

## RAPPORT D'ETUDE 2

### Données scientifiques et scénarios climatiques

#### Note de synthèse

Ce rapport d'étude a pour objectif de **faire l'inventaire des connaissances scientifiques disponibles concernant les évolutions climatiques à venir et leurs impacts directs et indirects**, grâce notamment aux rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). **« Chacune des trois dernières décennies a été successivement plus chaude à la surface de la Terre que les décennies précédentes depuis 1850 »**. Telle est la principale conclusion du dernier rapport de l'organisation paru en 2013-2014, qui ajoute que la moyenne des températures entre 1982 et 2012, dans l'hémisphère nord, est probablement la plus élevée des 1400 dernières années. Cette conclusion dément avec force les thèses climato-sceptiques qui se servaient du « palier des températures » moyennes terrestres observé depuis 1998 pour invalider le consensus mondial sur les changements climatiques. En effet, l'origine anthropique du réchauffement planétaire n'est désormais quasiment plus contestée (degré de certitude de 95%).

En dépit des nombreuses incertitudes qui demeurent, l'influence des activités humaines sur les dérèglements climatiques est d'ores et déjà détectable partout : dans le réchauffement de l'atmosphère et des océans, dans les modifications du cycle de l'eau, dans la fonte des neiges et des glaces, dans l'élévation du niveau de la mer ou encore dans les changements de certains extrêmes climatiques. **D'ici 2100, seul le scénario le plus optimiste du GIEC (RCP2.6)**, qui intègre des mesures d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES) très ambitieuses, **permet encore d'espérer maintenir la hausse des températures moyennes sous le seuil de 2°C** (par rapport à l'ère préindustrielle), sur lequel les États se sont mis d'accord dans l'Accord de Paris.

L'amplitude des variations climatiques et de leurs impacts physiques et socio-économiques pourra être considérable, et sera fonction des efforts d'atténuation des émissions de GES et des politiques d'adaptation mises en œuvre, ainsi que d'un grand nombre de paramètres locaux (croissance démographique, peuplement, niveau de développement, etc.). Afin de montrer quel serait le « scénario du pire » et le « scénario du moins pire », **ce rapport présente, dans la mesure du possible, les conséquences des effets des changements climatiques en 2030 et 2050 selon deux scénarios de réchauffement global à l'horizon 2100 (+2°C et +5°C)**. Les enseignements tirés de la littérature existante montrent toutefois qu'il est extrêmement difficile de déceler des variations entre ces deux scénarios pour 2030, compte tenu de l'inertie du système climatique et du laps de temps très court qui nous sépare de cette échéance.

Dans un premier temps, **le rapport fait le point, notamment à partir d'un examen des conclusions du dernier rapport du GIEC et de publications plus récentes, sur les grandes tendances climatiques, observées et estimées, au niveau mondial** (élévation de la température moyenne à la surface du globe, modifications des régimes de précipitations,

élévation du niveau de la mer, acidification des océans, etc.). Il rappelle par exemple que **la moyenne globale des températures de surface (terres et océans) a déjà augmenté de 0,85°C entre 1880 et 2012**, et qu'il est **probable que la hausse des températures se situe, quel que soit le scénario, entre 1 et 1,4°C d'ici à 2035, par rapport à 1850**. Le rapport expose ensuite les principaux impacts physiques de ces changements climatiques, qu'il s'agisse de la submersion des territoires ou de l'aggravation des épisodes climatiques extrêmes, et leurs conséquences attendues en matière de santé, de pêche, d'agriculture ou encore d'habitabilité des territoires.

Le rapport consacre ensuite une deuxième partie à des **focus régionaux**, afin d'isoler les données disponibles pour les zones d'influence française : **la France métropolitaine et l'outre-mer, l'Afrique et l'Asie-Pacifique**.

Il en ressort que les variations de températures et de précipitations moyennes en métropole seront relativement modérées aux horizons 2030 et 2050, mais que **la France connaîtra très probablement dès 2030 une hausse significative du nombre de vagues de chaleur et d'épisodes de sécheresse**, avec des conséquences particulièrement importantes sur la santé (canicule, épidémies) et le secteur agricole. Un point de vigilance s'impose également sur les infrastructures énergétiques (barrages et centrales nucléaires).

En **outre-mer**, l'élévation du niveau et des températures des mers et des océans impactera en premier lieu la biodiversité, les conditions sanitaires et la sécurité des infrastructures situées sur le littoral, ce qui nuira à l'attractivité touristique de ces territoires. Compte tenu de leur dépendance à ce secteur d'activité, cela se traduirait par une détérioration des conditions socio-économiques des populations. De même, certains atolls du Pacifique et de l'océan Indien sont menacés par la submersion marine dès 2050.

**L'élévation des températures sera plus rapide en Afrique que dans le reste du monde au cours du XXI<sup>e</sup> siècle**. Si les projections concernant les précipitations restent encore imprécises, une tendance se dégage toutefois : la hausse de la variabilité interannuelle qui jouera autant sur les rendements agricoles que sur le débit des fleuves, fait préoccupant dans le cas du Nil. On observe déjà des sécheresses plus fréquentes en Afrique de l'Est, et celles-ci devraient s'étendre à la quasi-totalité des régions africaines (zone équatoriale exceptée). Cela se traduira par des pénuries d'eau et des impacts négatifs sur les rendements des principales cultures céréalières, et conduira, en lien avec la croissance démographique, à une insécurité alimentaire grandissante ainsi qu'à des mouvements de population.

**L'Asie-Pacifique est la région la plus vulnérable au monde aux impacts des changements climatiques**, en raison de son très haut degré d'exposition aux risques environnementaux et aux catastrophes naturelles, et sa forte densité de population, particulièrement concentrée sur les littoraux. Vaste et variée, la région connaîtra des impacts très différents d'un endroit à l'autre : l'Asie orientale et du sud-est sera davantage confrontée à un risque d'inondations côtières et riveraines accru, l'Asie du Sud sera plus exposée aux cyclones, aux inondations et à la salinisation des sols, quand les Maldives et les petits États insulaires pourraient bien voir leur existence menacée par la hausse du niveau des mers et la perte de territoire qui en résultera. D'importants déplacements de population sont à prévoir dans l'ensemble de la région Asie-Pacifique.

Le rapport s'achève sur une **mise à jour de la typologie esquissée dans le RE1**, à l'aide des enseignements tirés de cette nouvelle étude. Il conclut à cet égard qu'il est très difficile

d'intégrer les horizons 2030 et 2050 dans le travail d'élaboration de la typologie, compte tenu des faibles variations observables entre les scénarios à +2°C et +5°C à ces échéances-là. De surcroît, nombre de travaux recensés dans les rapports du GIEC restent relativement imprécis quant à la trajectoire d'émissions privilégiées lorsqu'ils évoquent des horizons aussi proches. C'est en effet après 2050, et plus encore en 2100, que les différences deviennent significatives et peuvent donc, éventuellement, être intégrées à la typologie, notamment pour « mesurer » l'importance relative du paramètre *sensibilité* (qui regroupe les composantes climatiques) dans l'accroissement de la vulnérabilité d'un territoire à des risques climatiques et non climatiques, et susceptible d'aboutir à des situations d'insécurité, voire de conflictualité.

La principale conclusion qui se dégage de ce RE2 est que **les incertitudes qui demeurent concernant les projections climatiques aux horizons 2030 et 2050, quel que soit le scénario, sont trop grandes pour dégager des différences significatives à court terme**. Si des tendances sont déjà observables et risquent bien de se poursuivre au fil du siècle, avant 2050, le rôle joué par les perturbations anthropiques sur les milieux naturels semble encore prédominant et plus facile à identifier. L'existence du consensus mondial sur l'origine anthropique du réchauffement planétaire permet néanmoins d'affirmer que les changements climatiques seront plus visibles et plus déstabilisants pour les écosystèmes et les sociétés humaines à partir de 2050, et que la mise en place de mesures d'atténuation et d'adaptation ambitieuses et adaptées aux particularités locales de chacun des territoires sera essentielle pour prévenir l'émergence et la multiplication de crises dans lesquelles les paramètres climatiques pèseront de plus en plus.



# RAPPORT D'ETUDE N°2

## Données scientifiques et scénarios climatiques

### Résumé

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.**

## Données scientifiques et scénarios climatiques

### Résumé

Les connaissances scientifiques se sont nettement améliorées depuis la parution du dernier rapport (AR5) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 2013-2014. La probabilité que les activités humaines soient le premier moteur du réchauffement climatique a considérablement augmenté, au point de n'être quasiment plus contestée aujourd'hui (degré de certitudes de 95%).

L'objectif de ce second rapport est de présenter **les évolutions climatiques et leurs impacts selon deux scénarios de réchauffement** : le premier se base 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 (RCP2.6) ; le second porte sur une augmentation de 5°C à l'horizon 2100, et correspond quasiment au scénario le plus pessimiste (RCP8.5). 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. De même, la question des seuils de rupture (*tipping points*) n'est pas abordée, puisqu'aucun seuil ne devrait être franchi avant 2050, même selon le scénario RCP8.5.

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 l'Asie-Pacifique ; la troisième synthétise les enseignements et met à jour la typologie de crises esquissée dans le premier rapport, en l'enrichissant des résultats tirés de cette nouvelle étude.

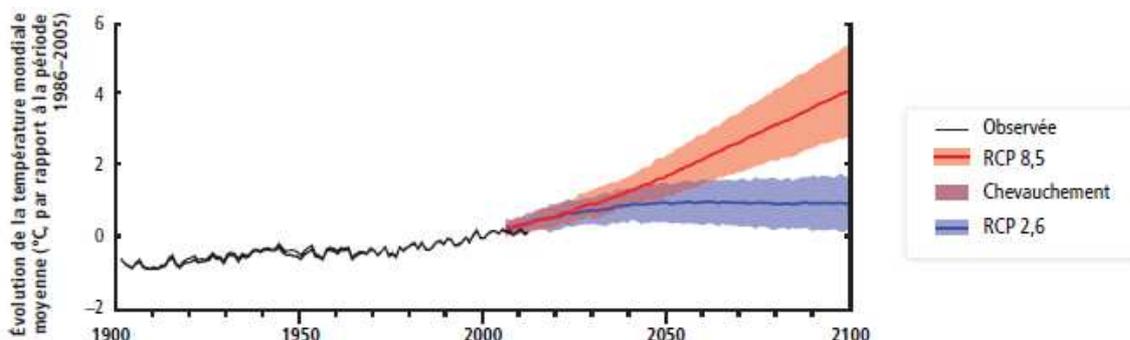
### Partie 1 – Les évolutions du climat mondial

#### I. Atmosphère

##### 1. Élévation de la température à la surface du globe

**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 1850. Ces données démontrent que les températures sont toujours en hausse, malgré le « palier des températures » observable depuis 1998 et utilisé par les climato-sceptiques pour démentir l'idée d'un réchauffement anthropique de la surface du globe.**

Fig. 1. Évolution projetée de la température à horizon 2100



**D'ici 2100, seul le scénario le plus optimiste et le plus ambitieux (RCP2.6) permet encore d'espérer maintenir la hausse des températures sous le seuil de 2°C, par rapport à l'ère préindustrielle (1850) (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).

Les changements climatiques augmenteront considérablement les **risques de phénomènes météorologiques extrêmes** (vagues de chaleur, précipitations extrêmes, inondations des zones côtières, etc.). Certains facteurs non climatiques (démographie, gouvernance, etc.) continueront à avoir une incidence plus forte dans la plupart des secteurs économiques mais **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.**

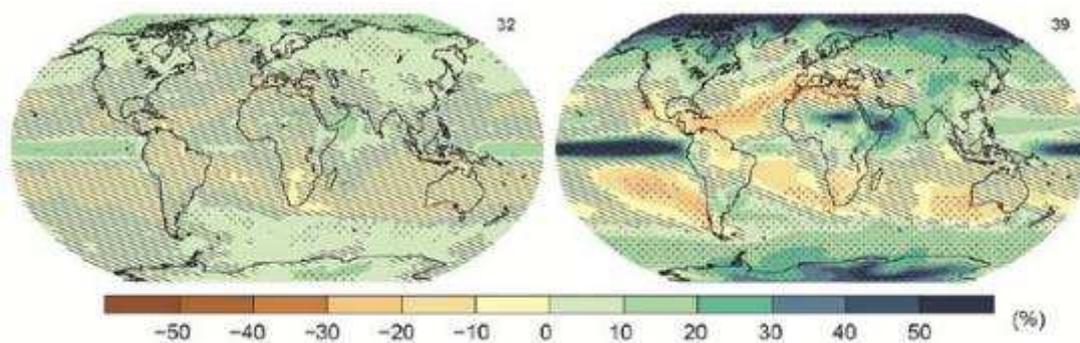
Avant 2050, l'augmentation de la température aura des impacts sur la **santé humaine**, en exacerbant principalement les problèmes préexistants (malnutrition et sous-nutrition, répartition de certaines maladies d'origine hydrique ou transmises par les moustiques) (Field et al., 2014).

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 (disparition de plusieurs espèces, élévation du niveau de la mer).

## 2. Modifications du régime des précipitations

La variation des précipitations est plus difficile à mesurer compte tenu de leur forte variabilité naturelle et de l'influence de mécanismes physiques complexes comme El Niño (Kergomard, 2012). 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.** A 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).

Fig. 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 (gauche) et RCP8,5 (droite).

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. Cela aboutira à des risques d'insécurité alimentaire croissants.

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. Mer 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.

### 1. Température océanique

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. Ainsi, les 75 premiers mètres de profondeur se sont réchauffés en moyenne de 0,11°C par décennie sur la période 1971-2010

D'après les projections, le réchauffement le plus fort concernera l'océan superficiel des régions tropicales et des régions subtropicales de l'hémisphère Nord. 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 XXIe siècle.

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**.

### 2. Circulation thermohaline

La circulation thermohaline désigne le déplacement des grandes masses d'eau océaniques, et influe sur le climat régional, les intempéries, les températures, etc. La plus intense et la plus étudiée est celle du bassin Atlantique (Circulation méridienne océanique de retournement de l'Atlantique – AMOC) qui décrit le phénomène de plongée des eaux de l'Atlantique sous l'impact du Gulf Stream.

Les changements climatiques modifient le taux de salinité des eaux, qui joue sur la densité de l'eau, et risquent donc de conduire à un ralentissement de l'AMOC. **Cela pourrait freiner le transport de chaleur vers l'Atlantique Nord, faire glisser la zone de convergence intertropicale (ZTIC) vers le Sud, et indirectement augmenter le risque de sécheresse au Sahel (cf. situation des années 1970 et 1980)**. Les impacts du phénomène EL Nino, qui provoque d'intenses sécheresses en Australie/Indonésie, d'importants épisodes pluviométriques au Pérou mais aussi une augmentation des cyclones en Polynésie, devraient également se renforcer dans les décennies à venir.

L'évolution des courants marins aura des conséquences sur les écosystèmes océaniques et sur les **ressources halieutiques** (déplacements des ressources voire réduction du poids moyen des prises).

### 3. Acidification des océans

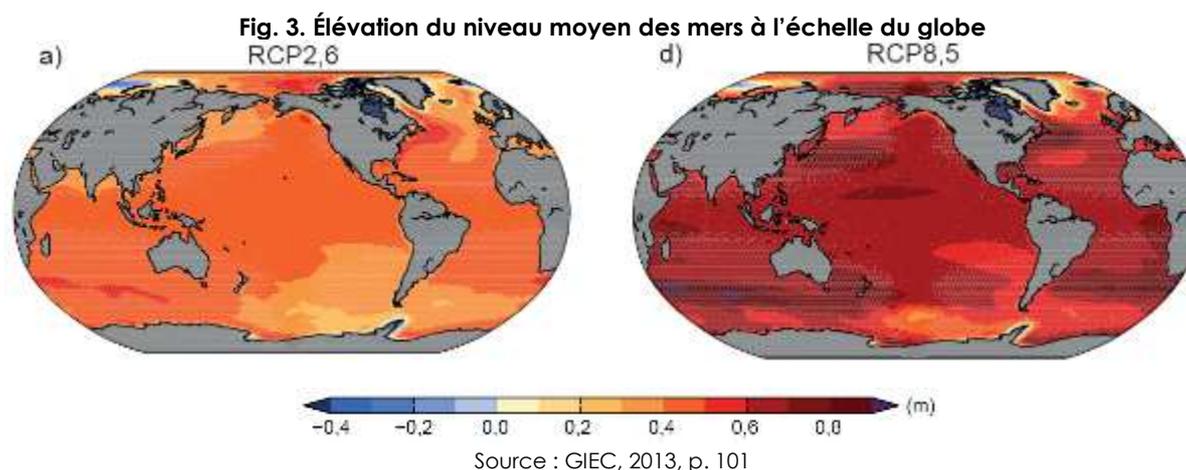
L'acidification des océans découle principalement de l'**accroissement de la teneur en CO2 des eaux des mers et des océans** en raison des émissions anthropiques. Le GIEC estime ainsi que le pH de l'eau de mer a diminué de 0,1 depuis le début de l'ère industrielle. **Les projections de modèles du système Terre indiquent une augmentation de l'acidification des océans pour tous les RCP.**

L'acidification des océans a de nombreux impacts qui commencent seulement à être étudiés. Principalement, elle provoque une disparition des ions carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) qui permettent aux animaux marins et aux végétaux de constituer leurs squelettes, coquilles ou autres structures calcaires. Cela pourrait avoir un impact sur la chaîne alimentaire si les

coraux, qui servent de nourriture à nombre d'espèces, étaient affectés, et sur de multiples secteurs d'activités qui dépendent de la mer (pêche, aquaculture, tourisme).

#### 4. Hausse du niveau des mers

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%). **Entre 1901 et 2010, le niveau moyen des mers à l'échelle du globe s'est élevé de 0,19 m** (GIEC, 2013, p11). Des études récentes (Cazenave et al., 2017) indiquent que le rythme s'est accéléré au cours des dix dernières années.



**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.** Pour l'horizon 2030, nous serions donc sur une élévation moyenne, pour les plages d'une pente de 1%, à un recul du trait de côte compris entre 8 et 17 m (jusqu'à 30m pour le RCP8.5). Cela renforce le **potentiel de submersion marine et soulève des enjeux de déplacements de population variables en fonction des régions** : impacts sur les infrastructures (énergie, transport, commerce), les habitats, les champs, les ressources en eau (salinisation des nappes), etc. A plus long terme, la hausse du niveau des mers laisse entrevoir la possibilité d'une **disparition des petites îles** de l'océan Indien (l'atoll de Bassas da India par exemple) ou Pacifique.

#### III. Évènements climatiques extrêmes

**Les changements climatiques accroîtront à la fois la fréquence et l'intensité des événements climatiques** (cyclones tropicaux, vagues de chaleur, inondations soudaines et sécheresses). 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.

La principale conséquence de ces catastrophes pour la sécurité concerne les **déplacements massifs de populations** qu'elles engendrent. Selon les données de l'Internal Displacement Monitoring Center (IDMC), ce sont chaque année 26,4 millions de personnes qui sont déplacées par les catastrophes naturelles, soit l'équivalent d'une personne par seconde environ. 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. Les impacts en termes de **destruction** (cultures, infrastructures, habitats) seront aussi importants.

#### IV. Cryosphère

**La cryosphère** rassemble les calottes glaciaires, le pergélisol, les banquises, les glaciers de montagne, qui sont à la fois acteurs essentiels du climat, grâce notamment à leur fort albédo de surface mais aussi témoins du réchauffement, compte tenu de leur très grande sensibilité

aux fluctuations climatiques (**la température arctique 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. **Il est probable que l'océan Arctique soit sans glace en été avant 2050**. Dans le scénario RCP8.5, la banquise en Arctique pourrait avoir fondu de 94% en 2100.

**Plus d'un tiers du pergélisol va disparaître d'ici 2100** (81% dans le scénario le plus pessimiste), ce qui **pourrait se traduire par des rejets de GES correspondant à au moins cinq ans d'émissions mondiales de CO<sub>2</sub>**. 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**. Ce dégel engendrera aussi quelques effets positifs (mise en culture de terre), même si ceux-ci seront moindres que les effets négatifs.

**La fonte de la calotte en Arctique pourra également favoriser la compétition régionale** pour le contrôle des ressources (halieutiques, pétrole, gaz, terres rares, minéraux précieux) et des routes maritimes et potentiellement créer des différends sur la délimitation des ZEE.

**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.

## Partie 2 – Projections régionales : tendances et impacts

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

**France métropolitaine :** 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<sup>e</sup> siècle. 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.

Il existe de fortes incertitudes autour des tendances pluviométriques en France métropolitaine aux horizons 2030 et 2050, mais on prévoit une **légère hausse des précipitations moyennes, en été comme en hiver** (Jouzel et al., 2014, p.41).

Sont également prévus une **augmentation significative du nombre de vagues de chaleur** en été, en particulier dans le quart sud-est de la France et une **diminution des extrêmes froids**, sur tout le territoire et en toute saison. Ces variations dans les extrêmes climatiques affecteront les activités agricoles et leurs rendements (ex : vignoble français). Certains risques sanitaires seront exacerbés : canicule, allergies, maladies exotiques liés à la multiplication de leurs vecteurs (Ambroisie à feuille d'armoise et moustique tigre par exemple) (Hamaoui-Laguel et al., 2015 ; Le Treut, 2009).

La **raréfaction des ressources en eau et les risques plus élevés d'incendies menaceront aussi le parc forestier métropolitain**, avec des impacts sur l'emploi (74 000 personnes vivent de la sylviculture dans la région Aquitaine par exemple) (Le Treut, 2009).

Au niveau touristique, la diminution attendue de l'épaisseur du manteau neigeux aura des **conséquences importantes pour les stations de ski**. 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).

**Territoires outre-mer :** ils seront confrontés à des changements et des enjeux particuliers (ONERC, 2012). La modélisation du climat y est toutefois plus délicate à réaliser qu'en

métropole, en raison du manque de fiabilité des données disponibles et de la petitesse des territoires.

Au cours des quarante dernières années, les outre-mer ont connu une augmentation de la température allant de  $+0,65^{\circ}\text{C}$  à  $+1,5^{\circ}\text{C}$ . Pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, les **projections climatiques sont comprises entre  $+0,7$  et  $+3,5^{\circ}\text{C}$  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. 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).

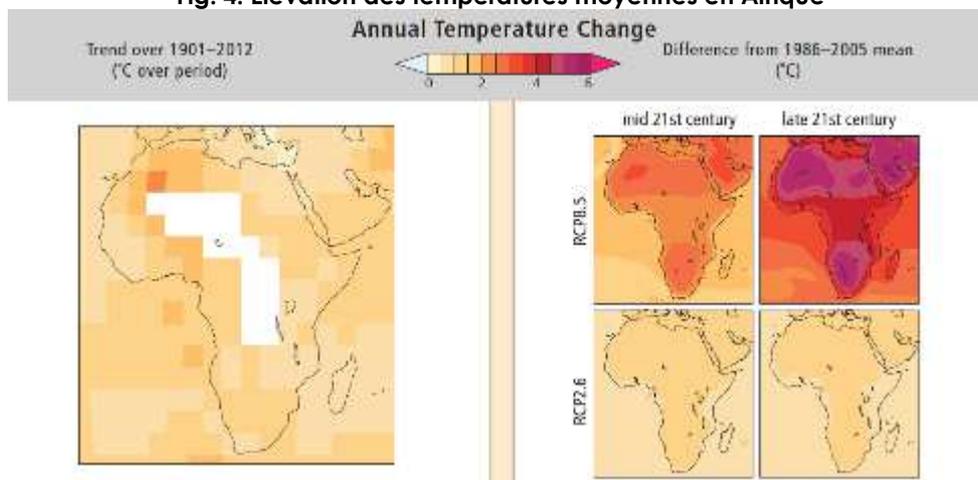
Les changements climatiques pèseront sur les trajectoires de développement des territoires outre-mer, notamment en raison de leur dépendance économique à la mer et au tourisme, et de la concentration démographique sur les littoraux, qui accentuent leur vulnérabilité à l'élévation du niveau de la mer et à l'érosion côtière. **La très riche biodiversité de ces territoires sera notamment impactée** (écosystèmes forestiers et récifs coralliens), ce qui **pourrait réduire leur attractivité touristique**, alors même que celle-ci est essentielle à leur développement économique. L'élévation de la température et de l'humidité favorisera également **la recrudescence de maladies tropicales et l'émergence de crises sanitaires**, avec là encore des conséquences directes sur la fréquentation des outre-mer (cf crise touristique à la Réunion en 2005-2006 à cause du virus chikungunya).

## II. Une Afrique vulnérable

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 et environnementaux.

Les températures de surface ont augmenté de  $0,5^{\circ}\text{C}$  ou plus pendant les 50 à 100 dernières années dans la plupart des régions d'Afrique et il est prévu que les températures augmentent plus rapidement sur ce continent que la moyenne mondiale au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. **Les variations de la température moyenne sont relativement importantes dès 2050 pour le scénario RCP8.5 (2 à  $3^{\circ}\text{C}$ ), particulièrement dans les zones septentrionales et méridionales** (Fig.4). Dans ces régions, les hausses peuvent atteindre 4 à  $6^{\circ}\text{C}$  à la fin du siècle. En revanche, la hausse demeure relativement contenue (inférieure à  $2^{\circ}\text{C}$ ) dans le cas du scénario RCP2.6, à 2050 comme à 2100.

**Fig. 4. Elévation des températures moyennes en Afrique**



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

Les projections concernant les **précipitations** sont plus incertaines et présentent une plus grande dépendance spatiale et saisonnière (Rowell, 2012, Orlowsky et Seneviratne, 2012). **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.** 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 2050.

Il a été démontré que le réchauffement continu des océans Indien et Pacifique a contribué à augmenter la fréquence des sécheresses en Afrique de l'Est au cours des 30 dernières années (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<sup>e</sup> siècle** en raison de la réduction des précipitations et/ou de l'augmentation de l'évapotranspiration (Hoerling et al., 2006; Shongwe et al., 2011).

**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** en raison de la forte dépendance à la pluviométrie, aux variabilités climatiques intra et inter-saisonnières, aux sécheresses récurrentes et aux inondations qui affectent à la fois les cultures et le bétail, mais aussi du fait de la pauvreté persistante qui limite la capacité d'adaptation (Boko et al., 2007), et de la pression démographique. La baisse des rendements agricoles va renforcer la **dépendance aux importations agricoles de l'Afrique du Nord et de l'Afrique sub-saharienne** et de même au Maghreb où celle-ci pourrait atteindre 68 % en 2050 (Le Mouél C., 2015).

La **pêche** est une composante essentielle de la sécurité alimentaire en Afrique. 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<sup>e</sup> rapport du GIEC suggère que le **réchauffement climatique aura un effet global modeste sur la pénurie d'eau en comparaison d'autres facteurs** (population, urbanisation, développement agricole, changement d'affectation des terres).

Le tourisme a un poids important dans le revenu total de la plupart des économies des pays africains riverains de la Méditerranée. **Certaines estimations retiennent qu'un réchauffement de 1°C à l'horizon 2050 pourrait déboucher sur une diminution de 10% de la fréquentation touristique sur la rive Sud** (FEMIP, 2008, p. 25).

Parmi les activités industrielles, la production d'électricité est le secteur le plus impacté par les effets du réchauffement climatique. **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.**

### III. Impacts pour l'Asie-Pacifique

Au cours du siècle dernier, un important réchauffement des températures a été observé dans la plupart des régions d'Asie-Pacifique. 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.**

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).

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 précises par région.

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.

Les **impacts socio-économiques 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.

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 du Sud-Est**, les **inondations côtières** posent le plus grand risque, et pourraient affecter un tiers des habitants de la région 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 **sécurité alimentaire est aussi un enjeu important** au Vietnam, par exemple, où 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.

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, en raison de la densité de population dans des plaines deltaïques exposées aux cyclones et inondations, à l'érosion côtière et riveraine. **Les Maldives, avec une élévation moyenne de 1,5 m, pourraient voir leur existence menacée** en raison de la perte de territoire qui en résultera. Dans le pacifique, **Tuvalu ou Kiribati, ou certains atolls de Polynésie française comme les Tuamotu, pourraient connaître des problèmes de submersion dès 2050**, 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.

**Fig.5. Simulation d'une hausse du niveau de la mer de 6 mètres en Asie**



## Partie 3 – Enseignements et impacts 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 significatif.

### I. Remarques conclusives

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).

**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. **A 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<sup>e</sup> siècle.

**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 liés au réchauffement d'origine anthropique.

### II. Enseignements pour la typologie

**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.

**La difficile distinction des impacts 2030/2050 hypothèque 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 complexe. Toutefois, il est possible de mentionner quelles relations, entre deux facteurs, seraient affaiblies ou renforcées dans le cas du scénario le plus émissif.

**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.

**L'intégration des autres évolutions non climatiques ne semble pas réalisable car la plupart ne peuvent être prédites ni quantifiées.** 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. A contrario, les changements politiques peuvent être beaucoup plus rapides.