nombreuses familles. Au Kenya par exemple, la quasi-totalité des ménages en zones rurales cultivent du maïs, mais seuls 36% le vendent (FAO 2009).

Ces différents événements extrêmes se traduiront dans le futur par des pertes économiques considérables, ainsi que par un nombre sans cesse plus important de personnes exposées à ces risques d'événements extrêmes. Ainsi, **d'ici 2030**, le nombre de personnes exposées aux cyclones tropicaux sera multiplié par deux environ, par rapport à 1970. Même si l'évolution démographique explique en partie cette augmentation, c'est l'Asie qui sera, de loin, le continent le plus exposé.

Cette tendance s'accroîtra encore d'ici **2050**, comme le montre la carte ci-dessous, qui évalue les populations exposées à un risque d'inondations dans le cas de tempêtes extrêmes, pour deux scénarios d'élévation du niveau de la mer à 2050 : 0,15 m et 0,50 m (Fig.13).

Figure 13. Exposition des populations au risque d'inondations en 2050



Source : Handmer et al. 2012 d'après Lenton et al. 2009.

IV. Cryosphère

1. Observations et tendances

La cryosphère¹⁹ désigne toutes les parties de la surface de la Terre où l'eau est à l'état solide : les calottes glaciaires, le pergélisol, les banquises, les glaciers de montagne, etc. Les glaces sont des acteurs essentiels du climat, grâce notamment à leur fort albédo de surface²⁰, et sont aussi les premiers témoins du réchauffement, compte tenu de leur très grande sensibilité aux fluctuations climatiques. **Le réchauffement est ainsi deux fois plus rapide en Arctique que dans le reste du monde, et la température y a déjà augmenté de 2,3°C depuis le début des années 1970.**

Au cours des vingt dernières années, le volume des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique a diminué, presque tous les glaciers dans le monde ont reculé, et les étendues de la banquise arctique et du manteau neigeux de l'hémisphère nord au printemps se sont réduites. **Les observations montrent qu'entre 1979 et 2012, l'extension de la banquise en Arctique a diminué en moyenne de 3,8% par décennie** (entre 3,5 et 4,1%) (Fig.14) (Vaughan et al., 2013). L'épaisseur de la couche de glace en Arctique a quant à elle diminué de 40% au cours des cinquante dernières années. **Il est probable que l'océan Arctique soit sans glace en été avant 2050.** Dans le scénario du pire (RCP8.5), la banquise en Arctique pourrait avoir fondu de 94% en 2100 et, même dans le scénario le plus optimiste (RCP2.6), elle fondrait de 43% à la fin de l'été en 2100.

L'étendue du manteau neigeux de l'hémisphère nord a diminué depuis 1950 : de 1,6% par décennie pour mars-avril, à 11,7% par décennie en juin pour la période 1967-2012. **La couverture neigeuse va, dans le meilleur scénario, se réduire de 7% en 2100, par rapport à la fin du XX^e siècle, et de 25% dans le pire des scénarios.**

Le GIEC prévoit, pour 2100, une diminution du volume des glaciers de la planète de 15 à 55% (RCP2.6) et de 35 à 85% (RCP8.5) (Stocker et al., 2013, p.9).

Enfin, **dans le meilleur des cas, plus d'un tiers du pergélisol va disparaître d'ici 2100** (81% dans le scénario le plus pessimiste). Selon l'AR5, **le dégel du pergélisol – qui représente 25% des terres de l'hémisphère nord - pourrait se traduire d'ici 2100 par des émissions correspondant à au moins cinq ans d'émissions mondiales de CO₂** à cause de la libération du stock de carbone organique²¹ présent dans le pergélisol et engendrée par le réchauffement. Cela se traduirait par une **amplification du réchauffement planétaire de l'ordre de 20% à l'horizon 2100**²². Mais des chercheurs estiment que le GIEC intègre insuffisamment le pergélisol aux modèles climatiques, faute de pouvoir mesurer ces processus complexes, et que le dégel de celui-ci pourrait donc avoir des conséquences encore plus importantes sur le réchauffement²³.

¹⁹ Le GIEC a approuvé fin mars 2017 les grandes lignes d'un rapport intitulé *Rapport spécial sur les océans et la cryosphère dans le contexte du changement climatique*, dont la version définitive est attendue pour fin 2019.

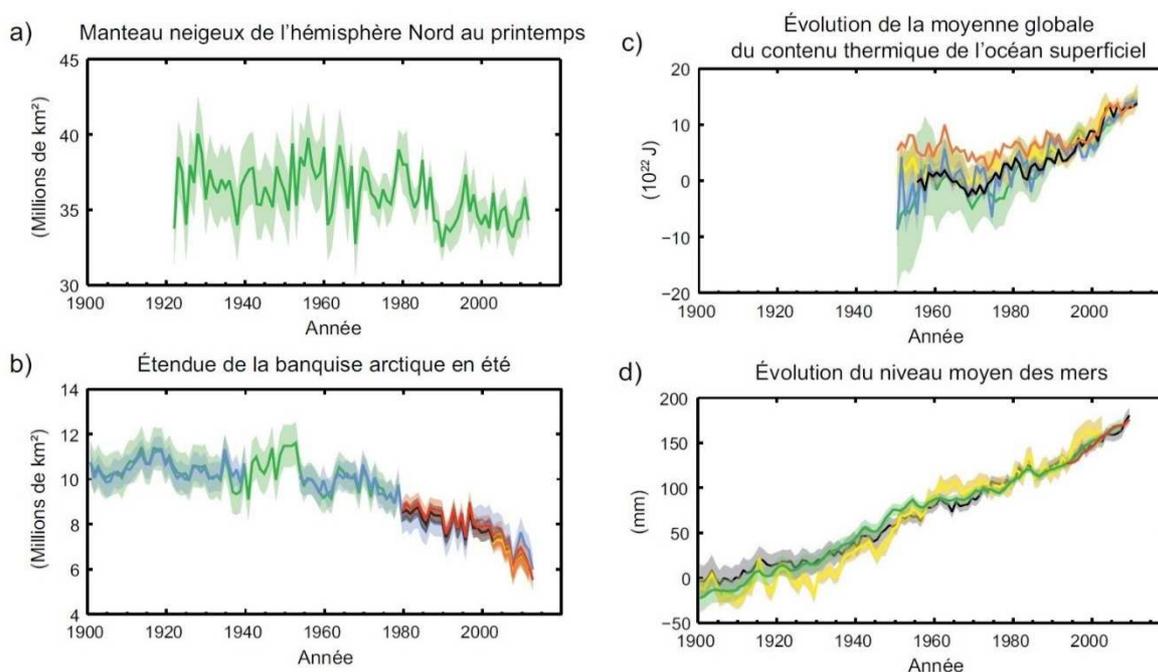
²⁰ Pouvoir réfléchissant d'une surface, mesuré par un indice compris entre 0 et 1. Plus le rayonnement absorbé par la surface est important et moins il est réfléchi, plus la surface chauffe. Les surfaces enneigées ont un albédo élevé, les sols, un albédo élevé à faible et les surfaces recouvertes de végétation et les océans, un albédo faible.

²¹ Principal composant des matières organiques (50%).

²² Entretien avec Jean Jouzel dans *Alternatives économiques*, paru le 18 avril 2017 : <http://www.alternatives-economiques.fr/impacts-de-fonte-glaces-tres-preoccupants/00078443>

²³ C'est le cas des chercheurs rassemblés au sein du projet APT (Acceleration of Permafrost Thaw by Snow-Vegetation Interaction), un vaste projet de recherche initié par Florent Dominé, chercheur au laboratoire franco-

Figure 14. Différents indicateurs observés des évolutions du climat



Légende | Différents indicateurs observés des évolutions du climat du globe: a) étendue moyenne du manteau neigeux de l'hémisphère Nord en mars-avril (printemps); b) étendue moyenne de la banquise arctique en juillet-août-septembre (été); c) évolution de la moyenne globale du contenu thermique de l'océan superficiel (0-700 m) aligné par rapport à 2006-2010, et par rapport à la moyenne de tous les ensembles de données pour 1970; d) niveau moyen des mers par rapport à la moyenne 1900-1905 de l'ensemble de données le plus long, avec tous les ensembles de données alignés par rapport à 1993 (la première année de données d'altimétrie par satellites). Toutes les séries chronologiques (courbes de couleur représentant différents ensembles de données) indiquent des valeurs annuelles et, lorsqu'elles sont estimées, les incertitudes sont représentées par des zones de différentes couleurs.

2. Principaux impacts

Le dégel du pergélisol provoquera une érosion des sols et des éboulements, et aura donc des **conséquences sur les infrastructures et l'habitabilité** des régions concernées. Il pourra également conduire à la **libération de pathogènes oubliés ou encore inconnus**. Une épidémie d'anthrax a, par exemple, été enregistrée à l'été 2016 dans la péninsule de Yamal, à 2500 km au nord-est de Moscou. Elle aurait été provoquée par la libération dans l'atmosphère d'une bactérie présente dans le cadavre d'un renne prisonnier du pergélisol depuis des années (Beauté, 2016). La disparition de la banquise en Arctique une partie de l'année aura des **conséquences sérieuses sur l'équilibre écologique de la région et pour l'habitat de certaines espèces animales** (ours polaires, phoques, baleines), dont certaines voient déjà leur existence menacée.

Le dégel du pergélisol engendrera aussi quelques effets positifs, même si ceux-ci seront moindres que les effets négatifs. On observe déjà dans certaines régions d'Arctique le **développement d'une végétation inexistante** jusqu'à présent, dont des arbres dont on connaît la capacité à séquestrer le CO₂. Les conditions climatiques pourraient aussi devenir plus favorables à l'agriculture dans des régions de hautes altitudes comme le Groenland.

La fonte de la calotte glaciaire rendra également possible **l'exploitation de nouveaux territoires en Arctique, et en Antarctique, et ouvrira de nouvelles routes maritimes**

canadien Takuvik, et réunissant huit laboratoires français et canadiens. Url : <http://www.apf-permafrost-research.net/en/context.php>

commerciales. On voit déjà se dessiner une compétition entre les grandes puissances (Russie, États-Unis, Chine, etc.) pour l'accès aux ressources naturelles convoitées de ces régions (halieutiques, pétrole, gaz, terres rares, minéraux précieux) (Alex et al., 2014).

La cryosphère joue également un rôle essentiel dans le cycle de l'eau, puisqu'elle contient environ 75% des réserves mondiales d'eau douce.

À court et moyen terme, la diminution du manteau neigeux et le recul des glaciers de montagne aura des conséquences importantes sur les écosystèmes et les sociétés locales. La fonte des neiges et des glaces engendrera des risques de débordement des lacs de montagne, de rupture des digues naturelles (moraines) et des barrages, et réduira l'approvisionnement en eau potable. **À long terme, le rétrécissement des glaciers de montagne perturbera l'ensemble du cycle hydrologique, contribuera à l'élévation du niveau de la mer et au déclin du potentiel hydroélectrique, et provoquera une diminution du débit des fleuves.**

Tableau 2. Impacts généraux des changements climatiques

scénario	impacts	Horizon temporel	
		2030	2050
+2°C (RCP2.6)	T°C moyenne	+0,3°C (2016-2035) Eau de surface (voir graphique p.15)	+1°C en moyenne (0,4 à 1,6) 2046-2065 Eau de surface (voir graphique p.15)
	Précipitations	augmentation des précipitations aux moyennes et hautes latitudes diminution aux basses latitudes augmentation de la variabilité interannuelle	Idem mais plus marquée
	Hausse du niveau des mers	+0,1m environ	+ 0,24m (0,17-0,32)
	Evènements climatiques extrêmes	Augmentation graduelle de la fréquence et de l'intensité de ces événements	Augmentation des phénomènes extrêmes en fréquence et/ou intensité
	Cryosphère	Recul des glaciers et diminution du manteau neigeux	Possible disparition de la banquise arctique en été
+5°C (RCP8.5)	T°C moyenne	+0,7°C (2016-2035)	+2°C en moyenne (1,4 à 2,6) 2046-2065
	Précipitations	Idem mais plus marquée	Idem mais plus marquée avec forte variabilité interannuelle aux basses latitudes
	Hausse du niveau des mers	+0,1m environ	+ 0,29m (0,22-0,38)
	Evènements climatiques extrêmes	Augmentation légère des phénomènes extrêmes en fréquence et/ou intensité	Augmentation des phénomènes extrêmes en fréquence et/ou intensité
	Cryosphère	Idem mais tendances plus marquées	Idem mais plus marqué, et forte probabilité de disparition de la banquise arctique en été, et d'une part importante du pergélisol

Partie 2. Projections régionales : tendances et impacts

I. La France et l'outre-mer face aux changements climatiques

La France ne sera pas le territoire le plus touché par les effets des changements climatiques, mais de nombreuses conséquences sont néanmoins à prévoir, en métropole comme en outre-mer. Les territoires d'outre-mer sont particulièrement concernés par ces impacts, en raison de leur situation géographique, souvent insulaire et isolée, de leur biodiversité riche mais fragile, de leur plus grande dépendance à certains secteurs d'activité économique comme le tourisme, et de leurs moindres capacités d'adaptation.

En France métropolitaine, les effets des changements climatiques se concrétisent principalement par une augmentation de la température de l'air et une multiplication des vagues de chaleur, avec des conséquences particulièrement importantes sur le secteur agricole, le tourisme et la santé.

En outre-mer, l'élévation du niveau de la mer, la hausse des températures et les changements de précipitations auront notamment des impacts négatifs sur la biodiversité, l'habitabilité des littoraux, les conditions sanitaires et l'attractivité touristique.

1. Impacts attendus en France métropolitaine

a) Projections climatiques

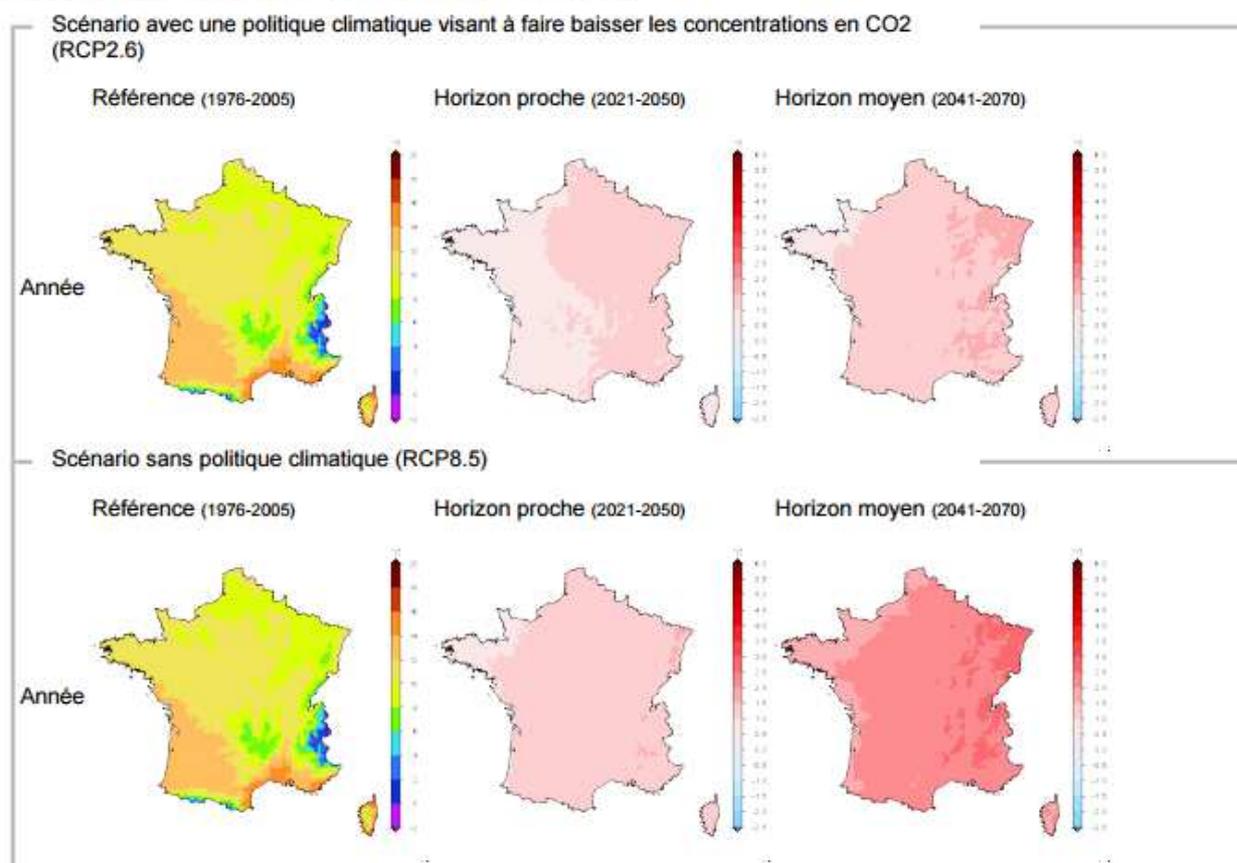
Températures

En métropole, **un réchauffement est déjà observable depuis 1900, de l'ordre de 0,3°C par décennie environ entre 1959 et 2009**. Les trois années les plus chaudes (2014, 2011 et 2015) ont été enregistrées au XXI^e siècle²⁴. Cette tendance va se poursuivre, puisque, **quel que soit le scénario envisagé (RCP2.6 et RCP8.5), la hausse des températures estivales et hivernales sera comprise entre 0,5 et 2°C aux horizons 2030 et 2050**, par rapport à la moyenne de référence calculée sur la période 1976-2005 (Fig.15).

²⁴ Voir annexe 7.

Figure 15. Projections de températures en métropole

Anomalie de température moyenne quotidienne : écart entre la période considérée et la période de référence [°C],
Météo-France/CNRM2014 : modèle Aladin de Météo-France



Source : DRIAS, modèle Aladin de Météo-France²⁵

Précipitations

Il existe de **fortes incertitudes autour des tendances pluviométriques en France métropolitaine aux horizons 2030 et 2050**. Si les différents modèles climatiques montrent une **légère hausse des précipitations moyennes** et comprise entre 0 et 0,42 mm/jour en moyenne, ils ne permettent toutefois pas de tirer des conclusions fiables la distribution géographique de ces changements de précipitations (Jouzel et al., 2014, p.41).

Cependant, les projections pour la **fin du XX^e siècle** montrent des tendances plus marquées, avec une **hausse des précipitations hivernales** (de 0,1 à 0,85 mm/jour selon les modèles et les scénarios), et une **diminution en été** comprise entre -0,16 et -0,38 mm/jour, à l'exception du scénario le plus optimiste qui signale une légère augmentation en été de 0,05 mm/jour (Jouzel et al., 2014, p.42).

Extrêmes climatiques

Si les variations de températures et de précipitations resteront, en moyenne, modérées pour la France métropolitaine aux horizons 2030 et 2050, des changements plus significatifs sont attendus en ce qui concerne les épisodes climatiques extrêmes sur cette période.

²⁵ <http://www.drias-climat.fr/>

Les deux scénarios, optimiste et pessimiste, montrent une tendance nette à l'augmentation du nombre annuel de jours où la température maximale quotidienne serait anormalement élevée par rapport aux normes saisonnières. À l'horizon 2030, le territoire métropolitain pourrait ainsi connaître 8 à 38 jours anormalement « chauds » de plus, par rapport à la période actuelle, où le nombre de jours est en moyenne de 36 par an (ONERC, 2011, p.12). Cela se traduira également par une **augmentation significative du nombre de vagues de chaleur** (période anormalement chaude de plus de cinq jours consécutifs) en été, en particulier dans le quart sud-est de la France (Jouzel et al., 2014, p.41).

À l'inverse, les **extrêmes froids** ont, sur tout le territoire et en toute saison, **tendance à diminuer**.

Les incertitudes relatives aux changements de précipitations moyennes rendent également difficiles l'estimation des périodes de sécheresse estivale avant 2050. Les modèles semblent toutefois s'accorder sur une **augmentation des épisodes de sécheresse, en particulier dans le sud-est et à l'ouest du pays, soit les régions déjà les plus exposées aux précipitations extrêmes, à la fin du siècle**.

b) Impacts socio-économiques

Les impacts du réchauffement climatique ne seront pas identiques d'une région française à l'autre mais elles connaîtront probablement toutes une hausse des températures moyennes et du nombre de jours de vagues de chaleur en été, des phénomènes d'évaporation plus marqués et une baisse des ressources en eau qui affecteront les activités agricoles et leurs rendements, ainsi qu'une perturbation des activités touristiques et des conditions sanitaires.

Santé

C'est sur la santé que les changements climatiques auront probablement le plus d'impacts en France métropolitaine. Trois risques seront prédominants : les vagues de chaleur, les allergies et les maladies exotiques.

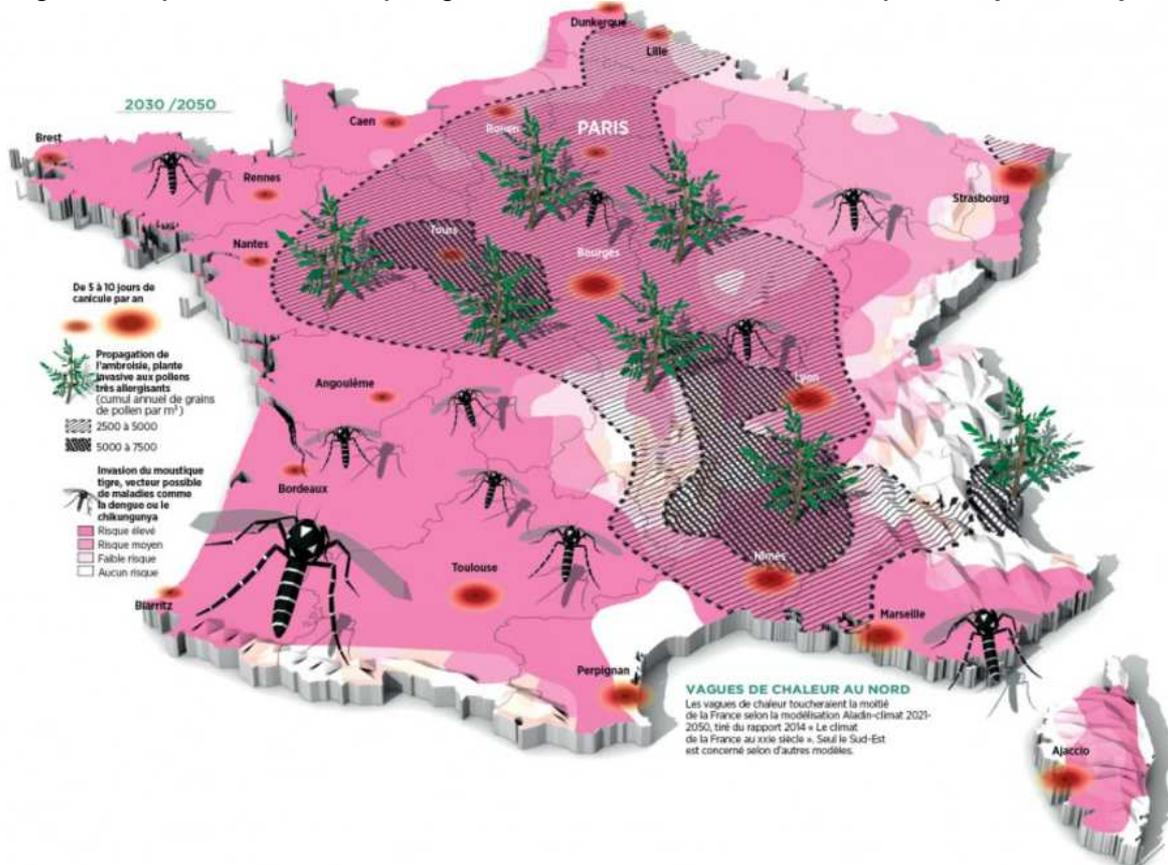
Les vagues de chaleur (canicules) auront des conséquences directes sur les personnes les plus vulnérables (malades, personnes âgées, bébés). Des crises sociales et sanitaires comme celles de l'été 2003, où une canicule exceptionnelle avait provoqué en quelques semaines la mort d'environ 15 000 personnes, risquent de se reproduire et de se multiplier dans les années à venir.

Cette dernière favorisera également le **développement de l'Ambrosie à feuilles d'armoise**, une plante invasive venue d'Amérique du Nord et **dont les pollens allergisants provoquent rhinites, conjonctivites, trachéites et crises d'asthme** (Fig.16). La concentration de ces pollens pourrait quadrupler d'ici 2050, ce qui provoquera une **forte hausse des cas d'allergie et des coûts de santé** associés (Hamaoui-Laguel et al., 2015).

L'élévation des températures aura également pour conséquence **l'expansion de certains insectes exotiques** (moustique tigre par exemple) porteurs de maladies tropicales comme la dengue et le chikungunya, et qui migreront notamment vers le Nord, des régions épargnées jusqu'à maintenant. Le moustique tigre, vecteur de gripes et de maladies infectieuses, pourrait ainsi être présent sur tout le territoire français en 2050, exception faite des régions montagneuses. Il s'est, par exemple, déjà implanté ces dernières années en Aquitaine,

notamment en Lot-et-Garonne, à la faveur de conditions climatiques devenues favorables (Le Treut, 2009).

Figure 16. Expansion du moustique tigre et de l'Ambroisie en France métropolitaine (2030-2050)



Source : Mehdi Benyazzar/Sciences et Avenir

Agriculture

Il ressort d'une étude sur l'Aquitaine que **le secteur agricole sera bouleversé, en particulier le secteur viticole bordelais**. En vingt ans, la date de maturité du raisin se serait déjà avancée de 15 à 20 jours, sous l'effet de l'augmentation des températures, et de pratiques agricoles spécifiques. Si, à court terme, cette hausse des températures semble avoir des effets bénéfiques, le réchauffement climatique aura des conséquences négatives sur ce secteur à haute valeur économique. D'ici 2050, Bordeaux pourrait atteindre les températures de Porto (Portugal) aujourd'hui. Les épisodes de sécheresse et de fortes chaleurs pourraient abîmer les vignes, et détériorer au final la qualité du vin, en amenant un excès d'alcool.

À des degrés divers, des impacts similaires seront observables sur les autres vignobles français et sur l'ensemble des cultures, dont les rendements souffriront de la multiplication des sécheresses, des inondations, du développement de pathogènes et d'espèces envahissantes, de la raréfaction des ressources en eau, etc.

La **raréfaction des ressources en eau et les risques plus élevés d'incendies menaceront aussi le parc forestier métropolitain**. Il est ainsi estimé qu'en Aquitaine, la dégradation de la forêt des Landes – le plus grand massif forestier artificiel d'Europe occidentale -, qui recouvre 40% de la superficie de la région et a déjà souffert du passage des tempêtes Martin (1999), Klaus (2009) et Xynthia (2010) aura non seulement des conséquences environnementales, mais

aussi économiques et sociales (74 000 personnes dépendent directement et indirectement de la sylviculture) (Le Treut, 2009).

Tourisme

Les effets des changements climatiques sur le tourisme en France, estival et hivernal, seront également variables et dépendront des stratégies d'adaptation mises en œuvre dans ce secteur. **La diminution de l'épaisseur du manteau neigeux aura notamment des conséquences importantes sur la pratique des sports d'hiver et les activités économiques associées.** À titre d'exemple, le nombre de stations de ski avec enneigement assuré baisserait de moitié en Haute-Savoie (18 contre 35 actuellement) avec un scénario à +2°C en 2100, et tomberait à sept si la hausse des températures excède 4°C²⁶.

Des conflits d'usages induits par les pénuries d'eau sont également probables. Choisira-t-on de préserver les activités de loisirs consommatrices d'eau (piscines, canons à neige, golfs) ou l'irrigation des cultures de maïs ? Par ailleurs, la diminution des débits et des niveaux des cours d'eau favorise l'eutrophisation²⁷, qui pollue et dégrade les écosystèmes aquatiques et nuit donc à l'attractivité touristique.

Sur le littoral, la montée du niveau de la mer exacerbera l'érosion des côtes, qui touche déjà 20% des communes touristiques françaises (INSEE, 2009). Aux horizons 2030 et 2050, il est peu probable que cette situation devienne dramatique en France métropolitaine, mais elle pourrait l'être à plus long terme pour les stations balnéaires qui perdront leur plage, ou pour celles qui devront au contraire faire face à une pression touristique maximale si leurs plages ont été conservées.

Production énergétique

Les changements climatiques auront des effets variés, voire opposés en fonction des saisons, sur le secteur énergétique : **la hausse des températures moyennes provoquera une tendance à la baisse de la consommation de chauffage en hiver, mais une augmentation des besoins en climatisation en été** (ONERC, 2011).

La production électro-nucléaire sera impactée par la réduction du débit des rivières et l'augmentation de la température des eaux, nécessaires au refroidissement des réacteurs et donc au bon fonctionnement des centrales. Une étude publiée en 2012 conseille, pour s'adapter à ce problème, de se tourner vers la construction de centrales utilisant l'eau salée des mers, mais cela n'écarte alors pas les risques d'endommagement créés par une possible submersion et les tempêtes (van Vliet et al., 2012). En décembre 1999, la tempête Martin avait fait céder des digues en Gironde, inondant la centrale nucléaire du Blayais située à 50km au nord de Bordeaux, et forcé l'arrêt de trois réacteurs. Les problèmes croissants rencontrés par la filière nucléaire devraient encourager les efforts pour **réduire progressivement la part du nucléaire et poursuivre la transition énergétique vers le 100% renouvelables. L'éolien, le solaire et la géothermie notamment, ne sont pas ou peu impactés par les problèmes liés à l'eau.**

²⁶ Par « enneigement assuré », il est entendu un niveau d'enneigement suffisant pour pratiquer les sports d'hiver et donc permettre l'ouverture des stations de ski. Voir annexe 8.

²⁷ L'eutrophisation est une forme de pollution naturelle qui provoque l'asphyxie des écosystèmes aquatiques à cause d'une prolifération d'algues qui consomment l'oxygène nécessaire à la vie de l'écosystème. Ce phénomène résulte d'un apport trop riche de nutriments dans la rivière ou le lac concerné.

Tableau 3. Impacts en France métropolitaine

Scénario	Impacts	Horizon temporel	
		2030	2050
+2°C (RCP2.6)	T°C moy	< 1°C (hausse plus marquée sur la moitié est du pays)	<1,5°C
	Précipitations	Peu de changements sont attendus à cet horizon	Idem
	Hausse du niveau des mers	Hausse probable mais peu significative	< 0,2m
	Évènements climatiques extrêmes	+ 8 à 38 jours « anormalement » chauds par rapport à aujourd'hui (36/an environ) et augmentation des vagues de chaleur dans le sud-est de la France. Diminution des extrêmes froids.	Idem mais tendances plus marquées. Augmentation des sécheresses.
	Cryosphère	Recul du manteau neigeux des massifs de montagne	Idem
+5°C (RCP8.5)	T°C moy	< + 1,5°C	< +2°C. Risque de propagation des maladies liées à l'expansion de plantes toxiques (ambrosie) et moustiques tropicaux
	Précipitations	Peu de changements sont attendus à cet horizon	Idem mais baisse probable des précipitations estivales, et hausse des précipitations hivernales (risques d'inondations accrus)
	Hausse du niveau des mers	Légère hausse attendue mais avec peu d'impacts sur l'érosion côtière	>0,2m
	Evènements climatiques extrêmes	Augmentation de la probabilité d'occurrence des vagues de chaleur, sécheresses et feux de forêt (surtout dans à l'ouest et dans le quart sud-est de la France). Possible augmentation des tempêtes.	Idem mais tendances plus marquées et généralisées à l'ensemble du territoire
	Cryosphère	Recul du manteau neigeux des massifs de montagne	Idem

2. Impacts attendus dans les territoires d'outre-mer

a) Projections climatiques

Les territoires d'outre-mer, dont la localisation géographique, les caractéristiques géomorphologiques, le climat et l'exposition aux aléas naturels sont très différents de la métropole, seront confrontés à des changements et des enjeux particuliers. Ils ont fait l'objet d'une étude spécifique, réalisée par l'ONERC en 2012 (ONERC, 2012). La modélisation du climat dans les zones outre-mer est plus délicate à réaliser qu'en métropole, en raison du manque de fiabilité des données disponibles et de la petitesse de ces territoires, mais certaines grandes tendances climatiques ont toutefois déjà pu être mises en évidence²⁸.

²⁸ Voir en annexe 9.

Au cours des quarante dernières années, les territoires d'Outre-mer ont connu une augmentation de la température allant de +0,65°C à +1,5°C. Pour la fin du XXI^e siècle, les **projections climatiques sont comprises entre +0,7 et +3,5°C en fonction des scénarios et des régions** (Jouzel et al., 2014, p.5). Alors que le niveau de la mer s'est élevé de 3 à 5 mm/an selon les territoires au cours des vingt dernières années, celui-ci sera de l'ordre de 40 à 60 cm en 2100, voire même d'un mètre pour les cas les plus extrêmes.

Comme pour la métropole, il est difficile d'estimer les changements de précipitations – ainsi que l'évolution de l'activité cyclonique –, compte tenu des incertitudes et du manque de convergence entre les différents modèles climatiques. Toutefois, une **baisse du cumul annuel des précipitations est attendue à la Réunion et en Nouvelle-Calédonie** (de -5 à -8% à horizon 2070-2099 pour cette dernière), **ce qui aggravera les périodes de sécheresse** (ONERC, 2012, p.30). La Polynésie connaîtra de fortes disparités, les Marquises ou les îles Australes recevant plus de précipitations (de +5 à +20% par rapport à aujourd'hui), quand l'archipel de Tuamotu les verra au contraire décroître (de -5 à -40%).

En l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de prévoir l'évolution des risques d'inondations liées à de fortes précipitations dans les territoires d'outre-mer.

Sur la période 1993-2011, le niveau de la mer s'est élevé dans l'ensemble de l'outre-mer, de 0 à 3 mm/an en Martinique, Guadeloupe et Polynésie, jusqu'à 5 à 9 mm/an pour la Réunion (Jouzel et al., 2012). **Les projections du GIEC pour 2100 sont comprises entre 18 et 59 cm mais celles-ci pourraient sous-estimer l'élévation future du niveau de la mer**, puisqu'elles ne tiennent pas compte des processus dynamiques de fonte et de flux de glaces.

L'élévation du niveau de la mer renforcera la tendance à l'érosion côtière, et aura des conséquences sur les réserves d'eau douce disponibles et les écosystèmes, à travers les intrusions salines dans les aquifères côtiers.

De nombreuses autres incertitudes persistent concernant l'évolution des épisodes climatiques extrêmes. Pour l'heure, le GIEC estime seulement qu'il est « vraisemblable » que l'intensité des cyclones, la fréquence et l'intensité des pluies extrêmes, canicules et sécheresses augmentent au cours du siècle.

b) Conséquences sur les principaux secteurs d'activité

Les changements climatiques pèseront sur les trajectoires de développement des territoires outre-mer, notamment en raison de leur dépendance économique à la mer et au tourisme, et de la concentration démographique sur les littoraux, qui accentuent leur vulnérabilité à l'élévation du niveau de la mer et à l'érosion côtière. Ils amplifieront des menaces déjà existantes, à travers l'augmentation de l'intensité et/ou la fréquence d'aléas extrêmes, et de la pression déjà exercée par des modes de développement non durable.

L'ONERC identifie 8 secteurs d'activité économique en outre-mer particulièrement sensibles aux variations climatiques :

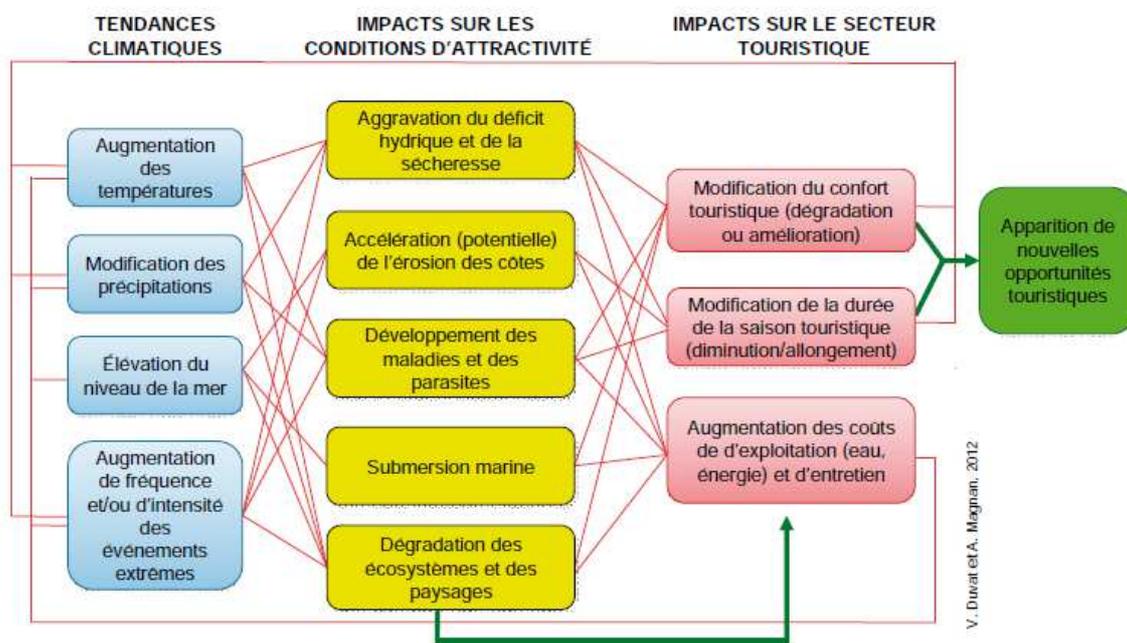
Biodiversité

En raison du caractère insulaire de la plupart des collectivités d'outre-mer, celles-ci accueillent **80% de la biodiversité française (dont de nombreuses espèces endémiques), sur 22% du territoire national** (ONERC, 2012, p.46). Les changements climatiques viendront aggraver les effets des perturbations anthropiques sur les milieux naturels (destruction de l'habitat naturel des espèces, urbanisation, pollution, tourisme, etc.). L'augmentation de la température affectera notamment les écosystèmes forestiers et les récifs coralliens. Par exemple, le **parc forestier de Guyane subira des épisodes de sécheresse prolongés qui accroîtront sa vulnérabilité aux feux de forêt**. En Polynésie, le blanchissement des coraux a déjà commencé, et il a été observé que celui-ci se produit lorsque la température à la surface de la mer dépasse 29,2°C, un seuil qui devrait être dépassé en 2050 (ONERC, 2012, p.55). L'élévation du niveau de la mer menacera aussi les mangroves, pourtant essentielles pour la fourniture d'eau potable et leur rôle de réservoir, qui sert de barrière naturelle aux inondations.

Tourisme

L'activité touristique est essentielle au développement économique des collectivités d'outre-mer, dont elles dépendent très fortement. Elle est très sensible aux conditions climatiques, qui constituent à la fois la plus grande ressource, et la plus grande menace, à l'industrie touristique (Fig.17) : l'élévation du niveau de la mer pourra détruire, au moins partiellement, des infrastructures implantées sur le littoral (restaurants, hôtels, aéroports, ports de plaisance, etc.) ; l'élévation de la température et de l'humidité favorisera la recrudescence de maladies tropicales et l'émergence de crises sanitaires, avec des conséquences directes sur la fréquentation des outre-mer (comme l'illustre la crise touristique à la Réunion en 2005-2006, à cause du virus chikungunya) ; la multiplication et l'intensification des épisodes climatiques extrêmes, la dégradation de la biodiversité, ainsi que les risques de pénurie d'eau liés à la baisse des précipitations annuelles, et enfin, la possibilité d'une forte augmentation du coût des transports (avions et croisières) provoquée par les mesures d'atténuation mises en place, devraient également porter atteinte à l'attractivité de ces destinations outre-mer.

Figure 17. Impacts attendus des changements climatiques sur le tourisme



Source, ONERC, 2012, p.70.

Pêche et aquaculture

En raison de leur zone économique exclusive (ZEE), les territoires d'outre-mer disposent d'un fort potentiel halieutique, même si le secteur de la pêche et de l'aquaculture joue le plus souvent un rôle économique secondaire compte tenu des contraintes existantes (forte concurrence internationale, isolement relatif, investissements réduits, quotas, fluctuation ou baisse des ressources, etc.)²⁹. Quel que soit son poids économique, la pêche est toutefois essentielle à l'alimentation des populations outre-mer. Les changements climatiques font peser une double menace sur ce secteur : sur les ressources halieutiques (migration et disparition des espèces, dégradation de certains habitats) et sur les moyens de production et de distribution (infrastructures au sol et bateaux). Les thons, espèces les plus pêchées, sont toutefois peu vulnérables aux perturbations climatiques et les déplacements attendus des stocks de thons, à cause de l'extension de la zone d'eau chaude occidentale vers l'Est de l'océan Pacifique, seront favorables aux territoires français, et à la Polynésie française en particulier (Lough et al., 2011).

L'élévation de la mer pourrait engendrer, dans la deuxième moitié du XXI^e siècle la submersion de Bassas da India, un micro atoll français situé dans l'océan Indien, entre les côtes malgaches et mozambicaines, et sur lequel Madagascar revendique la souveraineté. Cela pourrait avoir des **conséquences importantes pour la France, cet atoll donnant accès une ZEE de 123 000 km²**. En effet, la question de savoir si les États ayant perdu tout ou partie de leur territoire perdront également la possession des eaux maritimes qui sont liées à celui-ci fait l'objet d'un vide juridique.

Malgré la fonction largement vivrière de la pêche côtière pour la plupart des territoires d'outre-mer, **la baisse des stocks ne devrait pas avoir d'impact sur la sécurité alimentaire des**

²⁹ Voir annexe 10 et 11.

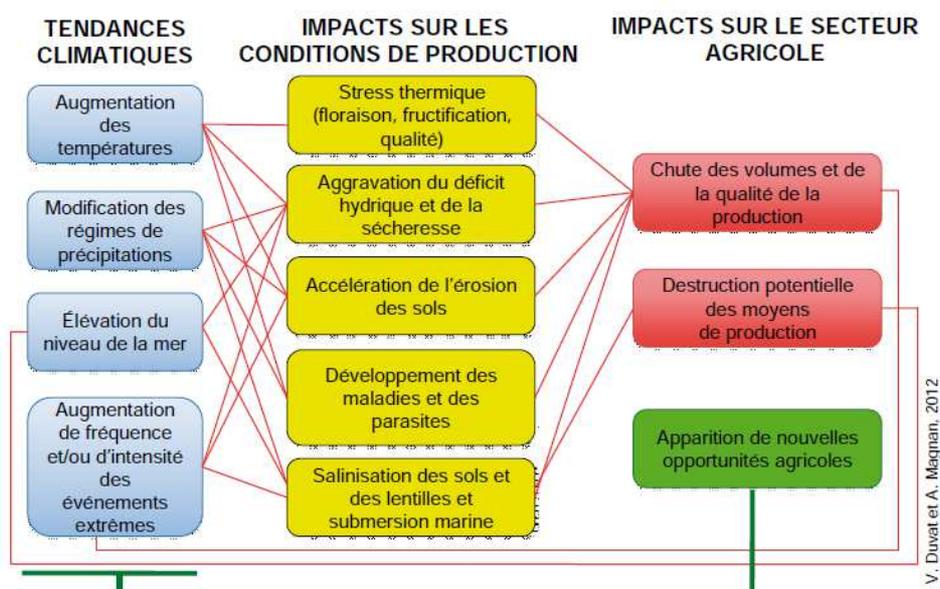
populations. Il est néanmoins indispensable de mettre en place des mesures visant à préserver le renouvellement et l'adaptation des espèces pêchées, qui font l'objet de fortes pressions environnementales et anthropiques (pêche illégale, surpêche). Face aux risques de submersion et d'érosion, il est également essentiel à la survie du secteur de la pêche d'anticiper ces changements dans la construction de nouvelles infrastructures permettant à la filière de fonctionner (ports, routes, etc.).

Agriculture et élevage

Dans l'ensemble des territoires d'outre-mer, le secteur agricole est confronté à cinq menaces principales liées aux changements climatiques, et susceptibles de mettre en danger plusieurs dizaines de milliers d'emplois (Fig.18) :

- 1) **Aggravation du déficit hydrique et de la sécheresse.** Il aura des conséquences importantes, compte tenu du rôle économique majeur des cultures d'exportation comme la canne à sucre, la banane, ou le melon, très consommatrices d'eau. Par exemple, la production de canne à sucre en Guadeloupe pourrait être réduite de 16 à 32%, ce qui se traduira par des suppressions d'emplois (Sierra, 2010).
- 2) **Accélération de l'érosion des sols**
- 3) **Développement des maladies et parasites.**
- 4) **Destruction des productions agricoles provoquée par des épisodes climatiques extrêmes.** Les Antilles seront les plus touchées par les cyclones, et la Nouvelle-Calédonie risque d'être exposée à une multiplication des feux de brousse, à cause des sécheresses.
- 5) **Pertes agricoles liées à la salinisation des sols et la submersion marine.**

Figure 18. Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture



Source : ONERC, 2012, p.106

Forêts

Les changements climatiques vont avoir des impacts négatifs sur le secteur forestier en outre-mer : perte de biodiversité et des ressources, diminution des services climatiques (capacité de stockage du CO₂) et écologiques (protection des sols et des côtes), déplacement des zones propices au développement des forêts, apparition d'espèces invasives qui vont altérer la valeur écologique et économique des écosystèmes forestiers³⁰. Cependant, **il est admis que les pressions anthropiques seront les premiers facteurs responsables de l'évolution des systèmes forestiers dans les prochaines décennies, devant les changements climatiques** (ONERC, 2012, p.124).

La Guyane est la première concernée par ces changements : **avec une superficie de huit millions d'hectares, la forêt équatoriale guyanaise représente un tiers du couvert forestier français et abrite la moitié de la biodiversité française totale** (ONERC, 2012, p.115). Jusqu'à présent, elle est relativement préservée, notamment de la déforestation qui sévit par ailleurs en Amazonie. Mais face aux prévisions de hausse des températures et de baisse des précipitations, la forêt est menacée par le stress hydrique et il est fort probable que l'on assiste dans les prochaines décennies à son **remplacement, au moins partiel, par des formations semi-arides comme les savanes** (Zelazowski et al., 2011). L'augmentation du **risque d'incendies** est également une menace qui pèse sur l'ensemble des forêts présentes sur les territoires d'outre-mer.

Les **mangroves**, surtout présentes en Guyane et en Nouvelle-Calédonie, assurent des services essentiels (piégeage des sédiments et polluants, fourniture de bois, barrière naturelle contre les tempêtes et l'érosion, etc.) qu'il s'agit de préserver face aux changements climatiques (élévation du niveau de la mer, salinité, tempêtes, etc.) et aux pressions anthropiques.

Santé

Les effets seront très variables d'un territoire à l'autre, en fonction de l'état des systèmes de santé déjà existants, des pathologies déjà présentes, du peuplement, des variations climatiques, etc (Fig.19). **Mayotte est sans doute le territoire le plus vulnérable, en raison de l'insuffisance de l'offre de santé et du faible niveau de développement.**

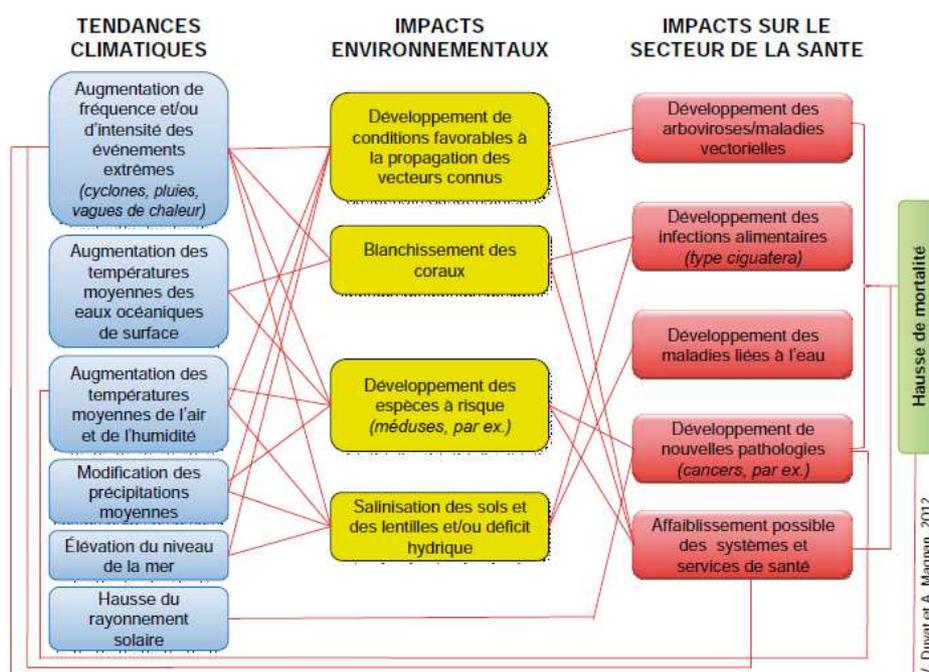
Quel que soit le territoire d'outre-mer considéré, les changements climatiques vont probablement accroître les **risques liés aux maladies transportés par les moustiques** (dengue, chikungunya, paludisme, virus du Nil occidental, fièvre jaune), et les épidémies. On observera à la fois une expansion spatiale, avec des zones auparavant non touchées et qui le deviendront, et temporelle, la présence de ces pathologies devenant annuelle et non plus saisonnière.

Les maladies alimentaires et/ou liées à l'eau vont également se multiplier comme, par exemple, la ciguatera, qui survient lorsque des poissons infectés sont consommés (voir encadré).

La probabilité de voir apparaître de « nouvelles » maladies est cependant peu avérée à ce jour.

³⁰ Voir annexe 12.

Figure 19. Impacts attendus des changements climatiques sur la santé



Source : ONERC, 2012, p138

Les pics thermiques pourront engendrer l'apparition de **nouvelles algues toxiques**, et rendre plus fréquentes les **allergies et les problèmes respiratoires** qui leur sont associés. Le réchauffement des eaux océaniques de surface pourra aussi conduire à la multiplication d'espèces dangereuses pour l'homme, comme les méduses et les poissons venimeux (ONERC, 2012, p.139).

L'intensification et la multiplication des épisodes climatiques extrêmes auront nécessairement des **implications sanitaires et psychosociales**, en provoquant à la fois des dégâts matériels, des pertes humaines et des traumatismes psychologiques.

Une **dégradation des systèmes de soin est à prévoir** dans les prochaines décennies dans les territoires d'outre-mer, si les événements extrêmes détruisent les infrastructures de santé, ou si les services de soin sont saturés par la demande croissante liée aux épidémies et aux dégradations des conditions sanitaires.

Le réchauffement marin augmente le risque d'épidémie de ciguatera

La ciguatera est une intoxication alimentaire courante dans les zones tropicales et liée à l'ingestion de poissons de lagon contaminés par des dinoflagellés (*Gambierdiscus toxicus*). Ces algues toxiques microscopiques sont naturellement présentes dans les récifs coralliens mais deviennent problématiques lorsque leur densité devient trop importante, en raison des puissantes neurotoxines qu'elles libèrent et qui sont ingérées par les poissons. Elles se développent notamment sur des surfaces coralliennes mortes ou endommagées par des phénomènes naturels (cyclones, tsunamis, etc.) et par l'homme.

La ciguatera, également appelée « la gratte », se manifeste par de nombreux symptômes (troubles digestifs, démangeaisons, douleurs musculaires, maux de tête, fatigue, etc.) pouvant aller jusqu'au coma, et il n'existe aucun traitement à ce jour pour éliminer les toxines ingérées.

Sur le territoire français, la ciguatera est particulièrement présente en Polynésie française où elle touche 800 à 1000 personnes par an, mais on la trouve également aux Antilles, à la Réunion et en Nouvelle-Calédonie (Avagliano et Petit, 2009).

La dégradation des récifs coralliens induite par les changements climatiques (blanchiment des coraux lié au réchauffement marin et endommagements provoqués par les cyclones) va favoriser la prolifération d'algues toxiques comme les dinoflagellés, et donc augmenter les risques d'épidémie de ciguatera. Une étude récente réalisée aux États-Unis montre par exemple que toute augmentation de 1°C des eaux des Caraïbes entraîne une hausse de 62% des appels aux centres anti-poisons au motif de ciguatera (Gingold et al., 2014).

Ces impacts sanitaires auront des répercussions importantes sur l'économie des territoires d'outre-mer. La multiplication des pathologies générera nécessairement des coûts de santé, pèsera sur les systèmes de sécurité sociale lorsqu'ils existent, et diminuera l'attractivité touristique des territoires. À titre d'exemple, lors de la crise du chikungunya à la Réunion en 2005-2006, près de sept arrêts maladies sur dix étaient liés à l'épidémie, et un fonds spécial de 60 millions d'euros a été mis en place pour supporter les coûts (Magnan, 2006).

Énergie

La baisse des précipitations et l'élévation des températures attendues en Guyane et à la Réunion vont réduire le potentiel hydraulique de ces régions, quand la Polynésie française va au contraire voir cette ressource énergétique augmenter sous l'effet de la hausse annoncée des précipitations. En Martinique, la hausse potentielle de la durée d'ensoleillement va être bénéfique au développement de l'énergie solaire.

La multiplication des événements extrêmes endommagera également les infrastructures de production, de transport et de stockage de l'énergie, déjà mises à mal aujourd'hui par des tempêtes qui dégradent les réseaux d'approvisionnement dans les Caraïbes, des crues qui affectent l'état des barrages, ou encore des vagues de chaleur qui impactent les réseaux de distribution (ONERC, 2012, p.152).

Gestion des risques littoraux

Les risques littoraux sont nombreux : érosion côtière, submersions, inondations, mouvements de terrain, salinisation des sols et des nappes phréatiques, etc³¹. La plupart des territoires d'outre-mer sont confrontés à des degrés divers à ces risques, les plus exposés étant ceux les plus peuplés et situés sur la trajectoire des cyclones (Antilles, Guadeloupe, Martinique, Réunion, etc.). **Ces risques sont d'autant plus élevés quand l'urbanisation du littoral, son peuplement, et le développement des activités économiques y sont importants.** Par exemple, à la Martinique, 62% des infrastructures et 50% de la population se concentrent sur une surface de 170 km² fortement exposée aux risques littoraux (ONERC, 2012, p.161).

Avec l'élévation du niveau de la mer, il est attendu que certaines zones littorales soient submergées dans les outre-mer (de manière temporaire, voire permanente pour les zones les plus basses). Des petits atolls comme Saint-Barthélemy et Saint-Pierre-et-Miquelon verront disparaître jusqu'à 7% de leur surface, quand la Guyane, la Martinique ou la Nouvelle-Calédonie perdront 3 à 4% de leur territoire d'ici la fin du siècle. **La Nouvelle-Calédonie et la Guadeloupe sont les plus exposées au risque de dégradation, voire de destruction de leurs infrastructures situées sur le littoral** (bâtiments, routes) (ONERC, 2012, p.166). Tous territoires confondus, une attention particulière devra être portée aux aéroports situés en zone basse du littoral, compte tenu de l'importance de ces infrastructures pour le tourisme, l'approvisionnement du territoire, l'accès à l'extérieur, etc. Par exemple, il est estimé qu'avec une élévation du niveau de la mer de 88 cm, l'aéroport de Tahiti serait submergé, ainsi qu'une partie de la commune de Faaa sur laquelle il est implanté.

Il est toutefois **prématuré d'affirmer que la montée du niveau de la mer constituera nécessairement un facteur aggravant de l'érosion côtière**, compte tenu de la complexité des facteurs qui entrent en jeu dans ce processus, et des incertitudes quant aux évolutions climatiques locales. Des études ont ainsi montré qu'au cours des dernières décennies, en

³¹ Voir annexe 13.

dépit de l'élévation du niveau de la mer, certaines plages et îles basses de la Polynésie française sont restées stables ou se sont même étendues (Le Cozannet et al., 2011). Il convient de plus de garder à l'esprit que les activités anthropiques continueront de jouer un rôle prépondérant dans l'évolution des littoraux français. Les changements climatiques vont ainsi se combiner notamment avec une croissance démographique rapide et une urbanisation non durable du littoral. On estime par exemple que la Guyane devrait voir sa population multipliée par 2,6 entre 2007 et 2040 (de 213 000 habitants à 574 000) (ONERC, 2012, p.171).

Tableau 4. Impacts dans les territoires d'outre-mer

Scénario	Impacts	Horizon temporel	
		2030	2050
+2°C (RCP2.6)	T°C moy	Légère hausse des températures	Hausse de la température attendue dans tous les territoires d'outre-mer mais données disponibles uniquement pour les Antilles (entre +0,8 et +1,2°C)
	Précipitations	Peu de changements sont attendus à cet horizon	Fortes variations en fonction des territoires insulaires (baisse à la Réunion et en Nouvelle-Calédonie, hausse dans les Marquises)
	Hausse du niveau des mers	Hausse certaine du niveau des mers mais fortes variations d'un territoire à l'autre	Idem
	Évènements climatiques extrêmes	Peu de changements attendus à cet horizon	Augmentation probable de la fréquence et de l'intensité des cyclones et tempêtes, avec intrusion d'eau salée
	Cryosphère	Fonte des glaciers contribuera à la hausse du niveau des mers en outre-mer	Idem
+5°C (RCP8.5)	T°C moy	Légère hausse des températures Épisodes de blanchissement des coraux plus fréquents et expansion des maladies tropicales	Hausse de la température attendue dans tous les territoires d'outre-mer mais données disponibles uniquement pour les Antilles (entre +0,8 et +1,2°C) Disparition des coraux
	Précipitations	Fortes variations en fonction des territoires insulaires (baisse à la Réunion et en Nouvelle-Calédonie, hausse dans les Marquises)	Idem, avec risques sanitaires importants (maladies et parasites) et risques de sécheresses et/ou pluies diluviennes
	Hausse du niveau des mers	Hausse certaine du niveau des mers mais fortes variations d'un territoire à l'autre	Idem avec risques importants de submersion des zones côtières et de leurs infrastructures
	Evènements climatiques extrêmes	Augmentation probable de la fréquence et de l'intensité des cyclones et tempêtes	Idem mais tendances plus marquées
	Cryosphère	Fonte des glaciers contribuera à la hausse du niveau des mers	Idem

II. Impacts pour l'Afrique

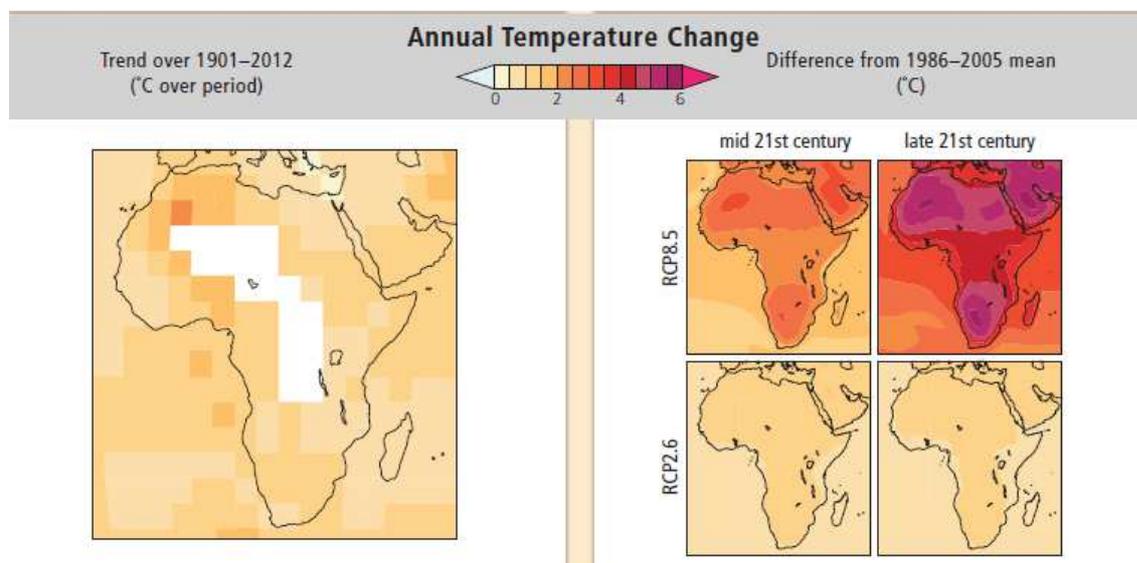
L'Afrique est l'un des continents les plus vulnérables en raison de sa forte exposition et de sa faible capacité d'adaptation aux changements climatiques/environnementaux. La variabilité du climat naturel, le changement climatique anthropique et les interactions entre ces facteurs rendent difficile la détermination le rôle du changement climatique isolément des autres paramètres.

La hausse des températures, le changement des précipitations, la multiplication des cyclones tropicaux et autres épisodes pluviométriques et l'augmentation du niveau de la mer comptent parmi les impacts les plus importants³². Toutefois, leurs conséquences sur les systèmes humains demeurent difficiles à prédire. Le rapport du groupe 2 du GIEC (2014) qui s'y intéresse (chaque chapitre est réservé à une thématique ou un continent – chapitre 7 sur l'agriculture, 10 sur les secteurs économiques clés ou 22 sur l'Afrique) ne mentionne qu'en de très rares occasions des horizons temporels précis (2030 ou 2050) et n'indique jamais le scénario de référence associé à l'impact décrit ou pronostiqué.

1. Principaux impacts physiques

Les températures de surface ont augmenté de 0,5°C ou plus pendant les 50 à 100 dernières années dans la plupart des régions d'Afrique, les températures minimales augmentant plus rapidement que les maximales (Fig.20). Au cours des dernières décennies, les tendances – de température moyenne – annuelles et saisonnières observées en Afrique du Nord dépassent considérablement la gamme des changements dus à la variabilité naturelle. **Il est prévu que les températures en Afrique augmenteront plus rapidement que la moyenne mondiale au cours du XXI^e siècle** (Christensen et al., 2007 ; Joshi et al., 2011 ; Sanderson et al., 2011 ; James et Washington, 2013).

Figure 20. Évolution constatée et projetée de la température en Afrique



Source : Niang et al., 2014, p.1207.

³² Voir annexe 14.

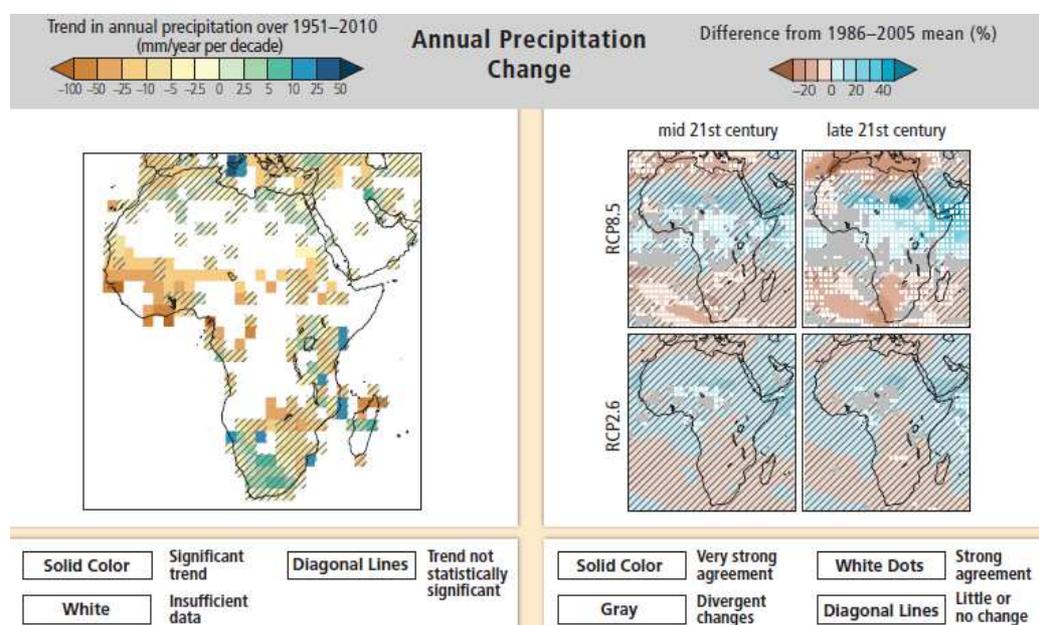
Les variations de la température moyenne sont relativement importantes dès 2050 pour le scénario RCP8.5 (2 à 3°C), particulièrement dans les zones septentrionales et méridionales.

Dans ces régions, les hausses peuvent atteindre 4 à 6°C à la fin du siècle. En revanche, la hausse demeure relativement contenue (inférieure à 2°C) dans le cas du scénario RCP2.6, à 2050 comme à 2100.

Diffenbaugh et Giorgi (2012) identifient le Sahel et l'Afrique occidentale tropicale comme l'un des points chauds du changement climatique, pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, et dont les évolutions devraient se produire plus tôt (fin des années 2030-début des années 2040) dans ces régions (Mora et Al., 2013). Par exemple, l'accroissement moyen de la température en surface en Afrique australe devrait, à cet horizon, dépasser la moyenne mondiale en toutes saisons (Sillmann et Roeckner, 2008 ; Watterson, 2009; Mariotti et al., 2011; Orlosky et Seneviratne, 2012; James et Washington, 2013).

Les projections concernant les précipitations sont plus incertaines que celles relatives aux températures (Rowell, 2012) et présentent une plus grande dépendance spatiale et saisonnière (Orlosky et Seneviratne, 2012), p. 1210. **Le GIEC prévoit une diminution des précipitations annuelles moyennes sur la région méditerranéenne du nord de l'Afrique dès 2050 selon le scénario RCP8.5** (Fig.21). Sont également prévues des baisses des précipitations annuelles moyennes sur l'Afrique australe à partir de 2050 pour le RCP8.5, qui s'accroissent sensiblement à l'horizon 2100. En revanche, selon ce même scénario, le GIEC prévoit une augmentation des précipitations annuelles moyennes sur les régions d'Afrique centrale et orientale à partir de 2050³³. Contrairement à ces évolutions importantes, la plupart des régions du continent africain ne présentent pas, selon le RCP2.6, de changements dans les précipitations annuelles moyennes.

Figure 21. Évolution constatée et projetée des précipitations en Afrique



Source : Niang et al., 2014, p.1207.

Des variations dans les extrêmes (sécheresse et fortes pluies) ont été enregistrées plus fréquemment au cours des 30-60 dernières années dans l'Est de l'Afrique (Funk et al., 2008;

³³ Voir annexe 15.

Williams et Funk, 2011; Shongwe et al., 2011; Lyon et DeWitt, 2012). Il a ainsi été démontré que le réchauffement continu des océans Indien et Pacifique a contribué, sous l'effet des variations de l'AMOC, à augmenter la fréquence des sécheresses en Afrique de l'Est au cours des trente dernières années durant le printemps et l'été (Williams et Funk, 2011). Le Sud-ouest africain, l'Afrique de l'Est et l'Afrique australe devraient connaître un accroissement des sécheresses sévères au cours du XXI^e siècle et au-delà (Hoerling et al., 2006; Shongwe et al., 2011) en raison de la réduction des précipitations et/ou de l'augmentation de l'évapotranspiration. La saison des pluies pourrait connaître plus régulièrement des épisodes de précipitations extrêmes mais seulement en Afrique de l'Est (degré de confiance faible à moyen dans les autres régions).

L'exposition aux risques de cyclones tropicaux connaît sa plus forte progression en Afrique en comparaison des autres continents, en particulier à Madagascar et au Mozambique), sachant que ces phénomènes se traduisent quasi-systématiquement en inondations (CDKN, 2012, p.12). Ces dernières, bien qu'elles ne découlent pas de cyclones, sont toutefois fréquentes en Afrique du Nord, en Afrique de l'Est et en Afrique de l'Ouest, en témoignent les épisodes récents (2009, 2012, 2016, 2017).

2. Impacts socio-économiques

a) Sécurité alimentaire

La sécurité alimentaire en Afrique est déjà confrontée à de multiples menaces découlant de la pauvreté, de la dégradation de l'environnement, de l'urbanisation rapide, des taux élevés de croissance de la population. Les changements climatiques vont là encore jouer le rôle d'amplificateur de risques en impactant l'ensemble des composantes de la sécurité alimentaire (disponibilité, accessibilité, utilisation et stabilité des prix).

Premier secteur économique en Afrique (50 % de la valeur totale des exportations, 21 % du PIB), l'agriculture est aussi le plus exposé aux variations climatiques (CDKN, 2012, p. 14) en raison de sa forte dépendance à la pluviométrie, aux fortes variabilités climatiques intra et inter-saisonniers, aux sécheresses récurrentes et aux inondations qui affectent à la fois les cultures, le bétail mais aussi du fait de la pauvreté persistante qui limite la capacité d'adaptation (Boko et al., 2007).

Sur le continent, **les changements climatiques sont susceptibles d'avoir un effet global négatif sur les rendements des principales cultures céréalières**, avec une forte variabilité régionale mais aussi en fonction des cultures (de 2% seulement pour le sorgho à 35% pour le blé selon les régions) (Nelson et al., 2009). **D'autres études prévoient d'ici à 2050 une réduction de 8% des rendements dans le Sud du continent** (blé, maïs, sorgho, mil seraient plus affectés que le riz, la canne à sucre ou le manioc) (Knox et al., 2012).

Dans la région subsaharienne, l'agriculture dépend à 98% de l'eau pluviale (FAO, 2002). Les rendements agricoles stagnants et la croissance de la population de la région ont entraîné une chute de la disponibilité alimentaire par habitant depuis les années 1970 (Groupe de pilotage OMD Afrique, 2008). La modification sensible de la mousson africaine liée à la fonte des glaces et au ralentissement de l'AMOC pourrait conduire à une baisse de la pluviométrie, qui pourrait impacter les rendements de céréales cruciales pour les populations de la région comme le mil et le sorgho (Defrance et al., 2007). La croissance démographique viendra rajouter une pression supplémentaire.

L'Afrique australe et l'Afrique du Nord devraient être les régions les plus affectées par les sécheresses engendrant un recul de la production agricole (Solomon et al., 2007 ; Masike et Ulrich, 2008 ; Thornton et al., 2009b ; Dougill et al., 2010 ; Freier et al., 2012 ; Schilling et al., 2012). **Selon les tendances actuelles, la dépendance aux importations agricoles de l'Afrique du Nord et de l'Afrique sub-saharienne devrait continuer à croître à l'horizon 2050. De même au Maghreb où la dépendance aux importations agricoles pourrait atteindre 68 % en 2050 (Le Mouël et al., 2015)³⁴.**

La plupart des pays africains devront faire face, d'ici 2050, à de nouvelles conditions climatiques sur au moins la moitié des zones de cultures actuelles (Burke et al., 2009), condamnant de facto les gouvernements à une réflexion sur l'adaptation des cultures à cet environnement changeant. Toutefois, certaines études prospectives à 2050 sur le sujet reconnaissent la difficulté du travail de modélisation et de quantification des hypothèses des rendements végétaux et animaux (Le Mouël, 2015, p. 128).

Les intempéries, en affectant les récoltes ailleurs dans le monde pourraient jouer à la hausse sur les prix des denrées et réduire l'accès de l'Afrique aux marchés alimentaires. L'accès est également menacé par des événements extrêmes qui peuvent détruire des infrastructures de transport ou de production (routes, ports, usines de conditionnement, coopératives agricoles, etc.). Les conditions plus chaudes et plus humides pourraient avoir une incidence sur la **préservation des aliments** (risque accru de détérioration des aliments frais et des dommages causés par les organismes nuisibles sur les lieux de stockage).

La **pêche** est une composante essentielle de la sécurité alimentaire en Afrique. Pour répondre à la demande en produits halieutiques d'ici 2020, De Silva et Soto (2009) ont estimé que la production aquacole en Afrique devrait augmenter de près de 500%. Les pays les plus vulnérables sont l'Angola, la République démocratique du Congo, la Mauritanie et le Sénégal, en raison de l'importance de la pêche pour les populations défavorisées et du lien étroit entre la variabilité climatique et la production halieutique. Dans les pays côtiers d'Afrique de l'Ouest, **certaines analyses prévoient qu'en 2050, la valeur annuelle au débarquement des poissons devrait diminuer de 21%, entraînant une baisse de près de 50 % de l'emploi lié à la pêche et une perte annuelle totale de 311 millions de dollars dans l'économie de la région** (Lam et al., 2012,).

Bien que la disponibilité en eau dépende fortement de la pluviométrie dans nombre de régions d'Afrique, une littérature croissante générée depuis le 4^e rapport du GIEC suggère que le **réchauffement climatique aura un effet global modeste sur la pénurie d'eau en comparaison d'autres facteurs**, comme la croissance de la population, l'urbanisation, le développement agricole et le changement de l'utilisation des terres. Pour l'Afrique du Nord, Droogers et al. (2012) a ainsi estimé qu'**en 2050, les changements climatiques pourraient être à l'origine de 22% des pénuries d'eau dans la région**, le reste étant imputable aux facteurs socio-économiques.

En Afrique orientale, les impacts potentiels des changements climatiques sur le bassin du Nil sont particulièrement préoccupants compte tenu de son importance géopolitique et socio-économique. Outre la réduction du débit du fleuve, la région pourrait pâtir d'une baisse

³⁴ <https://inra-dam-front-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/313120-18f6c-resource-etude-inra-pluriagri-afrique-du-nord-moyen-orient-plaquette-cop21-8-pages-fr.html>

de la recharge des nappes souterraines en raison de précipitations insuffisantes lors de la saison des pluies.

Comme évoqué précédemment, **la forte croissance de la population urbaine, qui devrait tripler d'ici 2050, en augmentant de 800 millions (Division de la population de l'ONU DESA, 2010) agira comme facteur aggravant des risques** alimentaires ou sanitaires, notamment en raison d'une absence de planification, de la pauvreté, du difficile accès aux soins, et de la défaillance des réseaux d'eau et d'assainissement.

Niger : une vulnérabilité extrême aux changements climatiques

Le Niger est l'un des pays les plus vulnérables aux changements climatiques. Les trois quarts du territoire reçoivent moins de 150 mm/an de précipitations, un chiffre qui est amené à varier dans les décennies qui viennent. Si la tendance des précipitations n'est pas déterminée précisément, les conclusions actuelles pariant toutefois sur un accroissement de la variabilité interannuelle et une augmentation des sécheresses et des fortes précipitations, tout aussi problématique qu'une chute de la pluviométrie. Dans le même temps, la population (19,9 millions d'habitants aujourd'hui) devrait croître de 263 % d'ici 2050.³⁵ Ce taux de croissance démographique, le plus élevé en Afrique (3,6 pour cent)³⁶ freine les progrès accomplis en matière de réduction de la pauvreté, plaçant le Niger tout en bas du classement de l'Indice de Développement Humain (IDH) du PNUD (0,353 en 2016). Plus de 80 % des adultes en âge de travailler sont employés dans le secteur agricole (seuls 15% des terres du pays sont qualifiées de fertile) qui devrait subir les impacts de la hausse des températures et des variations de la pluviométrie, affectant la sécurité alimentaire dans un pays qui est également enclavé géographiquement³⁷. Si la production agricole a pu augmenter ces dernières années en raison de précipitations plus clémentes et de l'expansion de la surface cultivée (et donc pas obligatoirement du fait des rendements), le pays n'est pas pour autant à l'abri des impacts des phénomènes extrêmes comme en 2009/2010 (sécheresses et inondations qui sont porteurs de crises sanitaires qui peuvent dégénérer en épidémie). La désertification reste un autre problème majeur en raison des prélèvements de bois liés aux usages domestiques (cuisine, chauffage).

À cela, s'ajoutent les risques liés à la situation politique interne et régionale. Actuellement la scène politique est marquée par l'opposition entre Hama Amadou et Mahamadou Issoufou qui structure la vie politique du pays depuis les élections de 2016. Sur le plan sécuritaire, le Niger est confronté à la menace terroriste d'al-Qaïda au Maghreb islamique (AQMI) et al-Mourabitoune qui ont commis de nombreux attentats sur le sol nigérien et au Sahel. Ces groupes prennent également pour cible les intérêts français dans la région, comme en témoigne l'enlèvement de deux ressortissants français à Niamey en janvier 2011 et l'attentat suicide contre le site de la Société des mines de l'Aïr, partiellement détenue par Areva, en mai 2013. Dans la région du lac Tchad, Boko Haram a également mené des attaques au Niger. Son chef, Abubakar Shekau, s'en est pris ouvertement au président Mahamadou Issoufou, ainsi qu'à la France, dans plusieurs vidéos³⁸. En outre, le Niger est le 4^e producteur mondial d'uranium et le 2^e fournisseur de la multinationale française AREVA qui fournit un tiers du combustible des centrales nucléaires françaises³⁹. Par sa situation, le Niger fournit ainsi un exemple marquant de l'imbrication de facteurs de vulnérabilité et nécessite une attention et un soutien appuyés.

b) Tourisme et infrastructures

Le tourisme a un poids important dans le revenu total de la plupart des économies des pays africains riverains de la Méditerranée, notamment l'Égypte, le Maroc et la Tunisie, très attractifs pour les pays d'Europe occidentale et septentrionale. Ce secteur est particulièrement vulnérable aux variations du climat car la région connaît déjà des températures élevées et un fort stress hydrique, surtout en été. De plus, la plupart des activités

³⁵ Pierre Breteau, « D'ici 2050, l'Afrique gagnera des habitants, l'Europe en perdra », LeMonde.fr, 3 août 2015.

³⁶ Ces données font référence à l'année 2015.

³⁷ Une réflexion s'est engagée et des initiatives sont lancées pour répondre en partie à ces enjeux (Initiative 3N « Les Nigériens nourrissent les Nigériens » lancé en 2011). <http://www.initiative3n.net/>

³⁸ Présentation du Niger, Ministère des Affaires étrangères et du développement international.

³⁹ Selon les chiffres de la compagnie (dossier de presse Niger).

touristiques sont concentrées dans les villes côtières qui seront concernées par l'augmentation du niveau de la mer et l'intensification des événements extrêmes (en Tunisie par exemple 90 % de l'activité touristique est regroupée sur les côtes (UNEPb, 2007). Si les vagues de chaleur et les températures estivales augmentaient avec des problèmes de ressources en eau, l'attractivité des régions méditerranéennes pourrait diminuer au profit de régions plus septentrionales (FEMIP, 2008, p.25).

Le tourisme balnéaire risque de subir des dommages causés par l'érosion des plages, l'élévation du niveau de la mer, et le stress hydrique. Par exemple, l'érosion côtière menace le tourisme de l'Afrique de l'Ouest et en particulier celui du Sénégal. L'océan Atlantique y a emporté les plages, en obligeant parfois les gérants des hôtels à construire des murs bloquant l'avancée de la mer (Makini, 2015). Les impacts de la hausse du niveau de la mer seront forts vu que plus d'un quart de la population de l'Afrique vit à moins de 100 km de la côte et plus de la moitié de la population totale de l'Afrique vit dans des zones côtières de faible altitude.

Selon le GIEC, les changements climatiques (surtout l'élévation du niveau de la mer et les phénomènes météorologiques extrêmes) pourraient affecter sérieusement les infrastructures (routes, transports, bâtiments, énergie, stockages, systèmes de gestion de l'eau et les services publics).

Parmi les activités industrielles, la **production d'électricité est le secteur le plus impacté par les effets du réchauffement climatique**⁴⁰. L'augmentation du stress hydrique couplée à l'occurrence plus fréquente d'événements climatiques extrêmes pourrait impacter le potentiel hydro-électrique et la capacité de refroidissement des centrales nucléaires – qui reste toutefois peu nombreuses en Afrique. Les zones les plus vulnérables seront celles de l'Afrique du Nord voisines des zones désertiques, les grands deltas, les zones côtières ainsi que les zones à forte croissance démographique (rive Sud et Est, villes denses et banlieues).

Par exemple, le Maroc a enregistré une baisse significative de sa production hydroélectrique due, principalement, à la diminution du débit au niveau des barrages. Cela a conduit l'Office National de l'Électricité du Maroc à s'orienter vers la production énergétique d'origine thermique et les énergies renouvelables (FEMIP, 2008, p.542-543). **Dans le bassin du Zambèze, certaines études prévoient une chute de 10% des capacités hydroélectriques d'ici 2030 et de 35% d'ici à 2050 dans le cas du scénario RCP8.5** (Strzepek et al., 2011). En Égypte, la production hydroélectrique repose entièrement sur l'exploitation des eaux du Nil. Les fortes incertitudes concernant les impacts des changements climatiques sur l'évolution des ressources en eau et sur celle du débit du Nil rendent très difficile l'estimation du potentiel hydroélectrique futur.

En outre, les changements climatiques peuvent influencer sur **l'intégrité et la fiabilité des pipelines et des réseaux d'électricité**. Il pourra être nécessaire de changer les normes pour la construction et l'exploitation des pipelines, des lignes de transmission et de distribution. Les impacts sur les **secteurs des services** sont difficiles à mesurer même si des corrélations, positives ou négatives, peuvent être établies⁴¹.

⁴⁰ Voir annexe 16.

⁴¹ Voir annexe 17.

Tableau 5. Impacts en Afrique⁴²

scénario	impacts	Horizon temporel	
		2030	2050
+2°C (RCP2.6)	T°C moyenne	<1°C	<1,5°C
	Précipitations	Peu de changements sont attendus à cet horizon	Peu de changements sont attendus à cet horizon
	Hausse du niveau des mers	+0,08-0,18m	+0,15-0,30m
	Evènements climatiques extrêmes	Peu de changements sont attendus à cet horizon	Peu de changements sont attendus à cet horizon
	Cryosphère	Recul des neiges éternelles (Kilimandjaro, Mont Kenya, Mont Stanley)	Recul des neiges éternelles (Kilimandjaro, Mont Kenya, Mont Stanley)
+5°C (RCP8.5)	T°C moyenne	+1 à 2°C	+2 à 3°C (hausse plus marquée au Sahel et en Afrique australe) Risque de propagation des maladies. Hausse des T°C et acidification des océans aura un impact sur les ressources halieutiques.
	Précipitations	Peu de changements sont attendus à cet horizon	Diminution des précipitations moyennes pour l'Afrique du Nord et l'Afrique australe et augmentation des précipitations moyennes en Afrique orientale. Augmentation de la variabilité interannuelle. Baisse de la productivité des cultures probable sans adaptation importante.
	Hausse du niveau des mers	+0,08-0,18m	+0,2-0,35m. Hausse potentiellement plus marquée sur les côtes Ouest (Mauritanie jusqu'au golfe de Guinée) et Est (Golfe d'Aden et prolongement Sud) ; impacts liés à la concentration des activités et population sur le littoral
	Evènements climatiques extrêmes	Augmentation de la probabilité d'occurrence des phénomènes extrême.	Risque de cyclones exacerbé (Madagascar, Mozambique). Risque de fortes précipitations Afrique de l'Est. Destructures (infrastructures, habitat) et inondations, épidémies.
	Cryosphère	Probable disparition des neiges éternelles (Kilimandjaro, Mont Kenya, Mont Stanley)	Très probable disparition des neiges éternelles (Kilimandjaro, Mont Kenya, Mont Stanley)

⁴² Consulter également à ce titre l'annexe 14.

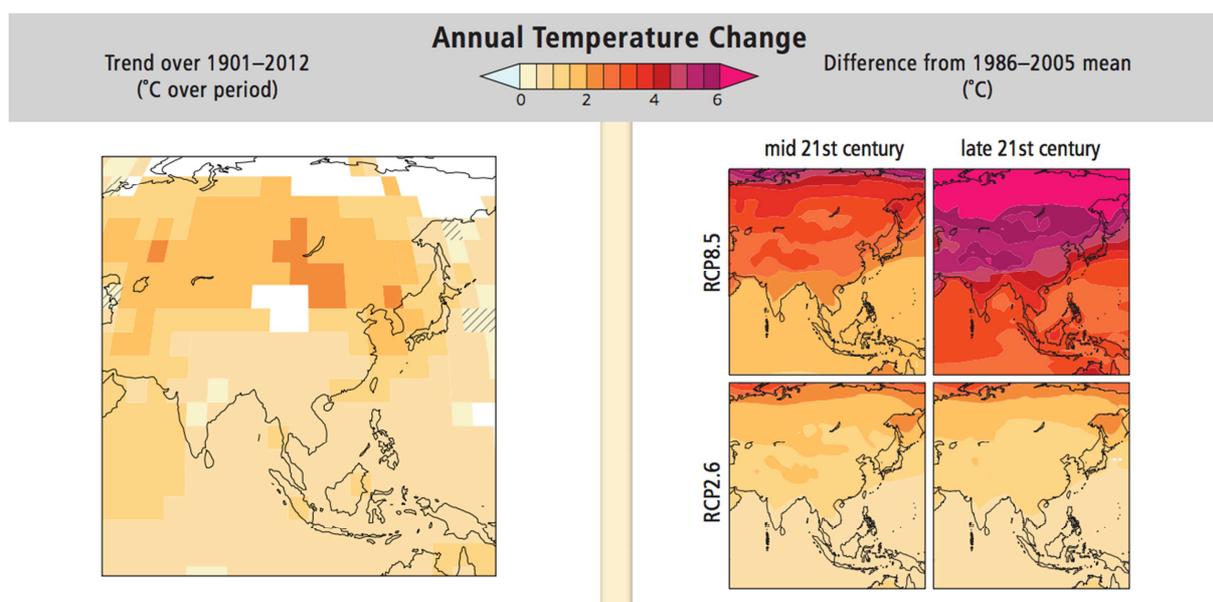
III. Impacts pour l'Asie-Pacifique

La région Asie-Pacifique est la région du monde la plus exposée aux impacts du changement climatique, que ces impacts soient de nature brutale ou progressive. Pour la région Asie-Pacifique, les principaux impacts à prendre en considération sont les suivants : hausse des températures, changements dans les précipitations, perturbations de la mousson, hausse du niveau de la mer, inondations et cyclones tropicaux. L'Asie-Pacifique est particulièrement vulnérable en raison de son très haut degré d'exposition aux risques environnementaux, sa haute densité de population, particulièrement sur les côtes. L'Asie-Pacifique est aussi la région du monde la plus affectée par les catastrophes naturelles, dont le nombre a plus que doublé par rapport à la décennie 1980-1989. Cette section détaille les principaux impacts des changements climatiques en termes de sécurité pour la région, à +2°C et +5°C.

1. Principaux impacts physiques

Au cours du siècle dernier, un important réchauffement des températures a été observé dans la plupart des régions d'Asie-Pacifique, avec des températures extrêmes enregistrées en plusieurs endroits. Pour 2030 et 2050, la hausse des températures est amenée à se poursuivre, à des tendances différentes selon les scénarios. **Dans le scénario RCP8.5, la hausse de température dépassera 2°C d'ici 2100 sur l'ensemble de la région, avec des pointes à plus de 3°C en Asie du Sud et du Sud-Est, et même au-delà de 6°C dans les hautes latitudes.** Selon les autres scénarios, les hausses moyennes devraient rester en-dessous de 2°C dans la plupart des zones d'Asie-Pacifique, sauf dans les hautes latitudes où cette augmentation pourrait atteindre 3°C (Hijoka et al. 2014).

Figure 22. Évolution constatée et projetée de la température en Asie

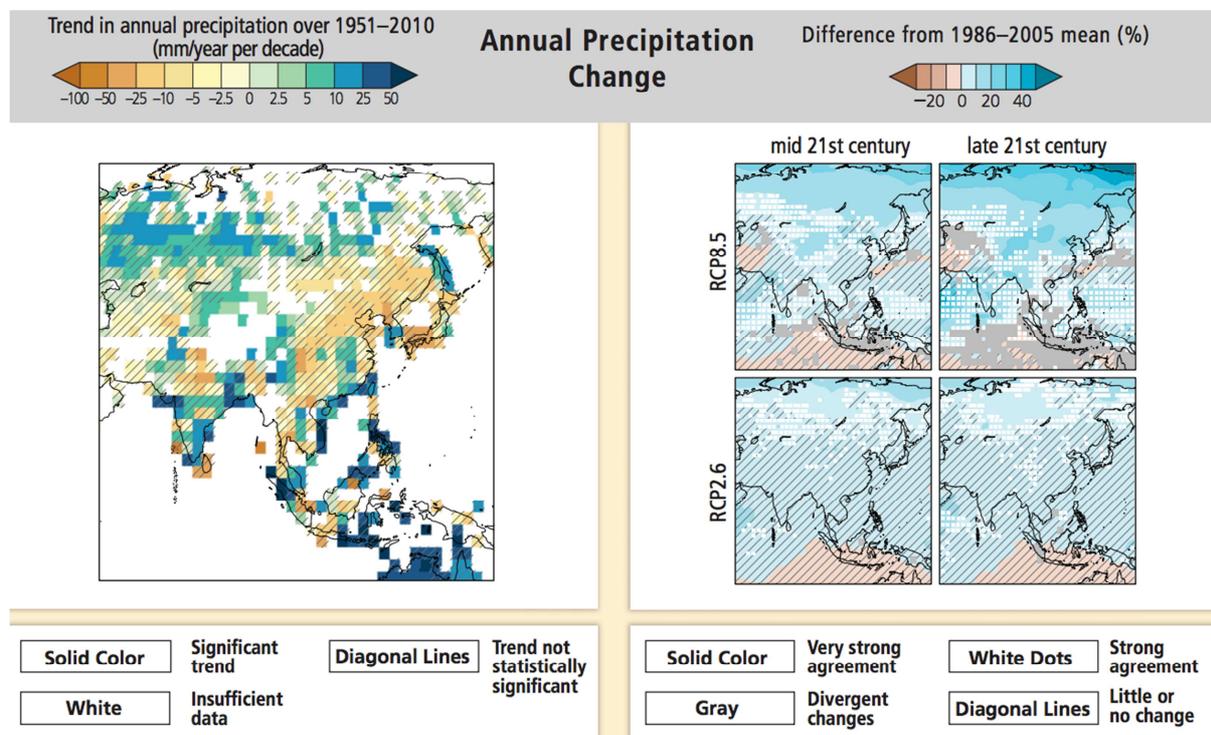


Source : Hijoka et al. 2014

Le continent reste néanmoins caractérisé par une **très forte variabilité des précipitations, avec selon les endroits et les saisons des tendances haussières ou baissières.** S'il est probable

que les précipitations augmentent dans les hautes latitudes, quel que soit le scénario considéré, il est en revanche probable que les précipitations n'augmenteront pas substantiellement dans les basses latitudes (Hijoka et al. 2014).

Figure 23. Évolution constatée et projetée des précipitations en Asie



Source : Hijoka et al. 2014

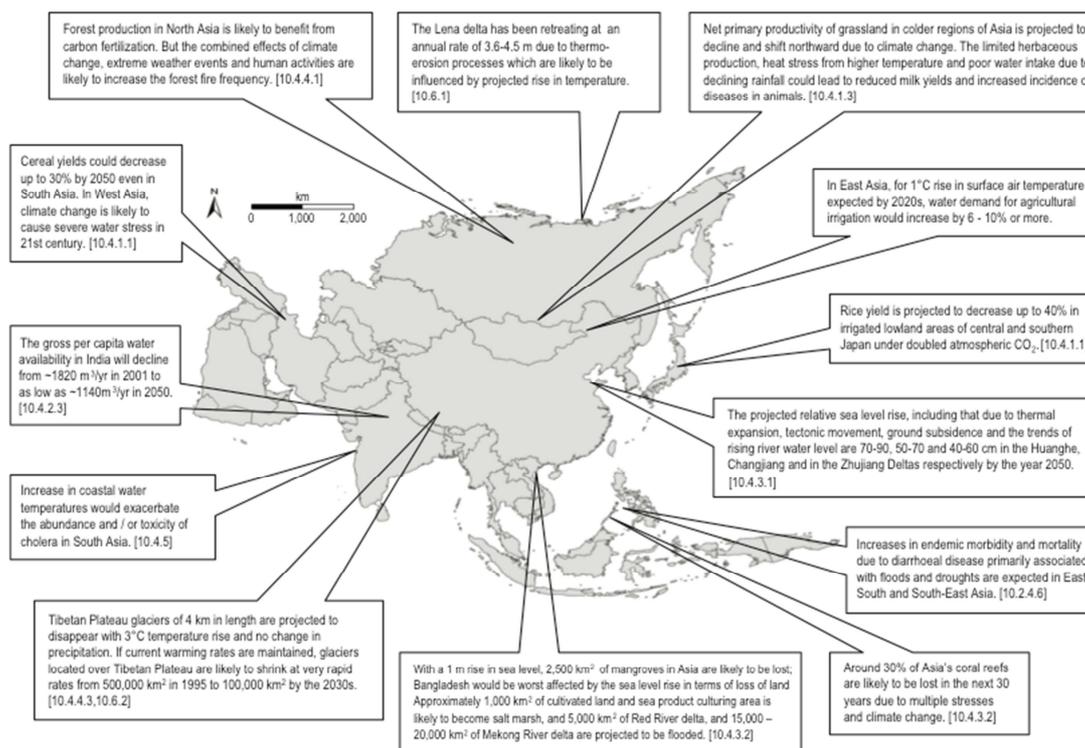
L'influence des changements climatiques sur l'activité cyclonique connaîtra des variations très importantes par région, mais l'état actuel de la science ne permet pas de réaliser des projections régionales précises.

Par ailleurs, **une augmentation des précipitations extrêmes de mousson est très probable dans les régions d'Asie du Sud, du Sud-Est et de l'Est**. Cette tendance est confirmée avec un haut niveau de certitude par l'ensemble des modèles climatiques, qui projettent tous une hausse tant des précipitations moyennes que des précipitations extrêmes.

2. Impacts socio-économiques

La carte ci-dessous donne un aperçu de la diversité des impacts socio-économiques des changements climatiques dans la région Asie-Pacifique pour un scénario de 2°C d'augmentation de la température d'ici 2100 (Fig.24). Ces impacts auront déjà commencé à produire leurs effets en 2030. La région Asie-Pacifique est à la fois la plus vaste et la plus peuplée du monde : elle sera touchée par des impacts très différents en fonction de la zone considérée, et de la vulnérabilité des populations concernées. Il importe donc, pour cette région, de considérer avant tout les scénarios climatiques au niveau local, de manière à pouvoir identifier les risques en termes de sécurité.

Figure 24. Panorama des principaux impacts socio-économiques en Asie-Pacifique



Source: Cruz et al. 2007.

La section ci-dessous tente néanmoins, au-delà de la diversité des impacts, de dresser un panorama des principaux impacts socio-économiques, sous-région par sous-région, dans un scénario d'élévation de la température moyenne de 2°C d'ici 2100.

Tableau 6. Une urbanisation croissante en Asie

1950		2000		2005		2025	
City	Population	City	Population	City	Population	City	Population
Tokyo	11.27	Tokyo	34.45	Tokyo	35.3	Tokyo	37.09
Shanghai	4.3	Mumbai	16.09	Mumbai	18.2	Delhi	28.57
		Shanghai	13.22	Delhi	15.1	Mumbai	25.81
		Kolkata	13.06	Shanghai	14.5	Dhaka	20.94
				Kolkata	14.3	Kolkata	20.11
				Dhaka	12.6	Shanghai	20.02
				Karachi	11.6	Karachi	18.73
				Osaka-Kobe	11.3	Beijing	15.02
						Manila	14.92
						Osaka-Kobe	11.37
						Shenzhen	11.15
						Guangzhou	10.96
						Jakarta	10.85
						Lahore	10.31

Source : ADB 2012.

En **Asie orientale**, plusieurs **mégapoles** chinoises sont situées dans des zones vulnérables aux **inondations côtières et riveraines**. En raison de la croissance démographique, on peut s'attendre d'ici 2030 à une augmentation très substantielle des populations habitant dans des zones à risque. En Asie orientale, plus de 60% de la population dépendent directement de l'agriculture de subsistance. Les effets des changements climatiques

devraient accélérer considérablement l'urbanisation de la région, alors que de très nombreuses villes sont situées dans des zones à risques. Le tableau donne un exemple des tendances d'urbanisation pour l'ensemble du continent (Tab.2).

En **Asie du Sud-Est**, ce sont les **inondations côtières** qui posent le plus grand risque, et qui pourraient affecter un tiers des habitants de la région. Ces populations à risque sont concentrées en Indonésie, au Myanmar, aux Philippines, en Thaïlande, et au Vietnam. Les villes de Djakarta, Manille, Bangkok et Ho Chi Minh Ville sont particulièrement vulnérables. La vulnérabilité de ces régions est également liée à la **sécurité alimentaire** : au Vietnam, par exemple, les rizières du delta du Mekong sont très vulnérables à la salinisation. L'Asie du Sud-Est est également la région d'Asie la plus exposée aux cyclones tropicaux.

L'**Asie du Sud** concentre environ un quart de la population mondiale, souvent avec un très haut niveau de pauvreté. En Inde, de très nombreuses populations vivent dans des régions qui seront touchées à la fois par des inondations riveraines et du **stress hydrique** lié à la salinisation des nappes phréatiques. Le Bangladesh est particulièrement concerné, avec plusieurs millions d'habitants qui habitent dans des plaines deltaïques inondables. Le pays est d'ores et déjà touché par de nombreux cyclones et inondations, qui s'ajoutent à l'érosion côtière et riveraine. Au Népal, des pluies de mousson plus intenses provoqueront des glissements de terrain et des inondations, ce qui accroîtra la pauvreté de nombreux habitants dans les régions montagneuses et les vallées du pays. De surcroît, le risque de rupture de certains lacs de montagne sera plus marqué, provoquant davantage d'inondations. Le Pakistan, pour sa part, est depuis longtemps victime d'inondations et d'autres catastrophes : en 2011, les crues de l'Indus ont déplacé plus de 17 millions de personnes. Enfin, **les Maldives, avec une élévation moyenne du niveau de la mer de 1,5 m, pourraient voir leur existence menacée** et par la perte de territoire qui en résultera – la population maldivienne est répartie sur 200 îles environ.

Enfin, **les petits États et territoires du Pacifique** sont évidemment en première ligne, en raison de la hausse du niveau des mers et de leur très faible élévation. Les territoires de très faible élévation, comme Tuvalu ou Kiribati, ou certains atolls de Polynésie française comme les Tuamotu, pourraient connaître des problèmes de **submersion** dès 2050, même dans un scénario à +2°C d'ici 2100, dans l'hypothèse d'une accélération de la hausse du niveau des mers, qui semble se confirmer (Cazenave et al., 2017). Dès 2030, les systèmes agricoles de ces pays connaîtront de lourdes difficultés, en raison de la salinisation accrue des sols.

Focus : la hausse du niveau des mers

Même si l'objectif de l'Accord de Paris (+2°C à 2100) est respecté, la hausse du niveau des mers devrait atteindre un mètre en moyenne d'ici 2100. Dans cette hypothèse, un pays comme le Vietnam perdrait 26 000 km² de territoire, soit l'équivalent de 10% de sa superficie, en l'absence de mesures d'adaptation. À l'horizon 2050, néanmoins, même dans l'hypothèse d'un scénario à +5°C, la hausse du niveau des mers ne devrait pas être radicalement différente des projections actuelles, fondées sur un scénario de 2°C. Ce n'est que dans la deuxième moitié du siècle qu'elle devrait s'accroître. Néanmoins, c'est en Asie que les effets de l'élévation du niveau des mers devraient affecter le plus grand nombre, comme le montre le tableau ci-dessus, qui indique les populations menacées d'ici 2050 (en millions d'habitants). Comme on le voit, l'écrasante majorité des pays les plus exposés sont asiatiques.

India	37.2
Bangladesh	27.0
China, People's Republic of	22.3
Indonesia	20.9
Philippines	13.6
Nigeria	9.7
Viet Nam	9.5
Japan	9.1
USA	8.3
Egypt	6.3

Dans l'hypothèse d'une fonte complète de la calotte polaire arctique, ce qui ne peut être exclu définitivement dans l'hypothèse d'un scénario à +5°C, la hausse consécutive du niveau de la mer serait comprise entre 6 et 7 mètres en moyenne. De nombreuses incertitudes demeurent également quant aux variations régionales d'une telle hausse du niveau moyen des mers, ainsi que sur son horizon temporel. Un tel scénario aurait néanmoins des conséquences dramatiques pour de très nombreuses régions d'Asie-Pacifique, comme l'illustre la carte ci-dessous, qui montre les territoires qui seraient inondés dans l'hypothèse d'une hausse du niveau des mers de 6 mètres (Fig.25).

Figure 25. Simulation d'une hausse du niveau de la mer de 6 mètres en Asie



Source : National Geographic, février 2014.

Tableau 7. Impacts en Asie-Pacifique

scénario	impacts	Horizon temporel	
		2030	2050
+2°C (RCP2.6)	T°C moyenne	<1°C	<1,5°C
	Précipitations	Précipitations plus abondantes en Asie du Sud et du Sud-Est.	Phénomène d'inondations récurrentes.
	Hausse du niveau des mers	Variable selon les endroits : +0,20-0,35 m	+0,30m–0,60m. Hausse plus marquée dans le Pacifique. Possible submersion de certains territoires insulaires.
	Evènements climatiques extrêmes	Activité cyclonique renforcée, inondations fréquentes.	Activité cyclonique violente, inondations récurrentes.
	Cryosphère	Recul des neiges éternelles dans les contreforts de l'Himalaya.	Fonte de plusieurs glaciers de l'Himalaya
+5°C (RCP8.5)	T°C moyenne	+1 à 2°C	+2 à 3°C. Acidification importante des océans.
	Précipitations	Précipitations intenses en Asie du Sud et du Sud-Est. Inondations récurrentes. Problèmes de sécheresses en Asie septentrionale.	Inondations récurrentes et intenses en Asie du Sud et du Sud-Est. Sécheresses en Asie septentrionale.
	Hausse du niveau des mers	+0,20–0,35 m.	+0,60–1,00 m. Hausse plus marquée dans le Pacifique. Submersion de certains territoires insulaires.
	Evènements climatiques extrêmes	Activité cyclonique intense, inondations régulières.	Activité cyclonique très violente, inondations quasi permanentes dans certaines régions.
	Cryosphère	Probable disparition des neiges éternelles de l'Himalaya.	Probable fonte des glaciers de l'Himalaya.

Partie 3. Éléments de réflexion sur la typologie

L'objectif général de la typologie est de proposer un outil de compréhension, d'anticipation et de prévention des crises dans lesquelles les paramètres climatiques et environnementaux joueraient un rôle plus ou moins significatif.

Pour l'heure, six composantes ont été proposées pour déterminer les sources de vulnérabilité premières des territoires et leur degré d'exposition à différents risques, afin de pouvoir identifier, et autant que possible anticiper, les facteurs susceptibles de conduire à une escalade de la violence. Ces composantes sont amenées à évoluer et à se préciser au fur et à mesure des travaux de l'Observatoire.

Les principales leçons apportées par le RE2 sont les suivantes :

- Il est encore difficile d'évaluer la nature et l'ampleur des changements climatiques à court et moyen terme, en raison de l'**inertie de la réponse du système climatique aux émissions de GES**.
- Les études de modélisation ne donnent pas toujours des résultats homogènes voire concordants. **Différentes écoles peuvent coexister parmi les spécialistes étudiant une manifestation des changements climatiques en particulier** (hausse du niveau de la mer par exemple). En outre, le degré de compréhension des impacts et de certitude concernant leurs évolutions est variable, comme notre capacité à les anticiper. L'évolution de la température fait par exemple l'objet d'un degré de confiance généralement plus élevé que celui concernant les précipitations.
- Le niveau d'incertitudes est donc encore très élevé, même si l'origine anthropique du réchauffement ne fait pour sa part presque plus débat.
- **On observe une grande disparité des impacts géophysiques liés aux spécificités géographiques et historiques des territoires**, ce qui nécessite de poursuivre les recherches à l'échelle locale et régionale, pour l'heure encore insuffisantes, et ce afin de mieux comprendre ces changements et d'adapter les réponses à chaque région. Ainsi, l'Afrique est relativement vulnérable aux variations de températures et du régime des précipitations en raison de la domination de l'agriculture parmi les activités vivrière et de subsistance, et du fait de ses faibles capacités d'adaptation (qui ne dépendent pas uniquement des moyens financiers à disposition mais aussi de caractéristiques socio-culturelles). C'est donc sur ce secteur d'activité que devront se concentrer les efforts en priorité, pour éviter une montée de l'insécurité alimentaire et des menaces souvent associées à une dégradation des conditions d'existence des populations (tensions communautaires, radicalisation, émeutes, etc.).
- **La différence entre les scénarios +2°C et +5°C à 2030 est très faiblement perceptible**. Cela provient essentiellement du fait que le réchauffement que nous observons actuellement est le fruit des émissions passées. **À contrario, les impacts des scénarios +2 et +5°C sont beaucoup plus identifiables après 2050 et à l'horizon 2100** car les décisions prises aujourd'hui en matière d'atténuation auront un impact sur le réchauffement de la deuxième partie du XXI^e siècle. Cela ne signifie pas pour autant qu'il faille attendre avant de mettre en place des mesures d'atténuation et

d'adaptation ambitieuses, le principe de précaution devant s'imposer face aux risques liés aux changements climatiques.

- **L'ampleur des impacts directs et indirects des changements climatiques dépendra beaucoup d'autres facteurs non climatiques** (niveau de développement, croissance démographique, conditions sanitaires déjà existantes, dépendance économique à un secteur) **dont certains seront difficiles à anticiper** (élections, révolutions, etc.). De même, il est admis que, dans la plupart des secteurs d'activités étudiés, l'impact des paramètres non climatiques sera supérieur à celui des évolutions climatiques elles-mêmes, qu'elles soient naturelles ou liées au réchauffement d'origine anthropique.
- De plus, certaines évolutions climatiques peuvent parfois se compenser : ainsi, le palier des températures observé depuis 1998 serait en partie lié à la confrontation entre variation naturelle et réchauffement d'origine anthropique.

Intégrer ces conclusions influe inmanquablement sur la direction que prendra la typologie. Cela appelle plusieurs remarques :

- **Il ne semble pas possible d'intégrer une distinction 2030/2050 en fonction des scénarios de réchauffement de manière à apprécier les différences en termes de probabilité d'occurrence des crises.**

En effet, l'état actuel de la science climatique nous permet simplement de formuler une hypothèse sur la nature de la relation (positive ou négative) mais plus difficilement sur l'ampleur des changements. En clair, il est impossible de dire, objectivement et avec certitude, qu'un territoire vulnérable à la sécheresse en 2017 le sera davantage en 2030 ou en 2050. La science climatique, si elle intègre les mesures d'atténuation en pariant sur le ralentissement des émissions par exemple, assimile plus difficilement les mesures d'adaptation⁴³. Le GIEC le fait dans certains cas mais donne simplement une indication, qui ne saurait être une prédiction (Fig.26).

On peut tout au mieux conclure que si rien n'est fait, la plupart des risques seront plus sérieux, d'autant plus si la situation socio-économique se dégrade.

- **La difficile distinction des impacts 2030/2050 hypothèque sévèrement la proposition initiale d'intégration de ces deux horizons dans la typologie**

L'objectif de départ était de présenter des radars différents pour un même territoire en fonction des tendances d'évolution de la température. Cela semble désormais très complexe. Toutefois, il est possible de mentionner quelles relations, entre deux facteurs, seraient affaiblies ou renforcées dans le cas du scénario le plus émissif. Lorsqu'ils sont disponibles, certains chiffres pourront s'y ajouter et les notes des composantes être modifiées mais il semble déraisonnable d'imaginer la réalisation de nouveaux radars à part entière.

- **La sensibilité est la seule composante affectée par les trajectoires climatiques +2 et +5°C**

La *sensibilité* est le seul paramètre à être 100% climatique. Si l'on considère que les impacts des changements climatiques seront renforcés dans le cas du scénario

⁴³ Le GIEC le fait dans certains cas mais donne simplement une indication, qui ne saurait être une prédiction. Voir annexe 18.

RCP8.5, par rapport au scénario RCP2.6, cette composante recueillerait logiquement une évaluation plus proche de zéro (donc plus mauvaise) à horizon 2030 qu'aujourd'hui.

- **La vulnérabilité peut être aggravée par une augmentation de la sensibilité mais réduite par une diminution de l'exposition**

Même si le réchauffement planétaire suit la trajectoire RCP8.5, qui part du principe que l'atténuation serait un échec, des politiques d'adaptation, si elles sont mises en place, permettraient de jouer sur l'*exposition*. Certaines cultures inadaptées car trop consommatrices d'eau par exemple pourraient être abandonnées au profit d'autres plus conformes aux spécificités des écosystèmes locaux. Autre exemple, certains territoires pourraient être abandonnés, considérant que les impacts seraient trop importants à juguler. Le déplacement de populations qui l'accompagnerait permettrait là aussi de jouer sur la composante *exposition*. Cela signifie que, toutes choses étant égales par ailleurs, l'augmentation de la composante *sensibilité* contribue à renforcer la *vulnérabilité* du territoire, mais si des mesures sont prises pour réduire l'*exposition*, ces deux mouvements pourraient se compenser et la *vulnérabilité* globale du territoire demeurer au même niveau.

Il est cependant utile de réfléchir au cas par cas. Pour certains territoires particulièrement vulnérables comme les petits États insulaires, dès 2050, il est en effet important de prendre en considération l'évolution de la composante *sensibilité* qui a dans ce cas précis des implications très particulières allant jusqu'à la disparition de tout ou partie d'un territoire.

- **L'intégration des autres évolutions non climatiques n'est pas réalisable car la plupart ne peuvent être prédites ni quantifiés**

Il est encore plus difficile de prédire les mesures – sur le plan politique, socio-économique, sociétal – qui seront prises par les gouvernements successifs. De plus, il est très probable que les composantes socio-économiques et politiques soient celles connaissant les évolutions les plus significatives d'ici 2030 car les changements climatiques restent des phénomènes relativement lents. À contrario, les changements politiques peuvent être beaucoup plus rapides, comme l'attestent les récentes élections présidentielles aux États-Unis, en France ou encore le référendum britannique du 23 juin 2016 sur la sortie de l'UE. Tous sont susceptibles d'avoir une influence très importante sur les politiques développées par les États, et qui ne peut guère être anticipée.

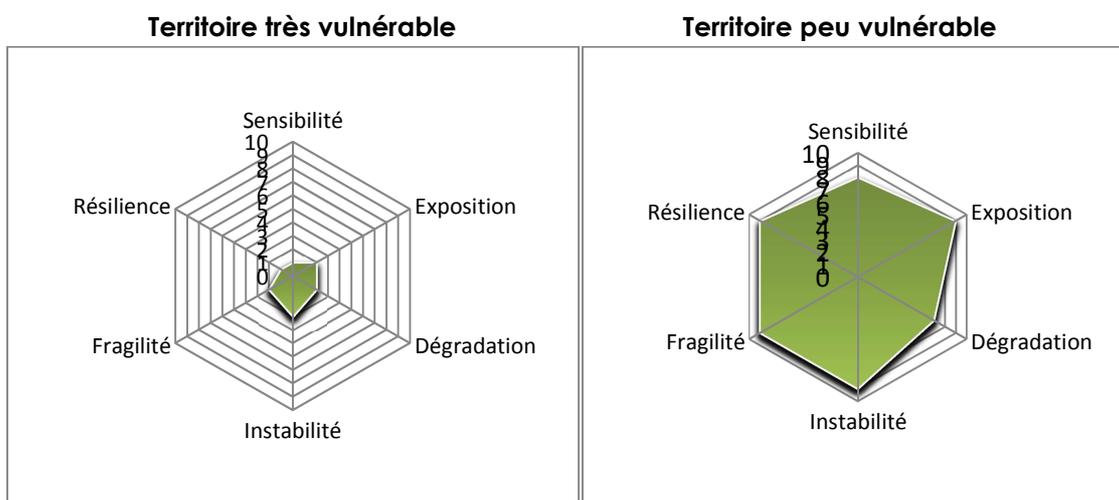
Compte tenu de ces limites révélées par le RE2, **nous ne recommandons pas l'introduction d'une distinction entre les scénarios +2°C/+5°C pour mesurer la vulnérabilité des territoires aux horizons 2030/2050**. Si une forme de contournement pourrait être proposée à travers des embranchements (l'un partant d'une amélioration de la situation politique, l'autre d'une dégradation, il nous semble plus sage et rigoureux d'accepter la part d'incertitudes associée aux paramètres *fragilité* et *stabilité* liés à l'impossibilité de prédire certaines évolutions politiques et sociales. La typologie reste un modèle théorique qui aidera à mieux comprendre certains phénomènes, mais dont on ne prétend pas qu'il résistera à toute épreuve de la pratique.

Au mieux, certains éléments conjoncturels pourront être intégrés à la réflexion prospective via l'élaboration et la rédaction de scénarios de crise ou de stabilisation mais en dehors et en complément de la typologie.

Enfin, l'absence de différences importantes à 2030/2050 ne doit pas empêcher la mention des changements significatifs à des horizons plus lointains. En effet, les évolutions du climat sont davantage notables à partir du dernier quart du XXI^e siècle selon les scénarios +2 et +5°C.

Précisions sur l'évaluation des composantes

Spontanément, nous avons tendance à associer un radar plein – où toutes les composantes recueilleraient une appréciation haute – à une situation positive, comme si l'on mesurait en quelque sorte les aptitudes du territoire. Inversement, un radar vide – où toutes les composantes seraient faiblement évaluées – présenterait une situation négative, de forte vulnérabilité.



Cette perception est légèrement affectée par la présence d'une composante « positive », la résilience (une évaluation haute est une bonne chose) au milieu de composantes dites « négatives ». En effet, instinctivement parlant, nous aurions plutôt tendance à considérer qu'une évaluation haute des composantes *sensibilité*, *exposition*, *dégradation*, *instabilité* ou *fragilité* correspond à un haut niveau de risques, une vulnérabilité forte et décrit une situation mauvaise. Nous contournons cette perception en insistant encore une fois sur le fait que la représentation de l'évaluation d'un territoire à travers un tel radar repose sur l'idée de « compétences » du territoire, et que donc, un diagramme plein illustre une situation positive. Une valeur arithmétique haute de l'indice de vulnérabilité illustre donc bien une situation de relative sécurité, d'absence d'alerte, quand une valeur basse fait état de nombreuses faiblesses. Si toutefois cette appréciation des composantes demeurerait insuffisamment lisible, il sera évidemment possible d'en changer, par exemple en ne conservant que des composantes dites négatives ou en reformulant certaines d'entre elle. A ce titre, les prochains rapports régionaux constitueront d'excellents tests et permettront d'effectuer les ajustements nécessaires.

Bibliographie

- Alex, Bastien, Alain Coldefy, and Kempf, Hervé. "Conséquences du dérèglement climatique pour le ministère de la Défense." Paris : IRIS, Juin 2014.
- Abraham, J., F. Bendimerad, A. Berger, A. Boissonnade, O. Collignon, et al. "Windstorms Lothar and Martin. December 26- 28, 1999". *Risk Management Solutions*, Newark, CA, 20 p, 2000.
- Avagliano, E., and J.-N. Petit. "État des lieux sur les enjeux du changement climatique en Polynésie française." Ministère de l'Environnement de la Polynésie française, Direction de l'environnement de la Polynésie française, Station Gump, UC Berkeley, 2009.
- Beauté, Bertrand. "Le Dégel Du Permafrost, Une Bombe À Retardement." *Tribune de Genève*, août 2016. <http://www.tdg.ch/savoirs/environnement/degel-permafrost-bombe-retardement/story/29445006>.
- Boko, M., I. Niang, A. Nyong, C. Vogel, A. Githeko, M. Medany, B. Osman-Elasha, R. Tabo, and P. Yanda, "Africa". In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 433-467, 2007.
- Bossy, Delphine. "Le changement climatique nous soumettra-t-il à un El Nino permanent ?" *Futura-Sciences*, 14 janvier 2013.
- Burke, M.B., D.B. Lobell, and L. Guarino, "Shifts in African crop climates by 2050, and the implications for crop improvement and genetic resources conservation". *Global Environmental Change*, 19(3), 317-325, 2009.
- Cazenave, A., Champollion, N., Paul, F., Benveniste, J. (eds) *Integrative Study of the Mean Sea Level and Its Components*, Space Sciences Series of ISSI, 2017.
- Climate and Development Knowledge Network. *Managing climate extremes and disasters in Africa, Lessons from the SREX report*, CDKN, 2012, URL: www.cdkn.org/srex.
- Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R. et al. "Regional Climate Projections". In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M and Miller H L (eds)]. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan, 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* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Communication de la Commission, *Limiter le réchauffement de la planète à 2 degrés Celsius Route à suivre à l'horizon 2020 et au-delà*, mai 2007. Url : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0002:FIN:FR:HTML>
- Cruz, R.V., H. Harasawa, M. Lal, S. Wu, Y. Anokhin, B. Punsalmaa, Y. Honda, M. Jafari, C. Li, and N. Huu Ninh. 2007. "Asia." In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson. Cambridge: Cambridge University Press. 469-506.
- Defrance, D., Ramstein, G., Charbit, S., Vrac, M., Sultan, B., Swingedouw, D., Dumas, C., Gemenne, F., Alvarez-Solas, J., and Vanderlinden, J.P. "Consequences of rapid ice-

- sheet melting on the Sahelian population vulnerability", *Proceedings of the National Academy of Sciences* (paper accepted).
- De Ravnigan, Antoine. "Entretien avec Jean Jouzel "Les impacts de la fonte des glaces sont très préoccupants." *Alternatives économiques*, 18 avril 2017. Url : <http://www.alternatives-economiques.fr/impacts-de-fonte-glaces-tres-preoccupants/00078443>
- De Silva, S.S. and D. Soto, "Climate change and aquaculture: potential impacts, adaptation and mitigation". In: *Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture: Overview of Current Scientific Knowledge* [Cochrane, K., C. De Young, D. Soto, and T. Bahri (eds.)]. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 530, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, pp. 151-212, 2009.
- Diffenbaugh, Noah S., Giorgi, Filippo, "Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble", *Climatic Change*, 114(3), 813-822, 2012.
- Dougill, A.J., E.D.G. Fraser, and M.S. Reed, "Anticipating vulnerability to climate change in dryland pastoral systems: using dynamic systems models for the Kalahari". *Ecology and Society*, 15(2), 17, 2010.
- Droogers, P., W.W. Immerzeel, W. Terink, J. Hoogeveen, M.F.P. Bierkens, L.P.H. Van Beek, and B. Debele, "Water resources trends in Middle East and North Africa towards 2050". *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3101-3114, 2012.
- FAO. *The State of Agricultural Commodity Markets 2009*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 63 p, 2009.
- FEMIP, *Étude sur le changement climatique et énergie en Méditerranée*, Banque européenne d'investissement et Euromed, 2008.
- Field, Christopher B., Vicente R. Barros, David Jon Dokken, Katharine J. Mach, and Michael D. Mastrandrea. "Changements climatiques 2014. Incidences, Adaptation et Vulnérabilité. Contribution du groupe de travail II au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat." Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- Foucart, Stéphane. "Réchauffement climatique : l'impact des courants marins", *LeMonde.fr*, 24 novembre 2006. URL: http://abonnes.lemonde.fr/planete/article/2006/11/24/rechauffement-climatique-l-impact-des-courants-marins_838321_3244.html
- Freier, K.P., R. Bruggemann, J. Scheffran, M. Finckh, and U.A. Schneider, "Assessing the predictability of future livelihood strategies of pastoralists in semi-arid Morocco under climate change". *Technological Forecasting and Social Change*, 79(2), 371-382, 2012.
- Funk, C., Dettinger, M.D., Michaelsen, J.C., Verdin, J.P., Brown, M.E., Barlow, M. and Hoell, A., "Warming of the Indian Ocean threatens eastern and southern African food security but could be mitigated by agricultural development", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(32), 11081-11086, 2008.
- Gattuso, Jean-Pierre. "Acidification de l'océan et son impact sur les organismes et écosystèmes marins", séminaire du 27 mai 2011, Paris, Collège de France.
- Gingold, Daniel B., Matthew J. Strickland, and Jeremy J. Hess. "Ciguatera Fish Poisoning and Climate Change : Analysis of National Poison Center Data in the United States, 2001-2011." *Environmental Health Perspectives*, no. 122 (2014): 580-86.
- GIEC, *Changements climatiques 2013. Les éléments scientifiques*. Résumé à l'attention des décideurs, Résumé technique et Foire aux questions, Contribution du groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Genève, 222 p, 2013.
- GIEC, *Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité - Résumé à l'intention des décideurs*. Contribution du Groupe de travail II au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Genève, 40p, 2014.

- Hamaoui-Laguel, Lynda, Robert Vautard, Li Liu, Fabien Solmon, Nicolas Viovy, Dmitry Khvorostyanov, Franz Essl, et al. "Effects of Climate Change and Seed Dispersal on Airborne Ragweed Pollen Loads in Europe." *Nature Climate Change* 5 (2015) : 766–71.
- Handmer, J., Y. Honda, Z.W. Kundzewicz, N. Arnell, G. Benito, J. Hatfield, I.F. Mohamed, P. Peduzzi, S. Wu, B. Sherstyukov, K. Takahashi, and Z. Yan, "Changes in impacts of climate extremes: human systems and ecosystems". In *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 231-290, 2012.
- Hansen, James, Sato, Makiko, Hearty, Paul, Ruedy, Reto, Kelley, Maxwell, Masson-Delmotte, Valerie, Russel, Gary et al. "Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2 °C global warming could be dangerous", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 3761-3812, 2016.
- Hijioka, Y., E. Lin, J.J. Pereira, R.T. Corlett, X. Cui, G.E. Insarov, R.D. Lasco, E. Lindgren, and A. Surjan, 2014: Asia. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1327-1370.
- Hoerling, M., J. Hurrell, J. Eischeid, and A. Phillips, "Detection and attribution of twentieth-century northern and southern African rainfall change". *Journal of Climate*, 19(16), 3989-4008, 2006.
- INSEE. "Effets du changement climatique sur le tourisme en France." In *Le tourisme en France. Références*. INSEE, 2009.
- James, R. and Washington, R., "Changes in African temperature and precipitation associated with degrees of global warming", *Climatic Change*, 117(4), 859-872, 2013.
- Joshi, M., Hawking, E., Sutton, R., Lowe, J., Frame, D. "Projections of when temperature change will exceed 2°C above pre-industrial levels", *Nature Climate Change*, 1(8), 407-412, 2011.
- Jouzel, J., S. Planton, A. Cazenave, P. Delecluse, N. Dorfliger, P. Gauffrès, D. Idier, et al. "Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises." Institut Pierre-Simon-Laplace, CETMEF, BRGM, Météo-France, 2012.
- Jouzel, Jean, G. Ouzeau, M. Déqué, M. Jouini, S. Planton, and R. Vautard. "Le climat de la France au XXI^e Siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés : Édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-Mer." Direction générale de l'Énergie et du Climat, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Août 2014.
- Kergomard, Claude. "Changement climatique : certitudes, incertitudes et controverses." *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement* [En ligne], no. 12 (2012). doi :10.4000/tem.1424.
- Kirtman, B., S.B. Power, J.A. Adedoyin, G.J. Boer, R. Bojariu, I. Camilloni, F.J. Doblas-Reyes, A.M. Fiore, M. Kimoto, G.A. Meehl, M. Prather, A. Sarr, C. Schär, R. Sutton, G.J. van Oldenborgh, G. Vecchi and H.J. Wang, 2013: Near-term Climate Change: Projections and Predictability. 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* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Knox, J., T., Hess, A., Daccache, and T. Wheeler, "Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia", *Environmental Research Letters*, 7(3), 2012.

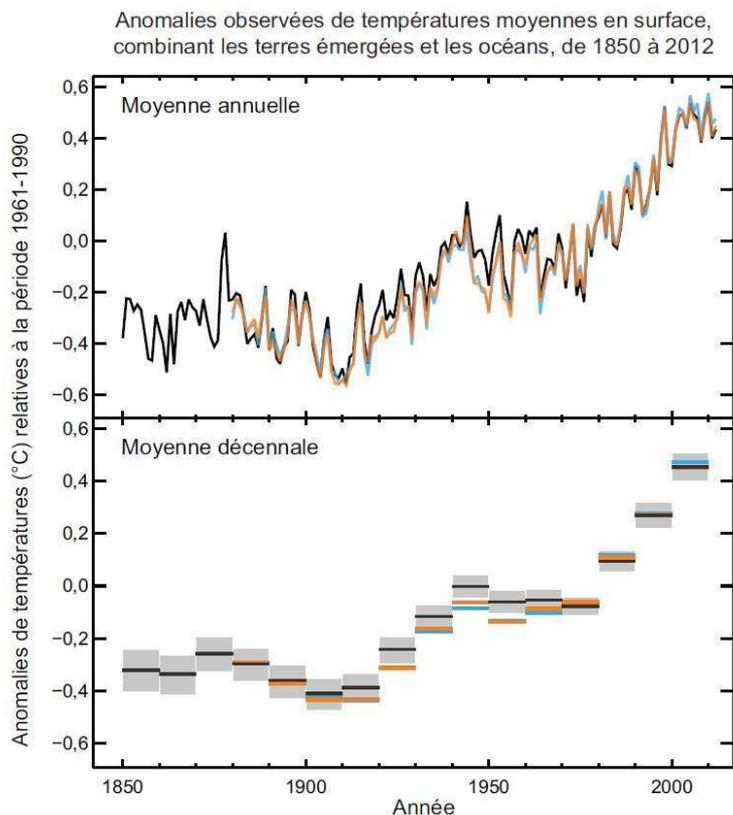
- Laffoley, D., and J.M. Baxter. "Explaining Ocean Warming: Causes, Scale, Effects and Consequences." Gland, Switzerland: IUCN (International Union for Conservation of Nature), September 2016.
- Lam, V.W.Y., W.W.L. Cheung, W. Swartz, and U.R. Sumaila, "Climate change impacts on fisheries in West Africa: implications for economic, food and nutritional security". *African Journal of Marine Science*, 34(1), 103-117, 2012.
- Le Cozannet, G., A. Cazenave, and M. Garcin. "L'élévation récente du niveau marin et l'érosion côtière : le cas des îles océaniques du Pacifique." *Geosciences* 14 (2011) : 92-99.
- Le Mouël C., A. Forslund, P. Marty, S. Manceron, E. Marajo-Petizon, M.- A. Caillaud et B. Schmitt, 2015. Le système agricole et alimentaire de la région Afrique du Nord – Moyen-Orient à l'horizon 2050 : projections de tendance et analyse de sensibilité. Rapport final de l'étude réalisée pour le compte de Pluriagri, Paris et Rennes: INRA-DEPE & INRA-SAE2, 133 p.
- Lenôtre, Nicole, Pedreros, Rodrigo. "Impacts du changement climatique sur le littoral», *Géosciences* n° 3, mars 2006, BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières).
- Le Treut, Hervé, ed. *Les impacts du changement climatique en Aquitaine*. Presses Universitaires de Bordeaux, 2009.
- Lough, J.M., Meehl, G.A., and Salinger, M.J. "Observed and Projected Changes in Surface Climate of the Tropical Pacific," in *Vulnerability of Tropical Pacific Fisheries and Aquaculture to Climate Change*, ed. J.D. Bell, J.E. Johnson, and Hobday (Secretariat of the Pacific Community, Noumea, New Caledonia, 2011), 49-100.
- Lyon, B. and D.G. DeWitt, "A recent and abrupt decline in the East African long rains". *Geophysical Research Letters*, 39(2), L02702, 2012.
- Magnan, Alexandre. "L'épidémie de Chikungunya à la Réunion : une occasion de réfléchir au(x) paradoxe(s) insulaire(s)." *Les Cahiers d'outre-Mer*, no. 234 (2006) : 37-52.
- Makini Brice, "Climate Change: Coastal erosion threatens Senegal, West African tourism", *The Africa Report*, 10 décembre 2015.
- Mariotti, L., Coppola, E., Sylla, M.B., Giorgi, F., and Piani, C., "Regional climate model simulation of projected 21st century climate change over an all-Africa domain: comparison analysis of nested and driving model results", *Journal of Geophysical Research D.: Atmosphere*, 116(D15), D15111, 2011.
- Masike, S. and P. Urich, "Vulnerability of traditional beef sector to drought and the challenges of climate change: the case of Kgatleng District, Botswana". *Journal of Geography and Regional Planning*, 1(1), 12-18, 2008.
- Mora, C., Frazier, A.G., Longman, R.J., Dacks, R.S., Walton, M.M., Tong, E.J., Sanchez, J.J., et al., "The projected timing of climate departure from recent variability", *Nature*, 502, 183-187, 2013.
- Moss, Richard H., Edmonds, Jae A., Hibbard, Kathy A., Manning, Martin R., Rose, Steven K., van Vuuren, Detlef P. et al., « The next generation of scenarios for climate change research and assessment », *Nature*, 463, 747-756, 11 février 2010, url : <http://www.nature.com/nature/journal/v463/n7282/abs/nature08823.html>.
- Munday, Philip, Cheal, Alistair J., Dixon, Danielle L., Fabricius, Katharina R. "Behavioural impairment in reef fishes caused by ocean acidification at CO2 seeps", *Nature Climate Change*, 4, 487-492, 2014.
- Nelson, G.C., M.W. Rosegrant, J. Koo, R. Robertson, T. Sulser, T. Zhu, C. Ringler, S. Msangi, A. Palazzo, M. Batka, M. Magalhaes, R. Valmonte-Santos, M. Ewing, and D. Lee, 2009: "Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation". Food Policy Report No. 19, International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, DC, USA, 30 pp.
- ONERC, "Découvrir les nouveaux scénarios RCP et SSP utilisés par le GIEC", septembre 2013, url : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Découvrir-les-nouveaux-scenarios.html>.

- Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC). *Les Outre-Mer face au défi du changement climatique. Rapport au Premier Ministre et au Parlement*. Paris : La Documentation française, 2012.
- ONERC. "Plan National D'adaptation de La France Aux Effets Du Changement Climatique 2011-2015." Direction générale de l'Energie et du Climat, Ministère de l'Environnement, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2011.
- Orlowsky, B., and Seneviratne, S.I., "Global changes in extreme events: regional and seasonal dimension", *Climatic Change*, 110(3-4), 669-696, 2012.
- Porter, J.R., L. Xie, A.J. Challinor, K. Cochrane, S.M. Howden, M.M. Iqbal, D.B. Lobell, and M.I. Travasso, 2014: Food security and food production systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485-533.
- Pörtner, H.-O., D.M. Karl, P.W. Boyd, W.W.L. Cheung, S.E. Lluch-Cota, Y. Nojiri, D.N. Schmidt, and P.O. Zavialov, 2014: Ocean systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 411-484.
- Rhein, M., S.R. Rintoul, S. Aoki, E. Campos, D. Chambers, R.A. Feely, S. Gulev, G.C. Johnson, S.A. Josey, A. Kostianoy, C. Mauritzen, D. Roemmich, L.D. Talley and F. Wang, 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* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Rowell, D.P., "Sources of uncertainty in future changes in local precipitation", *Climate Dynamics*, 39(7-8), 1929-1950, 2012.
- Sanderson, M.G., Hemming, D.L., Betts, R.A., "Regional temperature and precipitation changes under warming", *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 369(1934), 85-98, 2011.
- Schilling, J., K.P. Freier, E. Hertig, and J. Scheffran, "Climate change, vulnerability and adaptation in North Africa with focus on Morocco", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 156, 12-26, 2012.
- Shongwe, M.E, van Oldenborgh, G.J., van den Hurk, B., van Aalst, M., "Projected changes in mean and extreme precipitation in Africa under global warming. Part II: East Africa", *Journal of Climate*, 24(14), 3718-3733, 2011.
- Sierra, J. "Un cas d'étude sous les tropiques : la Guadeloupe." In *Actes du colloque CLIMATOR*, 56-58. Inra Versailles, 2010.
- Sillmann, J., Roeckner, E., "Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change", *Climatic Change*, 86(1), 83-104, 2008.
- Stocker, Thomas, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, and Pauline M. Midgley. *Changements climatiques 2013 les éléments scientifiques : résumé à l'intention des décideurs: rapport du groupe de travail I du GIEC: résumé technique: rapport accepté par le Groupe de travail I du GIEC mais non approuvé dans le détail et foire aux questions: extraits de la contribution du groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.*

- Genève, Suisse : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2013.
- Solomon, T.B., Snyman, H.A., and Smit, G.N., "Cattle-rangeland management practices and perceptions of pastoralists towards rangeland degradation in the Borana zone of southern Ethiopia", *Journal of Environmental Management*, 82(4), 481-494, 2007.
- Strzepek, K., B. Boehlert, A. McCluskey, W. Farmer, J. Neumann, and M. Fuchs, 2011: Assessment of the Impacts of Climate Change on Multi-Sector Investment Opportunities in the Zambezi River Basin. IEC Report to The World Bank, World Bank, Washington, DC, USA.
- Thornton, P.K., J. van de Steeg, A. Notenbaert, and M. Herrero, "The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: a review of what we know and what we need to know". *Agricultural Systems*, 101(3), 113-127, 2009.
- Vaughan, D.G., J.C. Comiso, I. Allison, J. Carrasco, G. Kaser, R. Kwok, P. Mote, et al. "Observations: Cryosphere." 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*, edited by T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2013.
- Vliet, Michelle T.H. van, John R. Yearsley, Fulco Ludwig, Stefan Vögele, Dennis P. Lettenmaier, and Pavel Kabat. "Vulnerability of US and European Electricity Supply to Climate Change." *Nature Climate Change* 2 (2012): 676–81.
- Watterson, I.G., "Components of precipitation and temperature anomalies and change associated with modes of the Southern Hemisphere", *International Journal of Climatology*, 29(6), 809-826, 2009.
- Wheeler, David. 2011. Quantifying Vulnerability to Climate Change: Implications for Adaptation Assistance. Washington, DC: Center for Global Development
- Williams, A.P. and Funk, C. "A westward extension of the warm pool leads to a westward extension of the Walker circulation, drying eastern Africa", *Climate Dynamics*, 37(11-12), 2417-2435, 2011.
- Yonetani, M. (dir.). *Global Estimates 2015. People Displaced by Disasters*. Geneva: IDMC & NRC, 2015.
- Zelazowski, P., Y. Malhi, C. Huntingford, S. Sitch, and J.B. Fisher. "Changes in Potential Distribution of Humid Tropical Forests on a Warmer Planet." *Philosophical Transactions of the Royal Society*, no. 369 (2011): 137–60.

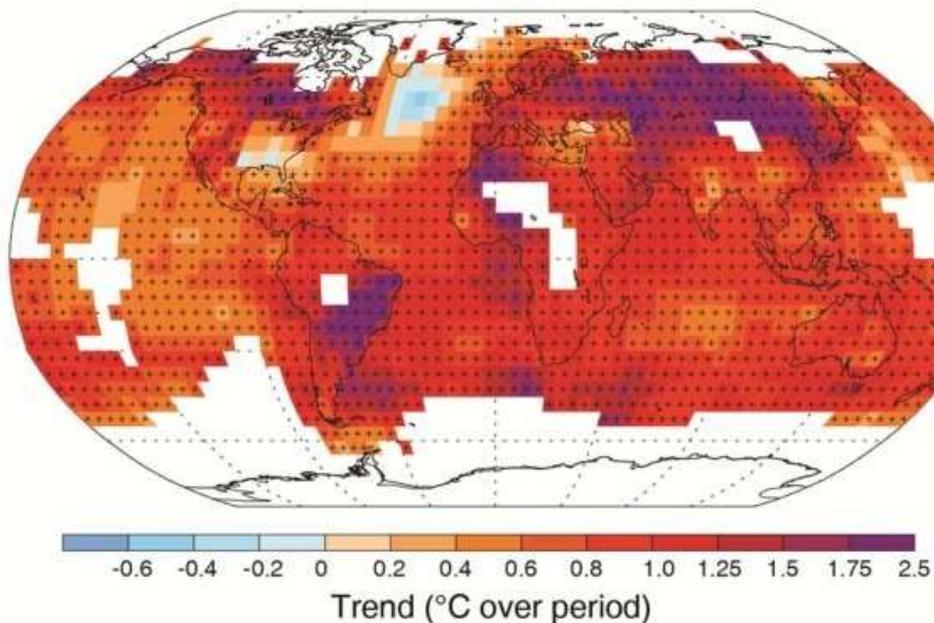
1.	Augmentation observée des températures moyennes en surface	69
2.	Exemples d'impacts liés aux variations des températures moyennes de surface	71
3.	Variation de la hauteur de la surface des mers (1993-2012)	72
4.	Déplacements de population induits par les catastrophes naturelles (2008-2014)	73
5.	Exposition des populations aux cyclones	74
6.	Exposition des populations aux inondations	74
7.	Evolution des températures moyennes annuelles en France métropolitaine depuis 1900	75
8.	Nombre de stations de ski avec enneigement assuré	76
9.	Principales évolutions climatiques en outre-mer	77
10.	Conditions naturelles de développement de la pêche dans les outre-mer français.....	78
11.	Impacts attendus des changements climatiques sur la pêche et l'aquaculture...	78
12.	Impacts attendus des changements climatiques sur la forêt amazonienne et les mangroves	79
13.	Impacts attendus des changements climatiques sur les aménagements littoraux	80
14.	Impacts des changements climatiques en Afrique selon les régions	81
15.	Évolution de la température et des précipitations dans les régions d'Afrique	82
16.	Principaux impacts attendus des changements climatiques sur le secteur énergétique	83
17.	Impacts des changements climatiques sur différents secteurs de service.....	84
18.	Degré de risques et possibilités d'adaptation en Afrique	85

1. Augmentation observée des températures moyennes en surface



Légende : Anomalies observées de températures moyennes en surface, combinant les terres émergées et les océans, de 1850 à 2012, tirées de trois ensembles de données. Partie supérieure : valeurs moyennes annuelles. Partie inférieure : valeurs moyennes décennales comprenant l'estimation d'incertitude pour un ensemble de données (noir). Les anomalies sont relatives à la moyenne sur la période 1961-1990

Observed change in average surface temperature 1901-2012



Légende : Carte de l'évolution des températures en surface observée entre 1901 et 2012, dérivée des tendances de températures déterminées par régression linéaire d'un ensemble de données (courbe orange dans la partie a). Les tendances ont été calculées

uniquement pour les régions où la disponibilité des données permet une estimation robuste (c'est-à-dire, uniquement pour les mailles présentant des relevés complets à plus de 70 % et plus de 20 % de données disponibles dans les 10 premiers et 10 derniers % de la période temporelle). Les autres régions sont en blanc. Les mailles pour lesquelles la tendance est significative au niveau de 10 % sont indiquées par le signe +. La liste des ensembles de données et des détails techniques supplémentaires se trouvent dans les annexes du Résumé technique. (figures 2.19 à 2.21; figure RT.2)

Variation des températures à l'échelle du globe et des continents

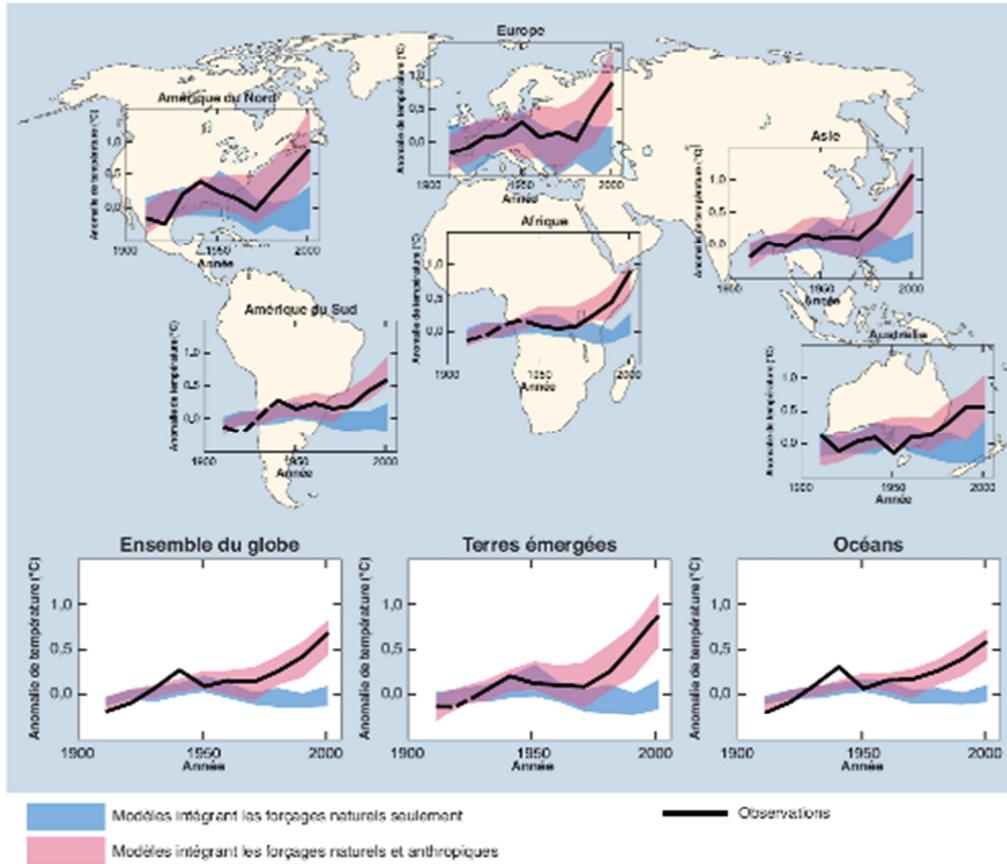
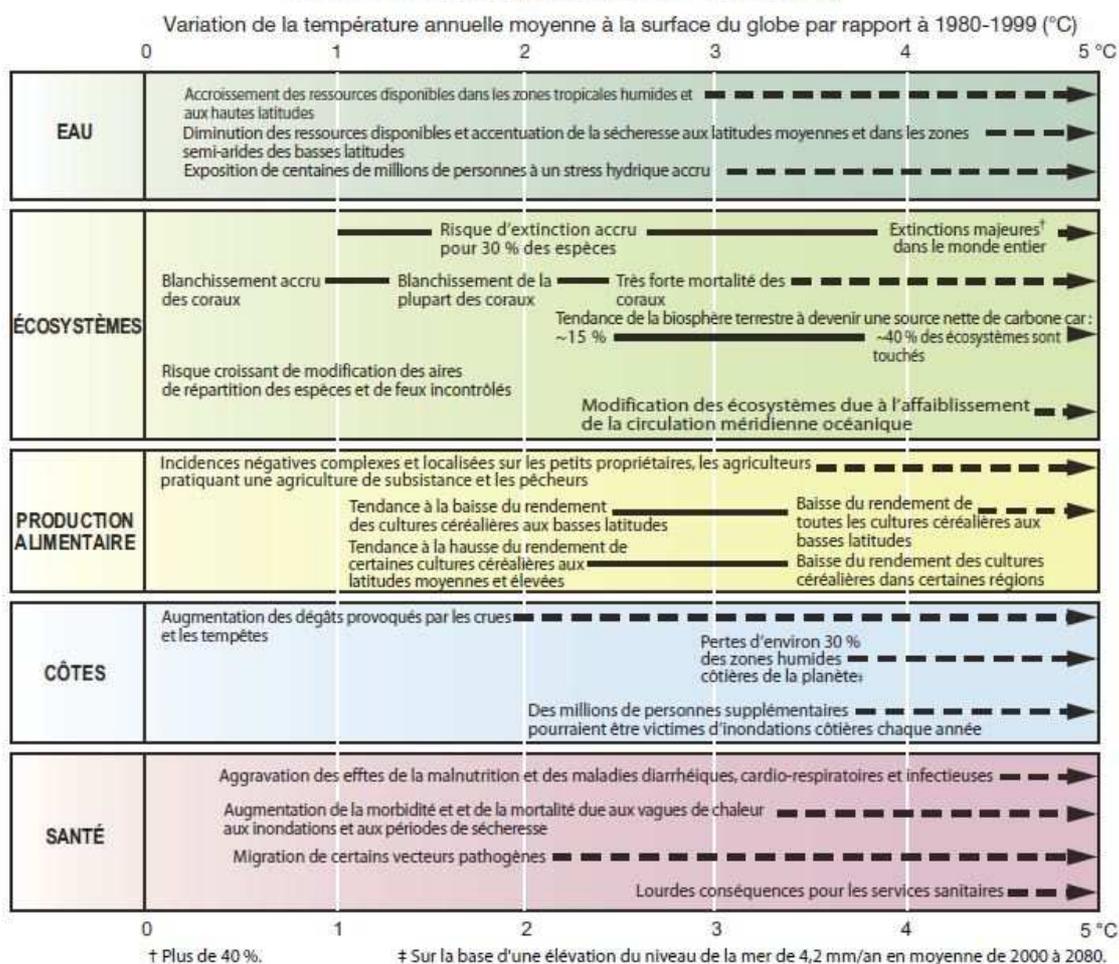


Figure 2.5. Comparaison des variations de la température en surface observées à l'échelle du globe et des continents avec les résultats simulés par des modèles climatiques intégrant les forçages naturels ou les forçages naturels et anthropiques. Les moyennes décennales des observations effectuées de 1906 à 2005 (ligne en noir) sont reportées au milieu de chaque décennie en comparaison de la moyenne correspondante pour la période 1901-1950. Les lignes en pointillés signalent une couverture spatiale inférieure à 50 %. Les bandes ombrées en bleu indiquent la fourchette comprise entre 5 et 95 % de 10 simulations issues de 5 modèles climatiques qui ne considèrent que les forçages naturels produits par l'activité solaire et volcanique. Les bandes ombrées en rouge représentent la fourchette comprise entre 5 et 95 % de 58 simulations obtenues avec 14 modèles climatiques tenant compte des forçages naturels et anthropiques. (G7, figure R10.4)

2. Exemples d'impacts liés aux variations des températures moyennes de surface

Exemples d'incidences associées à la variation de la température moyenne à la surface du globe (ces incidences varieraient selon le degré d'adaptation, le rythme du réchauffement et le mode de développement socio-économique)

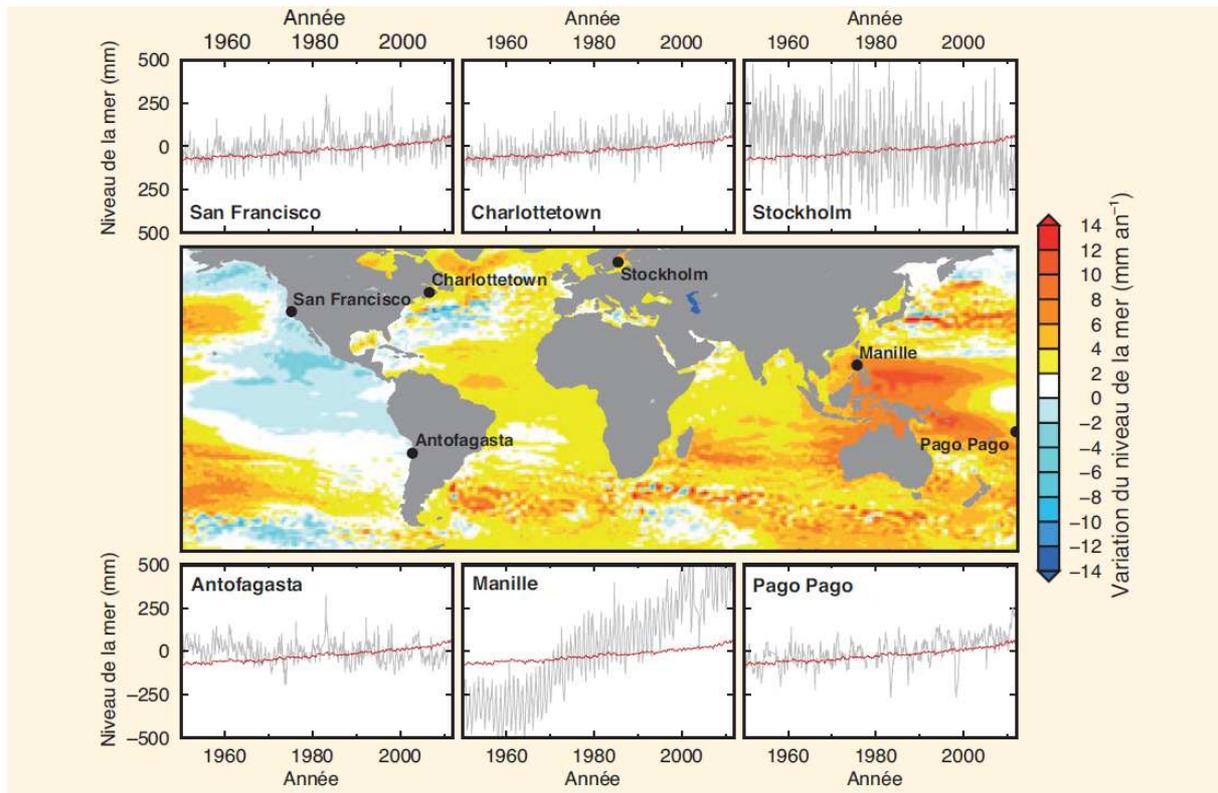


† Plus de 40 %.

‡ Sur la base d'une élévation du niveau de la mer de 4,2 mm/an en moyenne de 2000 à 2080.

Source : https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/fr/figure-spm-7.html

3. Variation de la hauteur de la surface des mers (1993-2012)

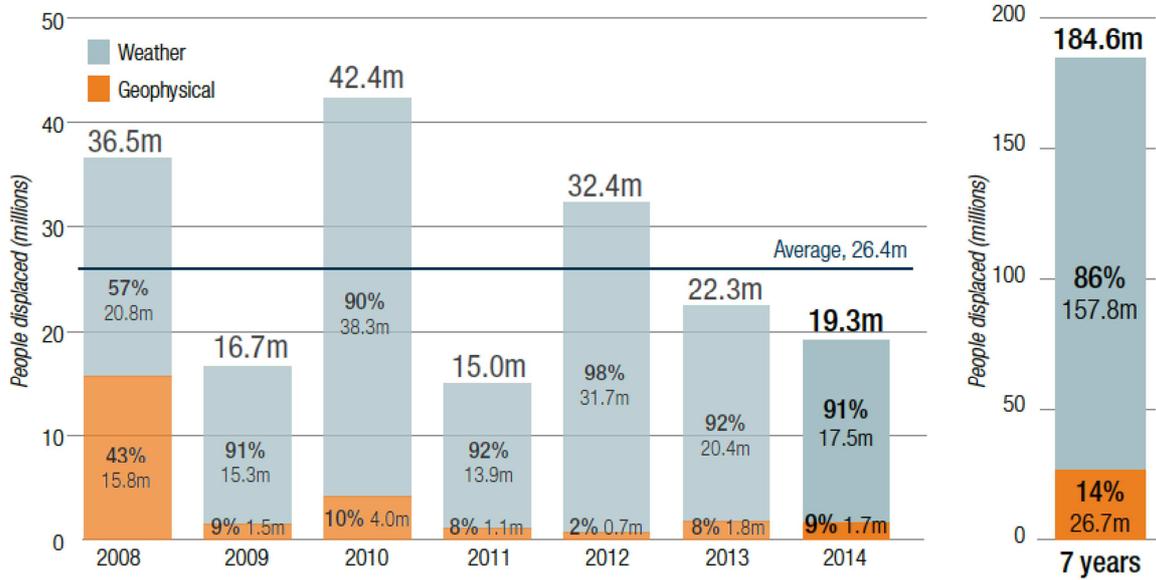


FAQ13.1 - Figure 1 | Carte des taux de variation de la hauteur de la surface des mers (niveau de la mer géocentrique) pour la période 1993–2012, établie à partir de données d'altimétrie satellitaire. La carte indique également les données de variation du niveau relatif de la mer (lignes en gris) relevées par des stations marégraphiques entre 1950 et 2012. Une estimation (en rouge) de la variation du niveau moyen mondial de la mer figure également (en rouge) avec chaque série chronologique de données des marégraphes pour comparaison. Les oscillations à court terme relativement importantes du niveau local de la mer (lignes en gris) sont imputables à la variabilité naturelle du climat décrite dans le corps principal du texte. Par exemple, les importants écarts réguliers relevés à Pago Pago sont associés au phénomène El Niño-Oscillation australe.

Source : GIEC, AR5WGI, résumé français, foire aux questions, p. 173.

4. Déplacements de population induits par les catastrophes naturelles (2008-2014)

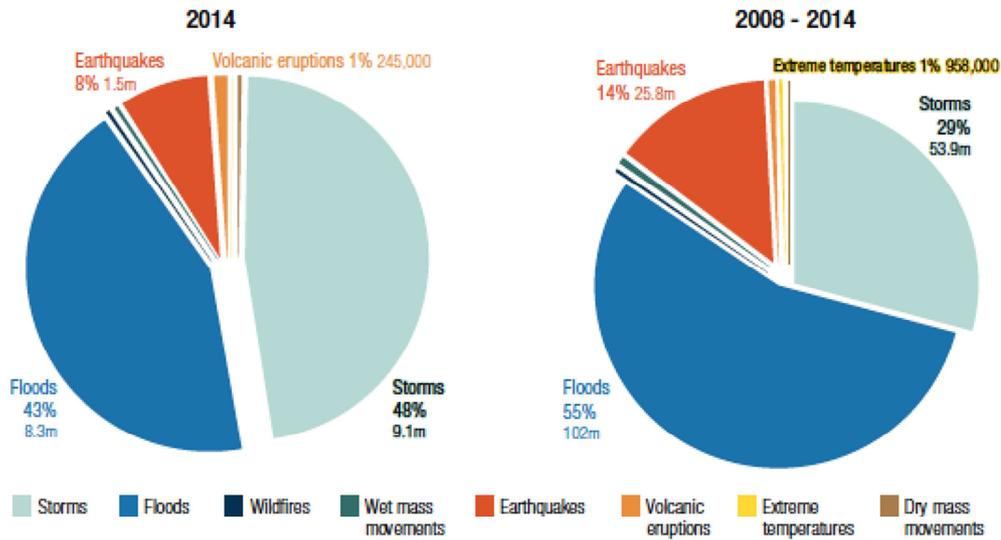
Figure 3.1: The global scale of displacement caused by disasters, 2008 to 2014



Note: Differences in totals are due to rounding of figures to the nearest decimal point. Source: IDMC data as of 1 June 2015

Source : IDMC 2015

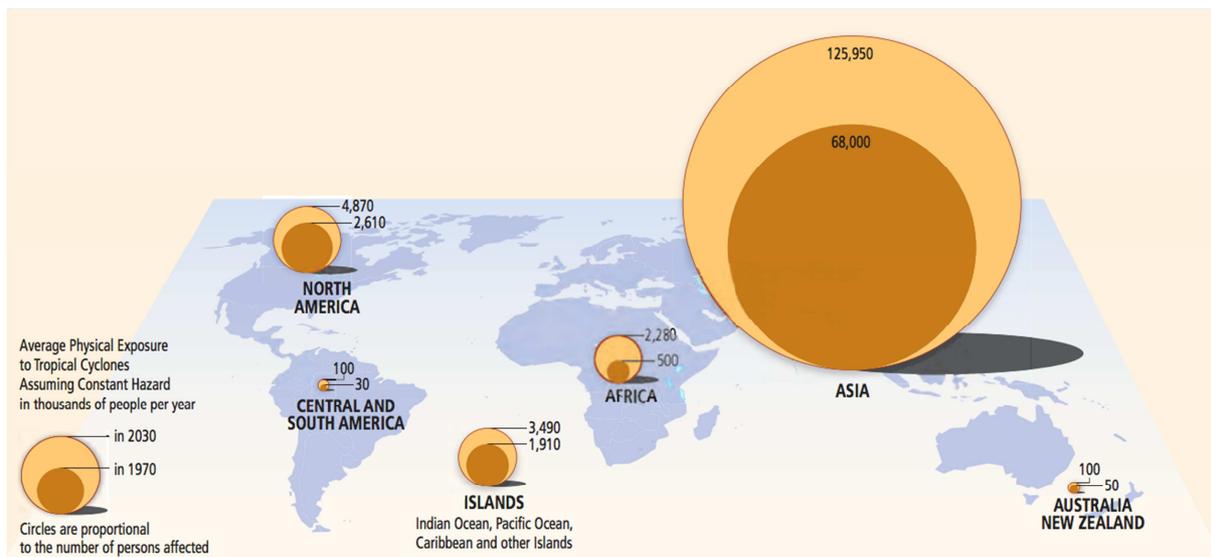
Figure 3.2: Global displacement by type of hazard



Note: figures rounded to nearest 1,000 or 100,000 Source: IDMC data as of 1 June 2015

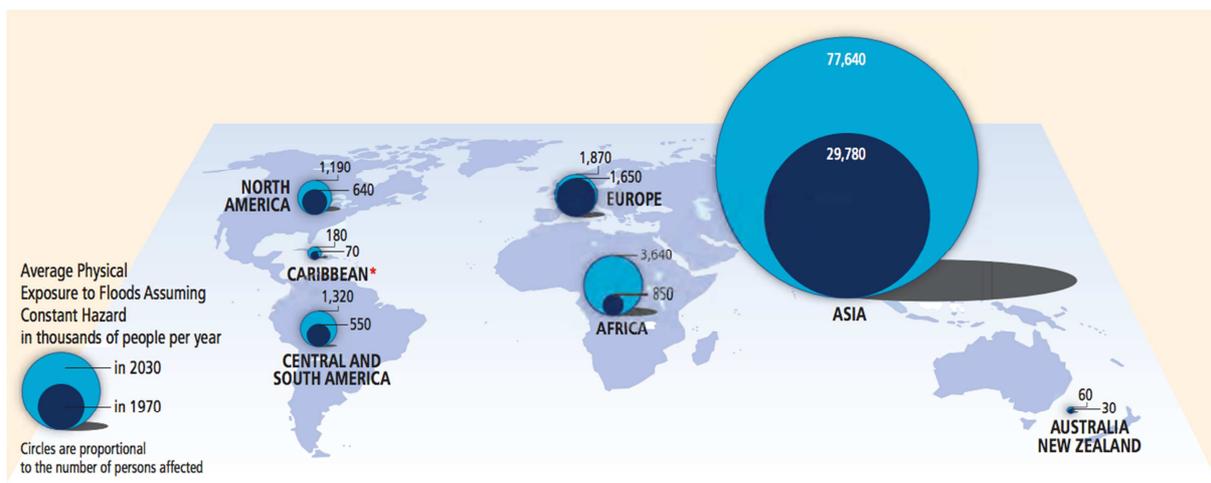
Source : IDMC, 2015

5. Exposition des populations aux cyclones



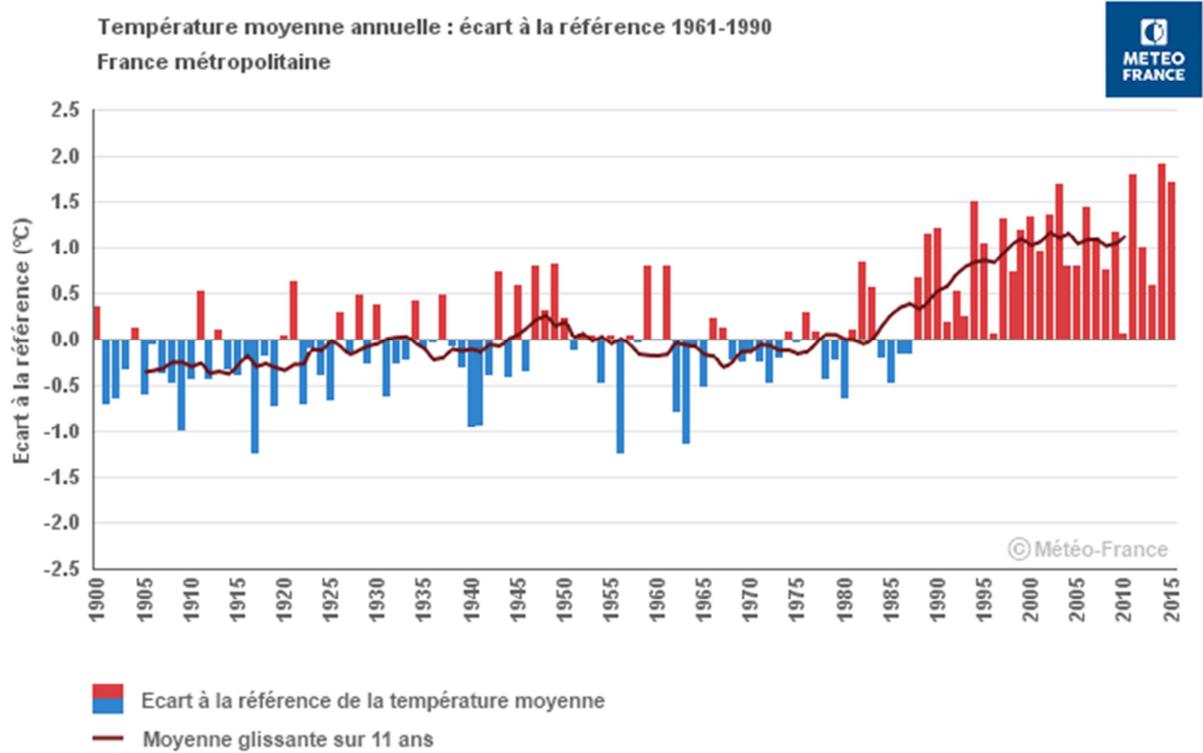
Source : Handmer et al. 2012, d'après des données de Peduzzi et al. 2011

6. Exposition des populations aux inondations



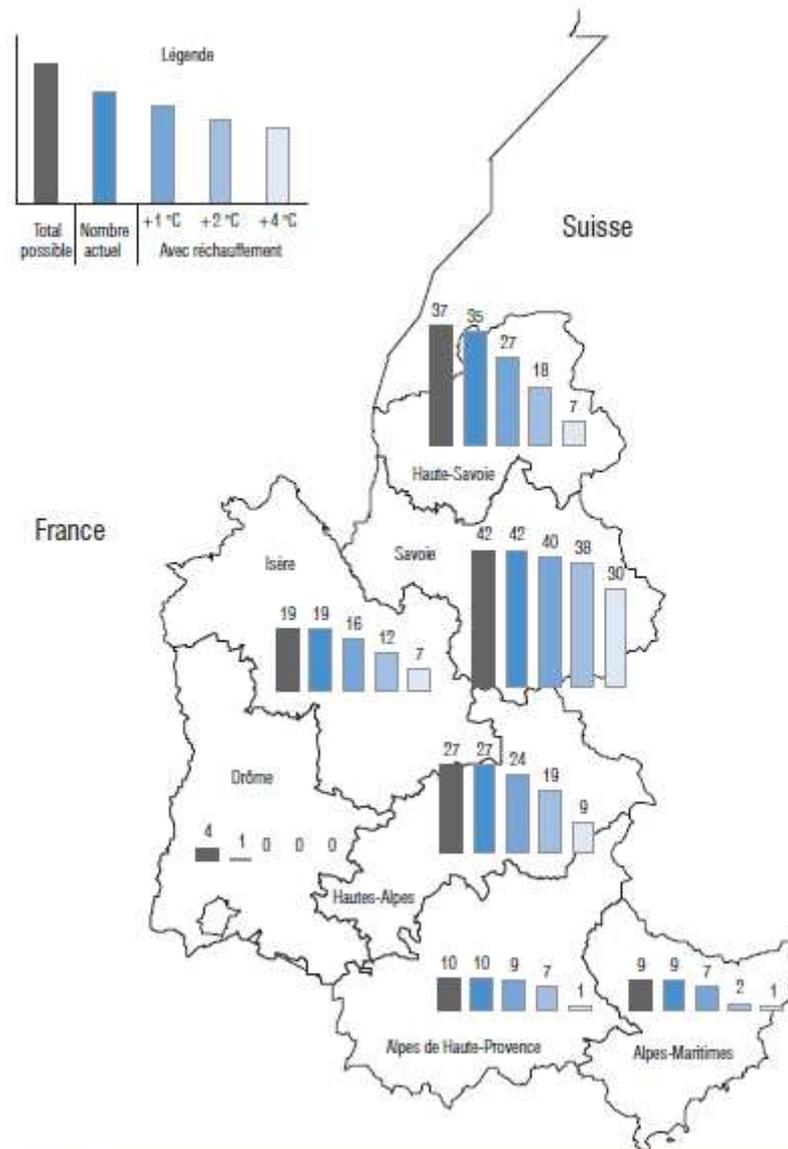
Source : Handmer et al. 2012, d'après des données de Peduzzi et al. 2011

7. Evolution des températures moyennes annuelles en France métropolitaine depuis 1900



Source : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/impacts-du-changement-climatique-atmosphere-temperatures-et-precipitations#e5>

8. Nombre de stations de ski avec enneigement assuré



Source : OCDE

9. Principales évolutions climatiques en outre-mer

	Températures		Précipitations	
	Observations récentes	Horizon 2080	Observations récentes	Horizon 2080
Antilles-Guyane	↑ + 1,5 °C (Martinique) + 1,3 °C (Guyane)	↑↑ + 2 à 3 °C	↔ Pas d'évolution	↓ - 12% (régional) ↔ 0% (Martinique)
La Réunion	↑ + 0,65 à 1 °C	↑↑ + 1,4 à 3 °C	↔ Légère baisse	↓ - 8%
Polynésie	↑ + 1 °C	↑ + 1,5 à 2,5 °C	↔ Pas d'évolution	↑ + 5 à 20% (Martinique, îles de la Société, îles Australes) ↓↓ - 5 à - 40% (Tuamotu)
Nouvelle-Calédonie	↑ + 1 °C	↑ + 1,8 à 2,1 °C	↔ Pas d'évolution	↓ - 5 à - 8%

	Élévation niveau de la mer		Événements extrêmes	Cyclones tropicaux **
	Observations récentes	Tendance d'ici la fin du siècle	Tendance d'ici la fin du siècle	Tendance d'ici la fin du siècle
Ensemble des outre-mer	↑ + 3 mm/an	↑ + 40 cm (optimiste) ↑↑ + 60 cm (pessimiste) ↑↑↑ + 1 m (extrême)	↑ Pluies violentes * ↑ Sécheresses * ↑ Canicules * ↑ Feux de forêt *	↑ Intensité * ↔ Fréquence

* Tendance probable mais non précisément quantifiée.

** Ne concerne que les zones tropicales.

Source : ONERC, 2012, p34.

10. Conditions naturelles de développement de la pêche dans les outre-mer français

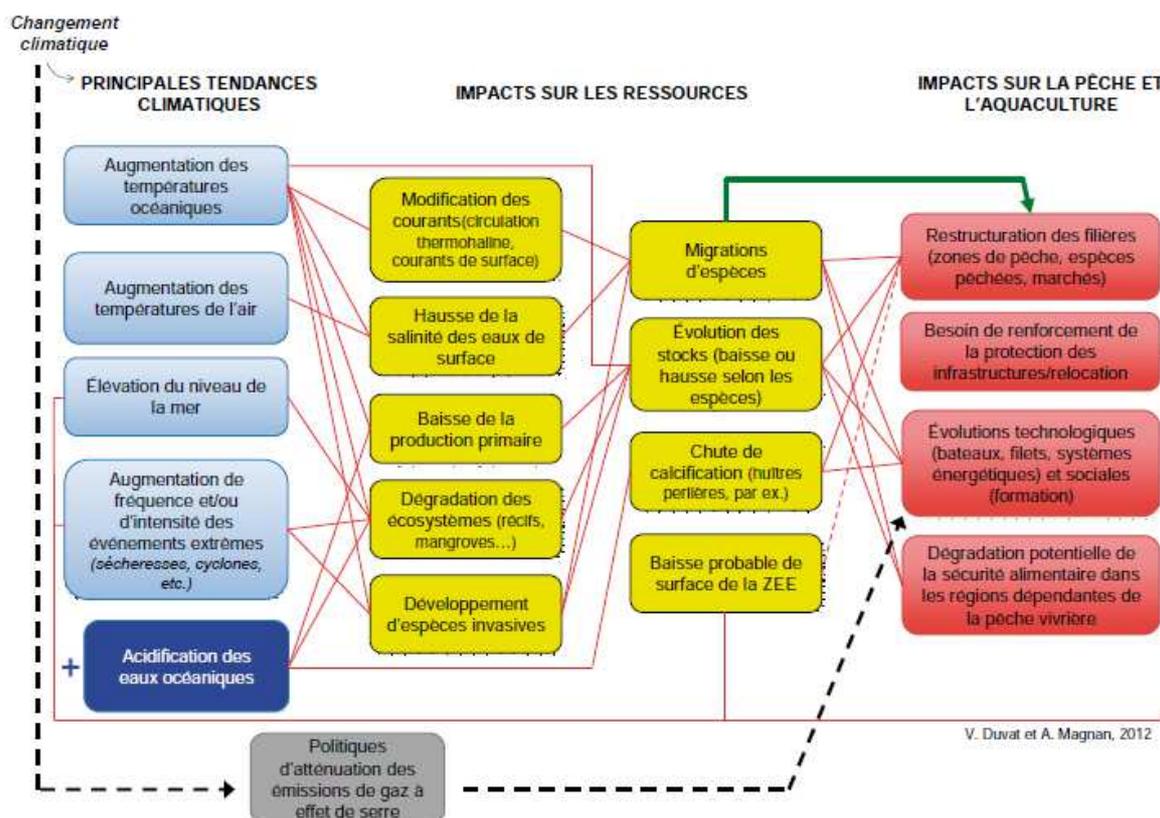
Territoire	Superficie de la ZEE (km ²)	Habitats remarquables* (ha ou km ²)	Production annuelle (en tonnes)*
Guadeloupe	170900 km ²	Récifs et lagons : 200 km ² Herbiers : 9726 ha Mangroves : 3983 ha	Pêche artisanale côtière : 10000 tonnes Aquaculture : < 10 tonnes
Mayotte	69500 km ²	Récifs et lagons : 1500 km ² Herbiers : 730 ha Mangroves : 735 ha	Pêche industrielle : 4289 tonnes Pêche artisanale : 1500 à 2000 tonnes Aquaculture (ombrine) : 150 tonnes

* Les données sont hétérogènes et variables d'une source à l'autre. Sont ici présentées des valeurs datant, suivant les cas, des années 2007 à 2011.

Sources : SPC, 2011 ; SHOM ; IFRECOR, 1998.

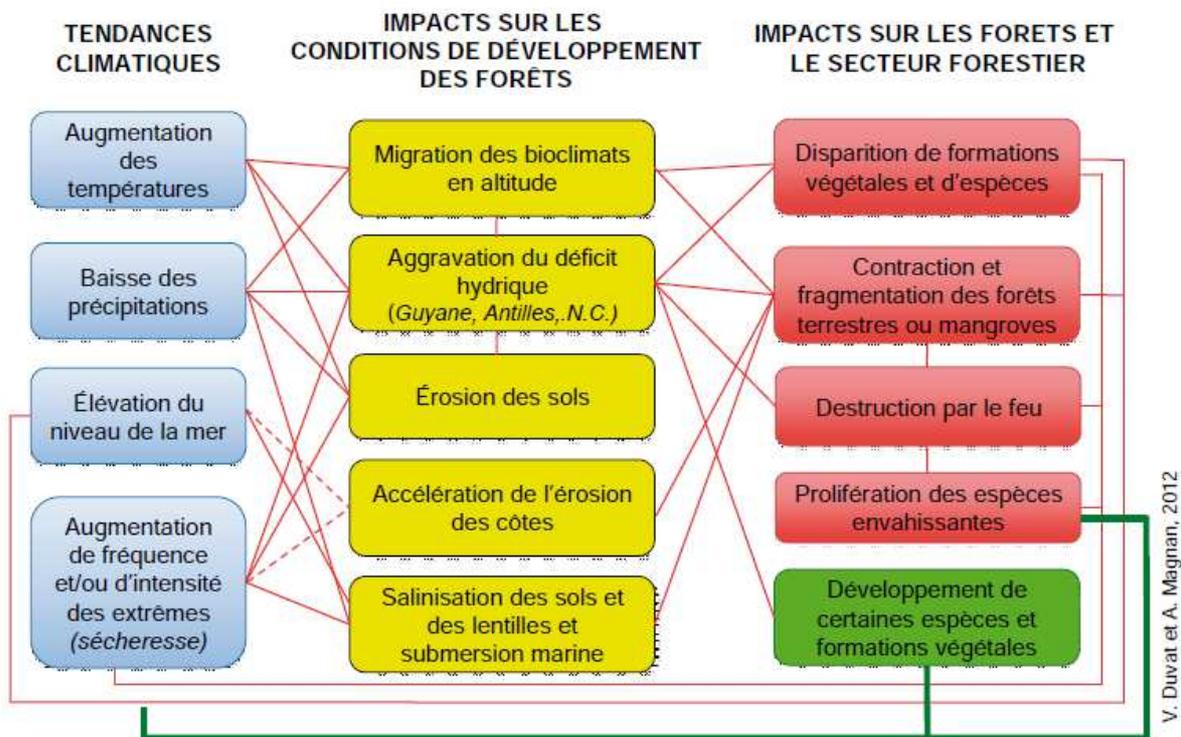
Source : ONERC, 2012, p83.

11. Impacts attendus des changements climatiques sur la pêche et l'aquaculture



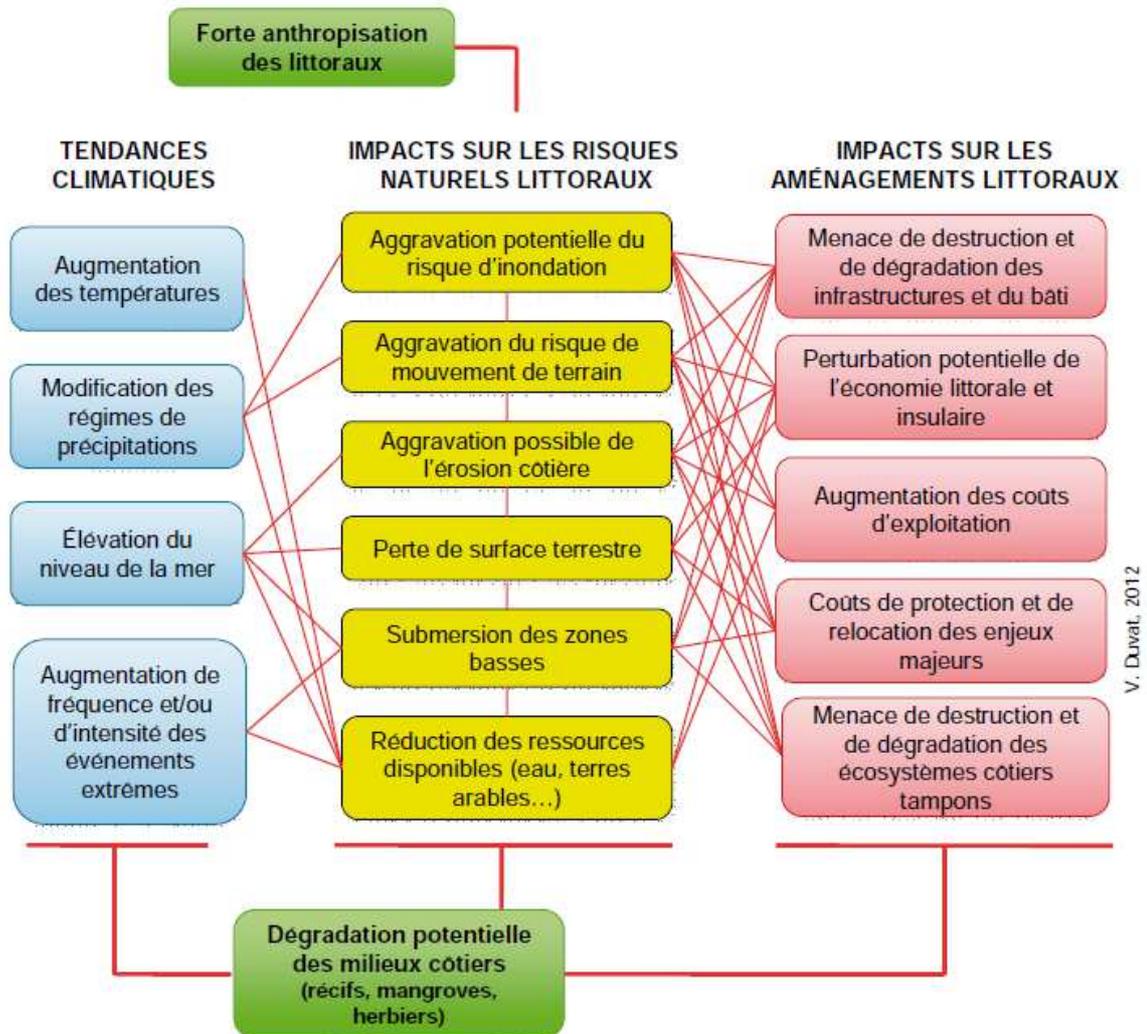
Source : ONERC, 2012, p84

12. Impacts attendus des changements climatiques sur la forêt amazonienne et les mangroves



Source : ONERC, 2012, p.123

13. Impacts attendus des changements climatiques sur les aménagements littoraux



Source : ONERC, 2012, p165

14. Impacts des changements climatiques en Afrique selon les régions

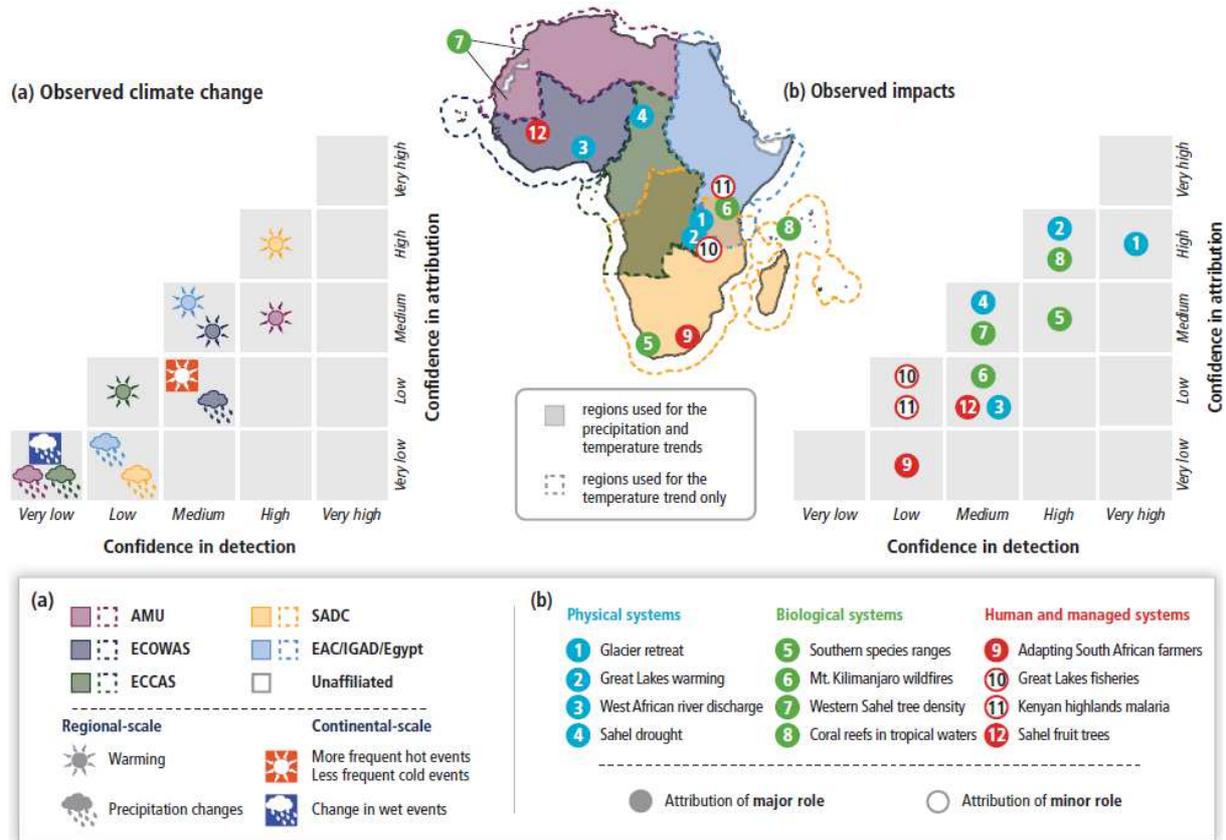


Figure 22-3 | (a) Confidence in detection and in attribution of observed climate change over Africa to anthropogenic emissions. All detection assessments are against a reference of no change, while all attribution assessments concern a major role of anthropogenic emissions in the observed changes. See 22.2, SREX Chapter 3 (Seneviratne et al., 2012), and WGI AR5 Chapter 10 for details. The regions used for analyses are: Arab Maghreb Union (AMU), Economic Community of West African States (ECOWAS), Economic Community of Central African States (ECCAS), Southern African Development Community (SADC), combined East African Community, Intergovernmental Authority on Development, and Egypt (EAC/IGAD/Egypt). (b) Confidence in detection and in attribution of the impacts of observed regional climate change on various African systems. All detection assessments are against a reference of no change, except "9. Adapting South African farmers" (economic changes), "10. Great Lakes fisheries" (changes due to fisheries management and land use), and "11. Kenyan highlands malaria" (changes due to vaccination, drug resistance, demography, and livelihoods). Attribution is to a major role or a minor role of observed climate change, as indicated. See 22.2.2, 22.2.3, 22.3.2, 22.3.3, 22.3.5.4, 22.4.5.7 and Tables 18-5 through 18-9 for details. Assessments follow the methods outlined in 18.2.

Source : *Changements climatiques. Incidences, adaptation, vulnérabilité*, GIEC, 2014, p.1212.

15. Évolution de la température et des précipitations dans les régions d'Afrique

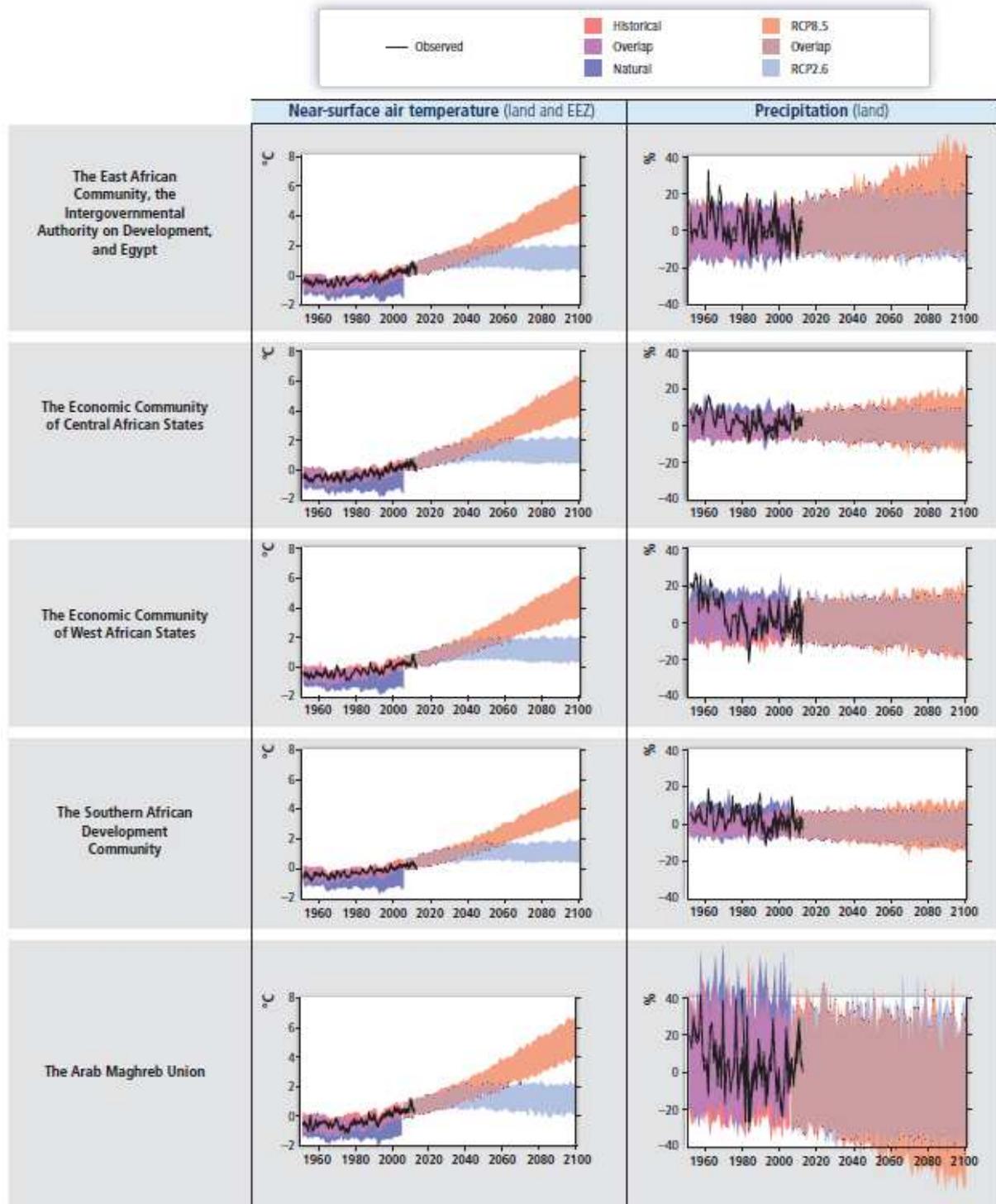


Figure 22-2 | Observed and simulated variations in past and projected future annual average temperature over East African Community–Intergovernmental Authority on Development–Egypt (EAC–IGAD–Egypt), Economic Community of Central African States (ECCAS), Economic Community of West African States (ECOWAS), Southern African Development Community (SADC), and the Arab Maghreb Union (AMU). Black lines show various estimates from observational measurements. Shading denotes the 5th to 95th percentile range of climate model simulations driven with “historical” changes in anthropogenic and natural drivers (63 simulations), historical changes in “natural” drivers only (34), the RCP2.6 emissions scenario (63), and RCP8.5 (63). Data are anomalies from the 1985–2005 average of the individual observational data (for the observational time series) or of the corresponding historical all-forcing simulations. Further details are given in Box 21-3.

Source : *Changements climatiques. Incidences, adaptation, vulnérabilité*, GIEC, 2014, p.1208.

16. Principaux impacts attendus des changements climatiques sur le secteur énergétique

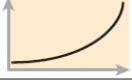
Technology	Changes in climatic or related attributes	Possible Impacts	Adaptation options
Thermal and nuclear power plants	Increasing air temperature	Reduces efficiency of thermal conversion by 0.1–0.2% in the USA; by 0.1–0.5% in Europe, where the capacity loss is estimated in the range of 1–2% per 1°C temperature increase, accounting for decreasing cooling efficiency and reduced operation level/shutdown	Siting at locations with cooler local climates where possible
	Changing (lower) precipitation and increasing air temperature increases temperature and reduces the availability of water for cooling	Less power generation; annual average load reduction by 0.1–5.6% depending on scenario	Use of non-traditional water sources (e.g., water from oil and gas fields, coal mines and treatment, treated sewage); re-use of process water from flue gases (can cover 25–37% of the power plant's cooling needs), coal drying, condensers (drier coal has higher heating value, cooler water enters cooling tower), flue-gas desulfurization; using ice to cool air before entering the gas turbine increases efficiency and output, melted ice used in cooling tower; condenser mounted at the outlet of cooling tower to reduce evaporation losses (by up to 20%). Alternative cooling technologies: dry cooling towers, regenerative cooling, heat pipe exchangers; costs of retrofitting cooling options depend on features of existing systems, distance to water, required additional equipment, estimated at US\$250,000–500,000 per megawatt
	Increasing frequency of extreme hot temperatures	Exacerbating impacts of warmer conditions: reduced thermal and cooling efficiency; limited cooling water discharge; overheating buildings; self-ignition of coal stockpiles	Cooling of buildings (air conditioning) and of coal stockpiles (water spraying)
	Drought: reduced water availability	Exacerbating impacts of warmer conditions, reduced operation and output, shutdown	Same as reduced water availability under gradual climate change
Hydropower	Increase/decrease in average water availability	Increased/reduced power output	Schedule release to optimize income
	Changes in seasonal and inter-annual variation in inflows (water availability)	Shifts in seasonal and annual power output; floods and lost output in the case of higher peak flows	Soft: adjust water management Hard: build additional storage capacity, improve turbine runner capacity
	Extreme precipitation causing floods	Direct and indirect (by debris carried from flooded areas) damage to dams and turbines, lost output due to releasing water through bypass channels	Soft: adjust water management Debris removal Hard: increase storage capacity
Solar energy	Increasing mean temperature	Improving performance of TH (especially in colder regions), reducing efficiency of PV and CSP with water cooling; PV efficiency drops by ~0.5% per 1°C temperature increase for crystalline silicon and thin-film modules as well, but performance varies across types of modules, with thin film modules performing better; long-term exposure to heat causes faster aging.	
	Changing cloudiness	Increasing unfavorable (reduced output), decreasing beneficial (increased output) for all types, but evacuated tube collectors for TH can use diffuse insolation. CSP more vulnerable (cannot use diffuse light)	Apply rougher surface for PV panels that use diffuse light better; optimize fixed mounting angle for using diffuse light, apply tracking system to adjust angle for diffuse light conditions; install/increase storage capacity
	Hot spells	Material damage for PV, reduced output for PV and CSP. CSP efficiency decreases by 3–9% as ambient temperature increases from 30 to 50°C and drops by 6% (tower) to 18% (trough) during the hottest 1% of time	Cooling PV panels passively by natural air flows or actively by forced air or liquid coolants
	Hail	Material damage to TH: evacuated tube collectors are more vulnerable than flat plate collectors. Fracturing as glass plate cover, damage to photoactive material	Flat plate collectors: using reinforced glass to withstand hailstones of 35 mm (all of 15 tested) or even 45 mm (10 of 15 tested); only 1 in 26 evacuated tube collectors withstood 45-mm hailstones. Increase protection to current standards or beyond them
Wind power	Windiness: total wind resource (multi-year annual mean wind power densities); likely to remain within ±50% of current values in Europe and North America; within ±25% of 1979–2000 historical values in contiguous USA	Change in wind power potential	Site selection
	Wind speed extremes: gust, direction change, shear	Structural integrity from high structural loads; fatigue, damage to turbine components; reduced output	Turbine design, lidar-based protection

Notes: CSP = concentrating solar power; PV = photovoltaic; TH = thermal heating.

Sources: EPA (2001); Parkpoom et al. (2005); Norton (2006); Pryor et al. (2006); Walter et al. (2006); Christensen and Busuloc (2007); DOE (2007); NETL National Energy Technology Laboratory (2007); Schaeffli et al. (2007); Bloom et al. (2008); Feeley III et al. (2008); Haugen and Iversen (2008); Leckebusch et al. (2008); Markoff and Cullen (2008); Ott and Richter (2008); Sailor et al. (2008); Droogers (2009); Förster and Lilliestam (2009); Honeyborne (2009); Kurtz et al. (2009); SPF (2009); Hoffmann et al. (2010); Pryor and Barthelmie (2010, 2011, 2013); Pryor and Schoof (2010); Kurtz et al. (2011); Linnerud et al. (2011); Mukheibir (2013); Patt et al. (2013); Sieber (2013); Williams (2013).

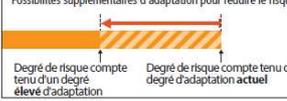
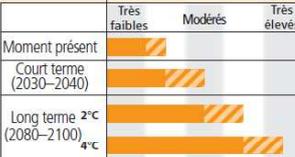
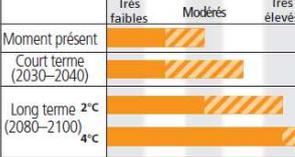
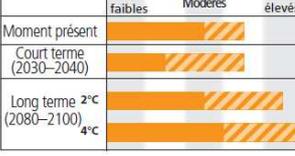
Source : *Changements climatiques. Incidences, adaptation, vulnérabilité*, GIEC, 2014, p.666.

17. Impacts des changements climatiques sur différents secteurs de service

Sector	Climate change drivers	Sensitivity to climate change	Sign	Other drivers	Relative impact of climate change to other drivers
Winter tourism	<ul style="list-style-type: none"> Temperature Snow 		Negative	<ul style="list-style-type: none"> Population Lifestyle Income Aging 	Much less
Summer tourism	<ul style="list-style-type: none"> Temperature Rainfall Cloudiness 		Negative for suppliers in low altitudes and latitudes Positive for suppliers in high altitudes and latitudes Neutral for tourists	<ul style="list-style-type: none"> Population Income Lifestyle Aging 	Much less
Cooling demand	<ul style="list-style-type: none"> Temperature Humidity Hot spells 		Positive for suppliers Negative for consumers	<ul style="list-style-type: none"> Population Income Energy prices Technology change 	Less
Heating demand	<ul style="list-style-type: none"> Temperature Humidity Cold spells 		Negative for suppliers Positive for consumers	<ul style="list-style-type: none"> Population Income Energy prices Technology change 	Less
Health services	<ul style="list-style-type: none"> Temperature Precipitation 		Positive for suppliers Negative for consumers	<ul style="list-style-type: none"> Aging Income Diet/lifestyle 	Less
Water infrastructure and services	<ul style="list-style-type: none"> Temperature Precipitation Storm Intensity Seasonal Variability 		Negative for water users Positive for suppliers Spatially heterogeneous	<ul style="list-style-type: none"> Population Income Urbanization Regulation 	Less in developing countries Equal in developed countries
Transportation	<ul style="list-style-type: none"> Temperature Precipitation Storm intensity Seasonal variability Freeze/thaw cycles 		Negative for all users Positive for transport construction industry	<ul style="list-style-type: none"> Population Income Urbanization Regulation Mode shifting Consumer and commuter behavior 	Much less in developing countries Less in developed countries
Insurance	<ul style="list-style-type: none"> Temperature Precipitation Storm intensity Seasonal variability Freeze/thaw cycles 		Negative for consumers Neutral for suppliers	<ul style="list-style-type: none"> Population Income Regulation Product innovation 	Less or equal in developing countries Equal or more in developed countries

Source : GIEC, 2014, p.693

18. Degré de risques et possibilités d'adaptation en Afrique

Facteurs déterminants des incidences liées au climat										Degré de risque et possibilités d'adaptation	
 Tendence au réchauffement	 Température extrême	 Tendence à l'assèchement	 Précipitations extrêmes	 Précipitations	 Enneigement	 Cyclones destructeurs	 Niveau de la mer	 Acidification des océans	 Fertilisation par le dioxyde de carbone	<p>Possibilités supplémentaires d'adaptation pour réduire le risque</p>  <p>Degré de risque compte tenu d'un degré élevé d'adaptation</p> <p>Degré de risque compte tenu du degré d'adaptation actuel</p>	
Afrique											
Risques principaux	Problèmes et perspectives d'adaptation					Facteurs climatiques	Échéancier	Risques et possibilités d'adaptation			
<p>Aggravation des pressions exercées sur les ressources hydriques déjà lourdement sollicitées par la surexploitation et la dégradation, et qui feront face à l'avenir à une demande accrue. Stress dû à la sécheresse exacerbé dans les régions africaines déjà exposées à ce fléau (<i>degré de confiance élevé</i>)</p> <p>[22.3-4]</p>	<ul style="list-style-type: none"> Réduction des facteurs de perturbation non climatiques des ressources hydriques Renforcement des capacités institutionnelles pour la gestion de la demande, évaluation des ressources en eau souterraine, planification intégrée de l'eau et des eaux usées, et gouvernance intégrée des terres et de l'eau Développement urbain durable 					   	<p>Moment présent</p> <p>Court terme (2030-2040)</p> <p>Long terme 2°C (2080-2100)</p> <p>4°C</p>	<p>Très faibles Modérés Très élevés</p> 			
<p>Baisse de la productivité des cultures due à la chaleur et à la sécheresse — dont les conséquences sur les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire des pays, des régions et des ménages pourraient être graves — ainsi qu'aux dommages causés par les ravageurs, les maladies et les inondations sur l'infrastructure des systèmes alimentaires (<i>degré de confiance élevé</i>)</p> <p>[22.3-4]</p>	<ul style="list-style-type: none"> Adaptations technologiques (variétés végétales tolérantes au stress, irrigation, systèmes d'observation perfectionnés, etc.) Amélioration de l'accès des petits producteurs au crédit et à d'autres facteurs de production essentiels; diversification des modes de subsistance Renforcement des institutions à l'échelle locale, nationale et régionale pour appuyer l'agriculture (y compris par l'établissement de systèmes d'alerte précoce) et politiques favorables à l'égalité des sexes Adaptations agronomiques (agroforesterie, agriculture de conservation) 					   	<p>Moment présent</p> <p>Court terme (2030-2040)</p> <p>Long terme 2°C (2080-2100)</p> <p>4°C</p>	<p>Très faibles Modérés Très élevés</p> 			
<p>Variations de l'incidence et de l'extension géographique des maladies à transmission vectorielle ou d'origine hydrique dues à l'évolution des températures et des précipitations moyennes et de leur variabilité, en particulier aux limites de leurs aires de répartition (<i>degré de confiance moyen</i>)</p> <p>[22.3]</p>	<ul style="list-style-type: none"> Réalisation des objectifs de développement, et notamment amélioration de l'accès à l'eau potable et des systèmes d'assainissement, et renforcement des fonctions liées à la santé publique telles que la surveillance Cartographie de la vulnérabilité et systèmes d'alerte précoce Coordination intersectorielle Développement urbain durable 					   	<p>Moment présent</p> <p>Court terme (2030-2040)</p> <p>Long terme 2°C (2080-2100)</p> <p>4°C</p>	<p>Très faibles Modérés Très élevés</p> 			

Source : GIEC 2014, p. 21.