

# Du changement climatique et des boules de cristal :

## les futures conséquences du changement climatique en Afrique

JOSHUA W. BUSBY, PhD\*

JAY GULLEDGE, PhD

TODD G. SMITH, JD

KAIBA WHITE

**L**e changement climatique représente un problème d'une nature nouvelle. Jamais auparavant l'espèce humaine n'a eu la capacité de transformer les fonctions nourricières de base de la planète d'une manière aussi fondamentale qu'aujourd'hui. Compte tenu de sa position géographique et de la capacité d'adaptation réduite d'un grand nombre de ses gouvernements et de ses

---

\*Joshua Busby, PhD, est maître de conférence à la LBJ School of Public Affairs, université du Texas à Austin. Il est *Crook Distinguished Fellow* au Robert S. Strauss Center for International Security and Law. Il est l'un des directeurs d'une étude de l'influence du changement climatique sur la stabilité en Afrique (*Climate Change and African Political Stability* – CCAPS) subventionnée par le département de la Défense (7,6 millions de dollars) par l'entremise du Strauss Center. Il a publié de nombreux travaux sur le climat et la sécurité pour, entre autres, Brookings Institution, Council on Foreign Relations, German Marshall Fund et Woodrow Wilson International Center for Scholars. Il sert comme expert extérieur pour la *National Intelligence Assessment on climate change and U.S. national security* en 2008 et ses travaux furent cités dans le rapport 2011 du *Defense Science Board* sur le sujet. Il obtint son doctorat en sciences politiques à Georgetown University en 2004. Avant son arrivée à l'université du Texas, Joshua Busby fut chargé de recherche au Center for Globalization and Governance de la Woodrow Wilson School à Princeton (2005-2006), au Belfer Center for Science and International Affairs de la JFK School à Harvard (2004-2005) et dans le programme d'études de politique étrangère (*Foreign Policy Studies*) à la Brookings Institution (2003-2004).

Jay Gulledge, PhD, est maître de conférence et directeur pour la science et les incidences au Center for Climate and Energy Solutions, chargé de recherches non résident au Center for a New American Security et *Next Generation Fellow of the American Assembly* à Columbia University. Il est écologiste expert diplômé avec deux décennies d'expérience en tant qu'enseignant et chercheur dans le domaine des sciences biologiques et environnementales. Ses recherches examinent les mécanismes biologiques et moteurs sociaux de l'échange de gaz à effet de serre entre les écosystèmes et l'atmosphère. Après 16 ans de recherches universitaires, Jay Gulledge se refocalisa sur l'interface entre science et politiques, l'information des responsables politiques, des chefs d'entreprises, du public et de la presse à propos de la science et des incidences du changement de l'environnement planétaire et des méthodes de gestion des risques qui y sont associées. Après avoir obtenu son doctorat à l'université de l'Alaska à Fairbanks, il fut boursier post-doctoral de la *Life Sciences Research Foundation* à Harvard University puis enseigna à Tulane University et à l'université de Louisville. En 2011, il reçut le prix Charles S. Falkenberg de l'*American Geophysical Union* et fut nommé communicateur de l'année sur le changement climatique décerné par George Mason University.

systèmes économiques, l’Afrique, le continent qui a le moins contribué à la transformation anthropique du climat de la planète, est peut-être la région la plus vulnérable au changement climatique. Toutefois, les projections modélisées des effets physiques du changement climatique en Afrique sont extrêmement aléatoires, en particulier aux échelles spatiales nationale et infranationale auxquelles opèrent les processus politiques. Dans la mesure où l’Afrique dépend presque entièrement d’une agriculture pluviale, l’incertitude quant aux futures grilles de précipitations est particulièrement préoccupante<sup>1</sup>.

Avec cette grande vulnérabilité sociale et l’incertitude climatique physique en toile de fond, les politologues et la communauté politique ont commencé d’explorer les conséquences potentielles en termes de sécurité climatique, décrivant celles-ci comme un « facteur de stress » ou un « multiplicateur de menace » susceptibles de contribuer au conflit et à la faillite de l’état<sup>2</sup>. Dans la mesure où la science politique est pour l’essentiel focalisée sur l’explication du passé plutôt que sur la prédiction de l’avenir, les spécialistes ont examiné les données historiques sur la variabilité des précipitations, les catastrophes naturelles, les variations de températures et les migrations humaines (qui figurent toutes parmi les effets prévus du changement climatique) pour essayer de saisir les liens de causalité entre les phénomènes climatiques et leurs conséquences pour la sécurité.

Une telle approche est enracinée dans la présomption de « stationnarité » (discuté ci-dessous), un concept nécessairement rejeté par les analystes des impacts climatiques comme un guide pour les résultats futurs. Deux approches complémentaires utilisées par cette communauté sont des prévisions climatiques déterministes générées par des modèles physiques complexes et des scénarios « si alors » plausibles de futures conditions climatiques à partir desquels on peut élaborer divers scénarios d’incidences plausibles. Certains politologues ont commencé d’adopter des méthodes comparables d’évaluation des implications générales pour la sécurité climatique mais les incertitudes concernant les projections climatiques sous-jacentes persistent et il y a disparité entre les échelles spatio-temporelles des projections de changement climatique disponibles et les questions que posent les politologues.

Todd G. Smith, JD, est doctorant à la LBJ School of Public Affairs. Il travailla précédemment avec Médecins sans Frontières en Ethiopie et en Chine, ainsi qu’avec Impumelelo Innovations Award Trust en Afrique du Sud, où il fut le principal auteur du dixième volume de la *Series of Best Practice* d’Impumelelo, focalisé sur les programmes environnementaux. Il est titulaire d’un doctorat en droit de Emory University et d’une maîtrise de relations publiques de la LBJ School.

Kaiba L. White est associée de recherche dans le programme *Climate Change and African Political Stability* – CCAPS au Robert S. Strauss Center for International Security and Law. Ses travaux professionnels et universitaires sont sur le changement climatique, l’énergie renouvelable et les systèmes d’information géographique (SIG). Elle est titulaire d’une maîtrise de politique et de planification environnementales qu’elle obtint à Tufts University.

En se focalisant sur l'Afrique, le présent article s'efforce de réconcilier l'approche de l'analyse des incidences climatiques employée par la communauté scientifique et les approches qui apparaissent en science politique afin d'évaluer les futures conséquences en termes de sécurité climatique. Cet article présente des cartes géoréférencées de la vulnérabilité infranationale au climat en Afrique, en utilisant l'exposition passée aux risques liés au climat, la densité de population, la résilience des familles et des collectivités, ainsi que la gouvernance et la violence politique. L'article combine cette approche à des projections du changement climatique futur en utilisant un ensemble de cinq modèles de circulation générale et en suggérant que les cartes de vulnérabilité chronique qui intègrent une variété d'indicateurs fournissent une avance utile pour les chercheurs en relations internationales. Plus précisément, ces cartes sont moins dépendantes des hypothèses imprudentes sur les changements dans les systèmes politiques et économiques, que ce soit la prévision ou l'analyse de scénarios.

La première section récapitule ce que nous savons du changement climatique et la deuxième ce que nous savons de celui-ci en Afrique. La troisième section examine les limites de trois stratégies utilisées par certains politologues pour saisir la signification du futur changement climatique : analogues historiques, prospective et analyse de scénarios. La quatrième section présente notre approche basée sur des cartes géo-référencées de la vulnérabilité infranationale au climat en Afrique. En incorporant des cartes du futur changement climatique provenant de modèles de la circulation générale, nous tirons parti de nos propres travaux antérieurs qui utilisaient l'incidence historique des risques liés au climat et différents indicateurs de densité de la population, de résilience des familles et des collectivités, ainsi que de la gouvernance et de la violence politique.

## Ce que nous savons du changement climatique

Dans l'optique du présent article, trois aspects de notre connaissance du changement sont importants, y compris la notion de stationnarité, l'incertitude des projections climatiques et l'importance des changements d'incidence des phénomènes météorologiques extrêmes.

### *La stationnarité est morte*

Pendant la plus grande partie de l'existence de l'espèce humaine, le climat a déterminé où et comment nous vivions. *L'Homo sapiens* apparut dans le courant du dernier demi million d'années, pendant la première grande glaciation qui s'était emparée de la terre pendant les deux millions d'années précédents<sup>1</sup>. Notre espèce a principalement connu une existence dans le froid, ponctuée de périodes chaudes géologiquement brèves (interglaciaires) tous les 100.000 ans. Jusqu'à il y a quelques milliers d'années, les êtres humains étaient de perpétuels nomades, qui migraient

pour adapter leur vie simple à des variations climatiques spectaculaires qui couvraient des périodes allant des décennies aux millénaires. Vint ensuite « le long été », l'actuelle période interglaciaire chaude que les géologues appellent l'Holocène. Cela fait maintenant 12.000 ans que dure l'Holocène, soit beaucoup plus longtemps que la plupart des périodes interglaciaires précédentes, et les êtres humains ont tiré parti de cette période prolongée de chaleur planétaire<sup>4</sup>.

Au cours de l'Holocène, la température moyenne mondiale a peu varié, et il n'y a aucune preuve que la terre dans son ensemble a été plus chaude qu'aujourd'hui durant cette période<sup>5</sup>. Le niveau de la mer s'éleva rapidement pendant des milliers d'années alors que la dernière glaciation se terminait puis se stabilisa pendant les quatre millénaires qui se terminèrent il y a 3.000 ans, offrant des lieux en bord de mer permettant de construire des ports de pêche et des centres de commerce qui allaient devenir de grandes villes<sup>6</sup>. Les configurations de circulation atmosphérique se stabilisèrent, ce qui créa des greniers là où un jour s'étaient trouvés des glaciers. Après plus de 100.000 années de nomadisme, les êtres humains commencèrent à prendre racine. En quelques millénaires, ils se transformèrent de nomades en industriels modernes.

Nos sociétés modernes sont des forteresses de sécurité face aux éléments et notre stratégie de survie consiste maintenant à résister aux intempéries dans toute leur violence plutôt que battre en retraite vers des lieux plus cléments. Les systèmes modernes que nous avons élaborés pour assurer une sécurité personnelle et économique sont largement basés sur un ou deux siècles d'expérience avec le climat, une période de calme relatif. Nous avons oublié les millénaires de variabilité climatique spectaculaire auxquels survécurent nos ancêtres plus mobiles. Le climat que nous avons connu au siècle dernier est le climat idéal pour notre société moderne précisément parce que nous avons investi dans l'optimisation des systèmes sociaux pour ce climat<sup>3</sup>. Nos grandes villes sont proches du niveau de la mer, notre nourriture est produite dans des exploitations agricoles et nos normes et règlements de construction, systèmes de distribution d'eau et centrales électriques sont tous conçus pour résister aux phénomènes météorologiques extrêmes qui nous sont familiers. Lorsque le niveau de la mer change, que la circulation atmosphérique en fait autant et que les phénomènes météorologiques extrêmes s'intensifient, la société telle qu'elle existe n'est plus optimisée pour le climat. C'est la raison pour laquelle des hydrologues et climatologues ont récemment déclaré dans le magazine *Science* que « la stationnarité est morte<sup>4</sup> ».

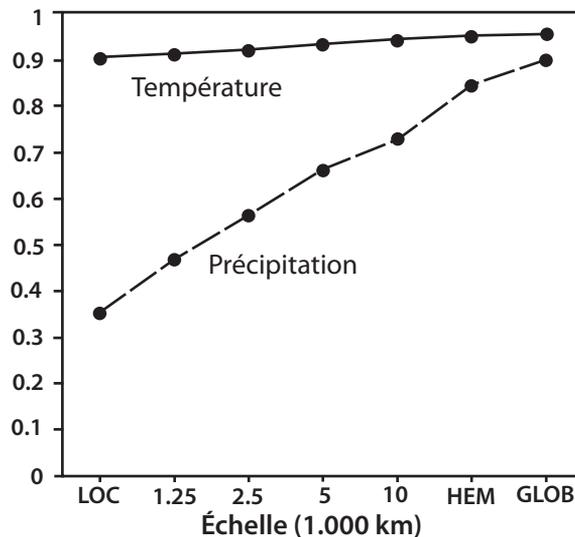
La stationnarité est l'hypothèse selon laquelle les diverses conditions climatiques qui règnent dans une zone donnée existent à l'intérieur d'une enveloppe statique de variabilité définie par les extrêmes du passé. Le changement climatique signifie toutefois que les futures moyennes et extrêmes climatiques seront différentes de celles du passé. Il y a par conséquent de fortes chances pour que le passé soit un médiocre indicateur de la façon probable dont les risques climatiques et des facteurs sociaux agiront les uns sur les autres pour engendrer une instabilité

sociale, un conflit et une faillite de l'état dans l'avenir. Les analystes des incidences du climat sont obligés de rejeter la stationnarité comme guide des futures conséquences.

### *L'incertitude des projections climatiques*

Bien que les modèles de climat planétaire soient efficaces pour reproduire l'ampleur et la distribution spatiale brute du changement observé de température de la planète sur les échelles allant d'infracontinentale à planétaire, ils ne sont pas aussi satisfaisants pour les précipitations et présentent entre eux des divergences qui augmentent au fur et à mesure que les échelles spatiales deviennent plus petites<sup>5</sup> (Fig. 1). Il se pourrait en outre qu'ils sous-estiment systématiquement la façon dont les divers éléments du système climatique réagissent au réchauffement qui s'est produit jusqu'ici<sup>6</sup>. Parmi certains aspects du climat qui changent plus rapidement que ne le prévoient les modèles figurent la montée du niveau des mers, la perte de glace de mer arctique, l'intensification des précipitations, l'expansion vers le pôle des zones tropicales sèches et la perte de glace terrestre, des glaciers alpins aux calottes glacières du Groenland et de l'Antarctique<sup>7</sup>.

Les projections des modèles sont affectées par plusieurs sources d'incertitude qui ont déjà été récapitulées en détail<sup>8</sup>. En premier lieu, le volume de gaz à effet de serre que les hommes émettront à l'avenir dans l'atmosphère n'est pas connu. Des



**Figure 1. Rapport d'évaluation.** (Adapté de MEEHL, Gerard et al., « Global 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*, ed. S. Solomon et al. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2007, p. 806, fig. 10.27, [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter10.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter10.pdf). Notez que LOC = échelle locale ; HEM = échelle hémisphère et GLOB = échelle mondiale.

analystes du climat ont élaboré des scénarios socioéconomiques basés sur différents futurs plausibles mais il s'agit essentiellement de conjectures compliquées quant à ce que l'avenir pourrait réserver et il est impossible de considérer n'importe lequel de ces scénarios comme probable (bien que celui qui voit les choses rester en l'état semble le plus vraisemblable pour les quelques années qui viennent). Le choix de scénarios d'émissions de gaz à effet de serre est vaste et explique en grande partie la dispersion dans les projections modélisées<sup>9</sup>. Les changements affectant d'autres futurs forçages ne sont pas connus non plus. Les quantités de particules obscurcissantes et de méthane présentes dans l'atmosphère, les éruptions volcaniques et les changements d'activité solaire sont imprévisibles. De grandes différences dans les émissions de gaz à effet de serre et autres forçages du climat entre les scénarios socio-économiques comptent pour une grande partie de la propagation dans le modèle projections<sup>13</sup>.

Un autre important facteur responsable de l'incertitude affectant les projections des modèles est l'« incertitude de la réaction », qui se réfère aux divergences entre modèles résultant de « la connaissance limitée de la façon dont le système climatique réagira » à un scénario d'émissions donné<sup>14</sup>. Le quatrième rapport d'évaluation du GIEC (AR4) employa approximativement 20 modèles de climat planétaire dans ses projections du climat à venir. Pour un scénario de forçage climatique donné (c.-à-d. un niveau donné d'émissions de gaz à effet de serre, d'activité solaire, etc.), la dispersion entre modèles parmi les projections de 1990 et 2100 pour tout scénario d'émissions donné est de l'ordre de 2 °C (soit un écart entre les deux modèles produisant les projections les plus élevées et les plus basses). Étant donné que les pays du G-8 se sont mis d'accord sur l'objectif ambitieux de stabiliser le climat à pas plus de 2 °C au-dessus de la température moyenne de la planète à l'ère préindustrielle, une étendue d'incertitude de 2 °C est significative. L'étendue d'incertitude quantifiée pour les projections des modèles est basée simplement sur la dispersion parmi différents modèles climatiques pour différents scénarios d'émissions. Lorsqu'on combine l'incertitude des émissions et celle de réaction, l'étendue d'incertitude totale pour le réchauffement projeté d'ici 2100 est de 1,1–6,4 °C, l'étendue « vraisemblable » étant de 1,8–5,4 °C et « très probablement » supérieur à 1,5 °C<sup>16</sup>. Il est par conséquent impossible d'utiliser ces modèles pour effectuer une véritable analyse des risques dans laquelle, pour tout modèle donné, on fait varier la sensibilité du climat pour voir ce qui arriverait alors à l'une quelconque ou à l'ensemble des variables climatiques.

Une autre forme d'incertitude qui ne figure pas dans les éventails de projections est l'« incertitude structurelle des modèles », qui couvre une série de processus non connus pouvant simplement manquer aux modèles<sup>17</sup>. Il existe, par exemple, des réactions d'amplification (positives) ou d'amortissement (négatives) potentielles qui sont trop mal comprises pour être incorporées aux modèles. Un exemple en est le dégagement potentiel de milliards de tonnes de dioxyde de carbone et de méthane provenant des sols gelés en permanence (pergélisol) dans l'Arctique<sup>18</sup>. Au

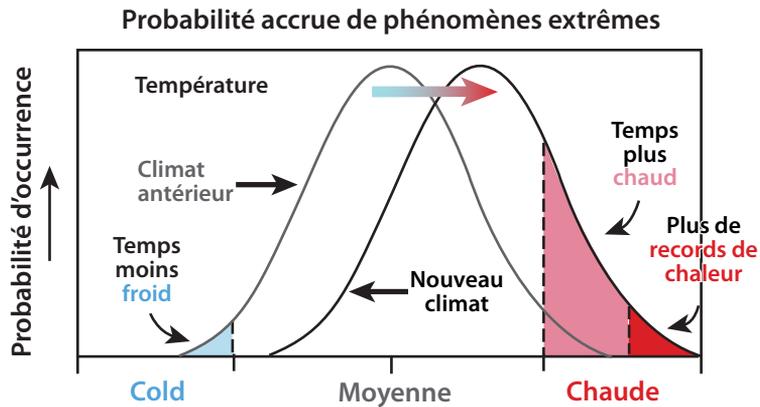
fur et à mesure que la planète se réchauffe, ces sols commencent à dégeler, dégageant des gaz à effet de serre supplémentaires dans l'atmosphère et amplifiant la tendance au réchauffement<sup>19</sup>. Il est actuellement impossible de prédire le volume de carbone qu'ils dégageront et la rapidité avec laquelle ils le feront. Une autre réaction positive qui n'est pas complètement intégrée aux modèles est une réduction potentielle de l'absorption par les plantes et les océans du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère dans un monde plus chaud. Il est également possible que des réactions négatives manquent aux modèles mais le système climatique semble particulièrement doué de réactions positives, ce qui entraîne un risque accru du point de vue de l'évaluation de la sécurité<sup>20</sup>.

***Les phénomènes météorologiques extrêmes, non les conditions climatiques moyennes, causent le plus de dégâts***

Les changements de température moyenne de la planète sont utiles pour les chercheurs qui étudient la physique du système climatique planétaire mais sont pratiquement inutiles pour comprendre les incidences locales du climat. Bien que les changements de conditions climatiques moyennes soient importants, ce sont les phénomènes météorologiques rares et intenses qui causent le plus de dégâts locaux. Une caractéristique générale des projections climatiques est que le réchauffement de la planète conduit les incidences des phénomènes extrêmes locaux à dépasser celles des conditions moyennes locales. Par exemple, l'ampleur des précipitations lors des pluies les plus diluviennes augmente plus que les précipitations annuelles moyennes<sup>21</sup>. Si la distribution de fréquences d'une variable climatique locale (p. ex., plus haute température ou précipitation quotidiennes) était normalement dispersée, une augmentation d'un écart type de la moyenne ferait passer la fréquence d'un phénomène extrême (c.-à-d., un phénomène dans les cinq percentiles supérieurs) qui ne se produit qu'une fois en 40 ans à une fois tous les six ans. En outre, le nouveau phénomène « 1 fois en 40 ans » serait plus intense, comme l'illustre la Figure 2<sup>22</sup>.

Par exemple, des expériences de modélisation menées par Thomas Knutson et Robert Tuleya firent apparaître que les catégories les plus intenses d'ouragans (catégories quatre et cinq) devenaient plus fréquentes, alors que les catégories inférieures devenaient plus rares, dans un monde modélisé avec 750 ppm de CO<sub>2</sub> atmosphérique (Fig. 3)<sup>23</sup>. Knutson résume les conclusions de ces études et d'autres études connexes, comme suit :

- Le réchauffement anthropique d'ici la fin du 21<sup>e</sup> siècle est susceptible de causer des ouragans plus intenses au niveau mondial, en moyenne (de 2 à 11 pour cent selon les projections des modèles pour un scénario du GIEC A1B). Ce changement se traduirait par une augmentation importante de destruction par tempête, en ne supposant aucune réduction de la sévérité de la tempête.
- Il ya de fortes chances que le réchauffement anthropique au cours du siècle prochain conduirait à une augmentation du nombre d'ouragans très intenses



**Figure 2.** (Reproduction de KARL, Thomas R. et al, eds, *Weather and Climate Extremes in a Changing Climate: Regions of Focus; North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands*, , Synthesis and Assessment Product 3.3, rapport de l'*US Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research*, Washington, DC : US Climate Change Science Program, juin 2008, p. 19, <http://downloads.climate-science.gov/sap/sap3-3/sap3-3-final-all.pdf>.)

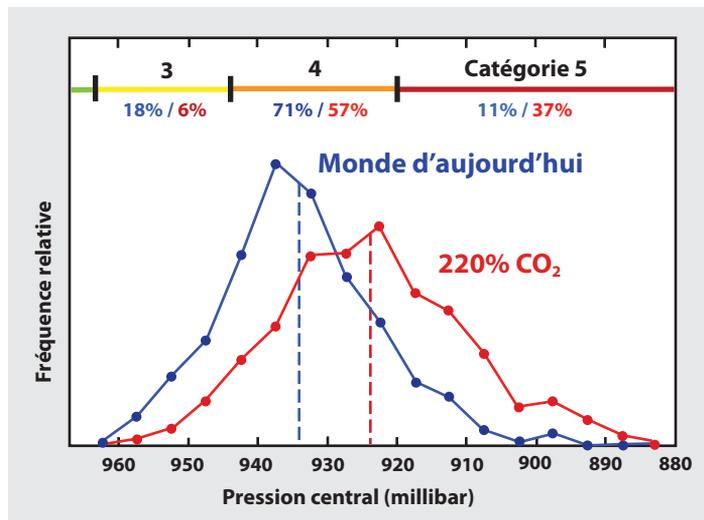
dans certains bassins. Une augmentation qui serait sensiblement plus importante, en termes de pourcentage, que l'augmentation de 2-11 pourcent en moyenne d'intensité des tempêtes. Cette augmentation du nombre de tempêtes intenses est projetée en dépit d'une baisse probable (ou peu de changement) dans le nombre de tempêtes tropicales.

- Le réchauffement anthropique d'ici la fin du 21<sup>e</sup> siècle est susceptible de causer des ouragans avec des taux sensiblement plus élevés de pluie que les ouragans actuels, avec une augmentation projetée d'environ 20 pour cent pour les taux de précipitations en moyenne dans un rayon d'environ 100 km du centre de la tempête<sup>24</sup>.

## Ce que nous savons du changement climatique en Afrique

Les analystes des incidences climatiques sont généralement d'accord que « l'Afrique est susceptible d'être le continent le plus vulnérable au changement climatique<sup>25</sup> ». Des gouvernements et des institutions fragiles, une croissance démographique rapide, un stress hydrique général, la fréquence du paludisme et des maladies diarrhéiques, la dépendance d'une agriculture pluviale, une grande partie de la productivité économique enregistrée dans des secteurs sensibles au climat et le changement climatique qui a déjà eu lieu se combinent pour rendre les sociétés

africaines très vulnérables au changement climatique<sup>26</sup>. Le continent africain s'est réchauffé de 1 °C environ au cours du siècle dernier et il est clair qu'un changement climatique anthropique y est en cours, comme dans la plupart des autres régions du monde. On rencontre toutefois à propos du changement climatique en Afrique plusieurs idées fausses qui rendent plus difficile une compréhension totale du problème :



**Figure 3.** (Adapté de KARL, Thomas R. et al, eds, *Weather and Climate Extremes in a Changing Climate: Regions of Focus; North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands*, Synthesis and Assessment Product 3.3, rapport de l'US Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC: US Climate Change Science Program, juin 2008, p. 107, <http://downloads.climate-science.gov/sap/sap3-3/sap3-3-final-all.pdf>.)

- Comme d'autres régions de la terre aux latitudes équatoriales, l'Afrique s'est moins réchauffée que des latitudes plus septentrionales, y compris l'Europe et l'Arctique. L'Afrique est toutefois sensible aux faibles changements de température et de précipitation parce qu'un grand nombre de ses écosystèmes et sociétés sont adaptés à une variabilité historique du climat relativement étroite<sup>27</sup>.
- L'Afrique connaît de si nombreux problèmes qui ne sont pas causés directement par le changement climatique que ce dernier peut paraître insignifiant. Il a toutefois le potentiel d'exacerber un grand nombre des problèmes plus traditionnels et à haute priorité de l'Afrique, y compris les maladies et l'insécurité hydrique et alimentaire<sup>28</sup>.

- Les moteurs du changement climatique autres que les gaz à effet de serre sont souvent ignorés et pourtant ils sont importants dans une grande partie du monde en voie de développement. Parmi ceux-ci figurent les aérosols produits par la combustion du bois, des déjections animales et du charbon qui transforment l'hydrologie atmosphérique et bloquent les rayons du soleil, modifiant ainsi l'hydrologie terrestre. Du point de vue des incidences climatiques, de leur prévention et de l'adaptation à celles-ci, ces moteurs du changement climatique sont aussi importants que les gaz à effet de serre et contribuent puissamment aux tendances climatiques actuelles en Afrique et en Asie, beaucoup plus qu'en Europe et aux Amériques<sup>29</sup>.
- À la différence d'autres continents dont les économies sont plus développées, il existe très peu de données climatiques pour l'Afrique<sup>30</sup>. En conséquence, certaines tendances climatiques importantes enregistrées en Afrique ont été attribuées exclusivement à un changement régional d'occupation des sols alors qu'il est probable qu'ils sont étroitement liés à des phénomènes météorologiques à grande échelle, tels que des changements des températures de surface océaniques dans l'Atlantique nord ou l'Océan Indien<sup>31</sup>. Dans un autre exemple, la perte rapide de la masse du glacier du Kilimandjaro dans les dernières décennies a souvent été attribuée à la déforestation extensive aux alentours de la montagne<sup>32</sup>. Cependant, la recherche par Thomas Molg et ses collègues ont constaté que la déforestation pourrait représenter moins de 20 pour cent de la perte de glace du Kilimandjaro<sup>33</sup>. Les auteurs soutiennent que les changements dans la dynamique du climat à grande échelle restent la meilleure explication pour la perte du glacier alpin à la fois sur le Kilimandjaro et dans le monde.
- Les données climatiques pour l'Afrique sont particulièrement rares en termes d'incidences observées. Le manque de données peut être interprété par erreur comme un manque d'incidences climatiques mais il convient de veiller à ne pas confondre le manque de détection et un manque d'incidences<sup>34</sup>.

Les principales vulnérabilités de l'Afrique au changement climatique existent dans les domaines de la disponibilité de l'eau, de la sécurité alimentaire (agriculture, pâturages et pêcheries), de la santé, des zones côtières, des écosystèmes naturels et de la biodiversité<sup>35</sup>. Le GIEC a également identifié plusieurs systèmes et secteurs qui sont typiques de l'Afrique mais pas propres à celle-ci comme étant « particulièrement affectés » par le changement climatique : écosystèmes de type méditerranéens, forêts ombrophiles tropicales, mangroves côtières et marais salants, récifs coralliens, ressources en eau dans les régions tropicales sèches, systèmes agricoles des zones de faible altitude, systèmes des plaines côtières et santé de populations à faible capacité d'adaptation. Il n'est donc pas étonnant que le GIEC ait identifié l'Afrique en général et ses deltas très peuplés plus spécialement comme des régions « particulièrement affectées » par le changement climatique<sup>36</sup>.

### *Sécurité alimentaire*

Le GIEC déclare que « L'Afrique subsaharienne est... actuellement très vulnérable à l'insécurité alimentaire... Les conditions de sécheresse, les crues et les invasions de parasites sont certains des facteurs actuels de stress sur la sécurité alimentaire susceptibles d'être influencés par un futur changement climatique<sup>37</sup> ». L'Afrique est déjà aux prises avec l'insécurité alimentaire et dépend beaucoup de l'agriculture pluviale. Bien que la principale région de culture vivrière de l'Afrique soit censée recevoir des précipitations annuelles moyennes accrues par suite du réchauffement de la planète, les extrêmes de température, de précipitation et de sécheresse seront probablement eux aussi plus fréquents d'année en année, entraînant des rendements des cultures plus variables. Des crues et une intensité des orages accrues ainsi que des périodes plus longues et plus intenses de sécheresse sont probables avec de plus fortes pluies tombant lors d'événements plus rares mais plus intenses<sup>38</sup>. De plus hautes températures réduiront probablement à elles seules le rendement des cultures en Afrique, même dans les zones bénéficiant de précipitations suffisantes<sup>39</sup>. Aux latitudes équatoriales, les récoltes poussent déjà près ou au-dessus de leurs températures optima et une poursuite du réchauffement en l'absence de changements apportés pour adapter les systèmes de culture limiterait la pousse des récoltes. De même, le bétail est particulièrement sensible à la chaleur et on s'attend à ce que la production de lait et de viande baisse en cas de poursuite du réchauffement. En l'absence d'une adaptation, la diminution de la production agricole entraînera non seulement un accroissement de la malnutrition mais également une réduction des revenus des agriculteurs et une augmentation des prix alimentaires, ce qui accroît encore la menace de malnutrition<sup>40</sup>.

En 2007, le quatrième rapport d'évaluation du GIEC AR4 déclara que « dans certains pays [africains], les rendements de l'agriculture pluviale pourraient connaître une baisse allant jusqu'à 50 pour cent. On prévoit que la production agricole, y compris l'accès aux produits alimentaires, sera gravement compromise dans de nombreux pays africains<sup>41</sup> ». Bien que cette conclusion n'ait été étayée à l'époque par aucun élément solide, plusieurs études récentes évaluées par les pairs apportent un appui rigoureux à la notion générale d'un risque considérable que fait courir le changement climatique aux rendements des cultures en Afrique<sup>42</sup>.

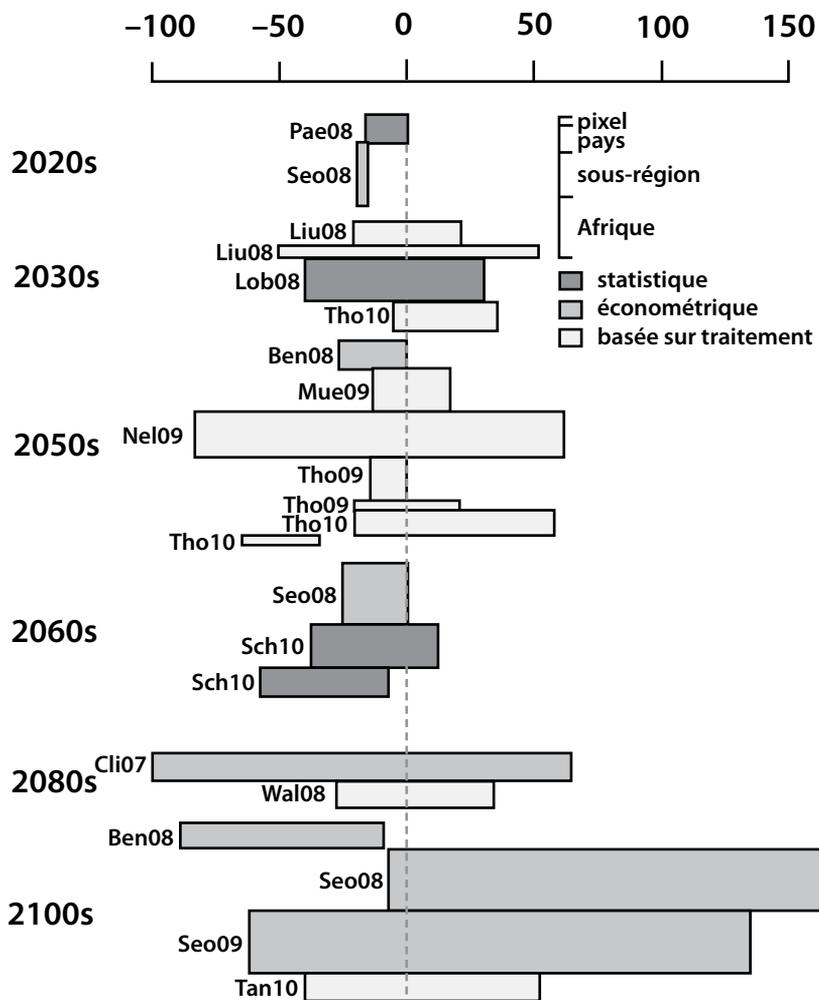
L'étude de l'Union européenne sur les coûts liés au climat utilisa les projections climatiques du GIEC pour faire estimer par le modèle *ClimateCrop* les changements des rendements des cultures de maïs, de blé et de riz au niveau des pays en 2080<sup>43</sup>. Dans un scénario de changement climatique « avec les choses restant en l'état », dans lequel les concentrations de gaz à effet de serre montent à 712 ppm de CO<sub>2</sub> en 2080, les résultats produits par le modèle firent apparaître des diminutions nettes de 17 à 42 pour cent du rendement des cultures dans 30 pays africains. Les baisses les plus importantes étaient en Afrique du Nord, au Sahel, dans la corne de l'Afrique et en Afrique australe. Pour ces 30 pays, l'optimisation

des approvisionnements en eau et en engrais (c.-à-d. l'adaptation) réduisait la baisse des rendements moyens de 24 à 7 pour cent. En l'absence d'adaptation, une concentration plus faible de gaz à effets de serre (498 ppm de CO<sub>2</sub> en 2080) réduisait la perte moyenne de 24 à 10 pour cent. La combinaison de l'adaptation et de la plus faible concentration de gaz à effet de serre réduisait la moyenne à deux pour cent.

La menace que le changement climatique fait peser sur l'agriculture africaine n'est pas relégué à l'avenir lointain. Les saisons de croissance se sont déjà raccourcies dans le Sahel, abaissant les rendements des cultures<sup>44</sup>. Une récente étude climatologique conclut que « le réchauffement anthropique de l'Océan Indien à la fin du 20<sup>e</sup> siècle a probablement déjà produit un changement climatique socialement dangereux en créant la sécheresse et un effondrement de l'ordre social dans certaines des économies agro-alimentaires les plus fragiles » de l'Afrique orientale et australe. D'après le principal auteur de l'étude, Chris Funk, « la baisse des précipitations, combinée à des niveaux extraordinaires de pauvreté et de vulnérabilité des populations rurales, entraîne la malnutrition, le rachitisme infantile et l'effondrement de l'ordre social, gênant le progrès vers les objectifs de développement pour le millénaire (*Millennium Development Goals*)<sup>45</sup> ».

D'autres études confirment les risques considérables que le changement climatique fait peser sur la sécurité alimentaire de l'Afrique au début de ce siècle. Les projections disponibles des risques que le changement climatique fait peser sur l'agriculture africaine dépendent relativement peu de l'échéance, avec des changements possibles de productivité agricole de plus ou moins 50 pour cent d'ici la décennie 2030 (Fig. 4). À cause de cette sensibilité élevée et de l'étendue de l'incertitude, Christoph Müller et autres suggèrent qu'« Il est préférable, pour conseiller des politiques, de se placer dans une perspective de gestion des risques, en étudiant spécialement la probabilité de scénarios d'incidences élevées<sup>46</sup> ». Une attention à l'étendue totale de l'incertitude est essentielle si nous voulons comprendre le degré de gravité du risque d'insécurité alimentaire que le changement climatique à court terme fait peser sur les sociétés africaines. Thomas Hertel, Marshall Burke et David Lobell constatèrent des incidences du changement climatique sur les prix alimentaires et la pauvreté d'ici 2030 bien supérieures à ce qu'avaient fait apparaître des études antérieures focalisées uniquement sur les tendances centrales ou des scénarios d'incidences modérées<sup>47</sup>.

Une grande partie des Africains dépendent du poisson comme principale source de protéines et les pêcheries représentent une source majeure de revenus pour les collectivités côtières et celles qui vivent autour des lacs<sup>48</sup>. Les prises sont déjà en baisse à la suite de la surpêche, de la pollution et d'autres stress qui dégradent les milieux aquatiques. Par conséquent, il est probable que les légers changements de climat qui transforment les écosystèmes aquatiques auront des effets nuisibles sur les réserves de protéines et le revenu en Afrique. On a d'ailleurs déjà établi un lien entre le changement climatique et une baisse de la productivité



**Figure 4.** (Reproduit de MÜLLER, Christoph et al., « Climate Change Risks for African Agriculture », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 28 February 2011, p.2, [www.pnas.org/content/early/2011/02/23/1015078108.full.pdf](http://www.pnas.org/content/early/2011/02/23/1015078108.full.pdf).) Remarque : la largeur de chaque barre est proportionnelle à l'échelle spatiale couverte par chaque projection, et les couleurs représentent différentes méthodes d'évaluation, comme indiqué dans la légende. Voir MÜLLER et al. pour les études de sources notées dans la figure.

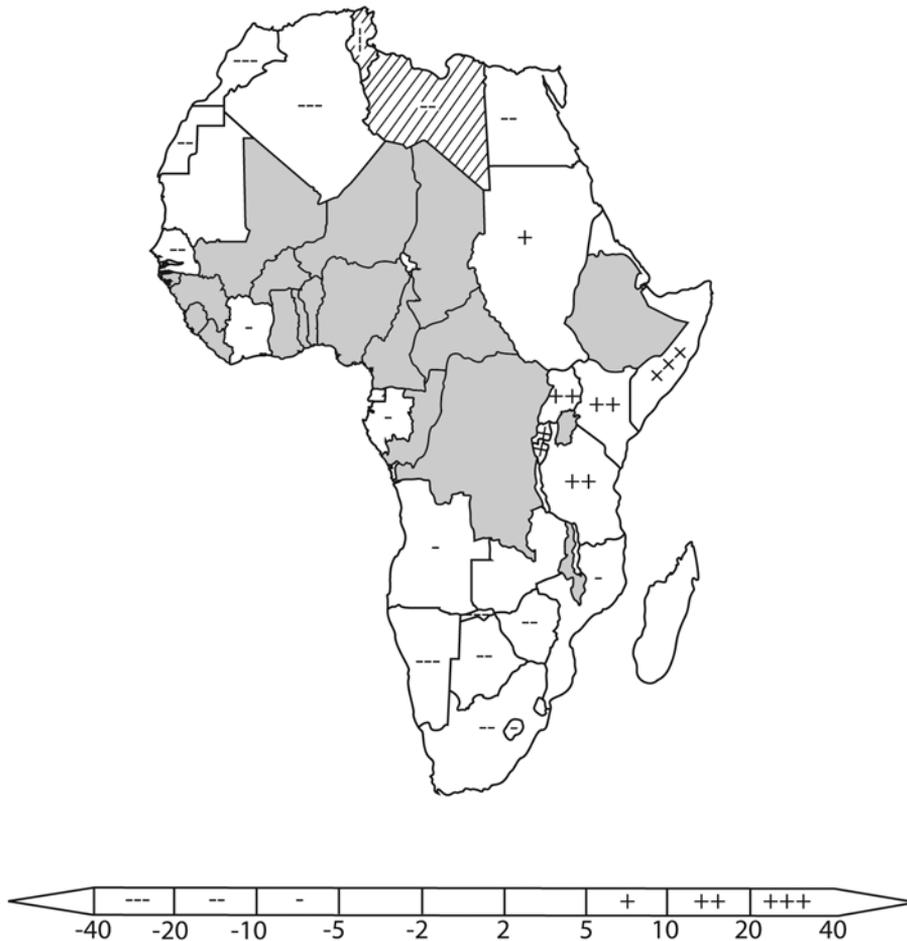
écologique du Lac Tanganyika attestée par de nombreuses sources<sup>49</sup>. Par conséquent, une fois encore, les effets du changement climatique ne sont pas relégués à un avenir lointain.

### *Autres incidences*

**Disponibilité de l'eau et crues.** D'ici 2050, l'Afrique du Nord, l'Afrique australe et certaines parties de l'Afrique occidentale connaîtront probablement des baisses modérées à très fortes du débit d'eau<sup>50</sup> (Fig. 5). La portion de l'Afrique australe qui est affectée par l'aridité pourrait passer de 9 pour cent aujourd'hui à 29 pour cent d'ici 2050. On s'attend à une baisse du débit du Nil, qui fournit l'eau destinée à l'irrigation de pratiquement toutes les récoltes de l'Égypte et de ses voisins. Il convient de ne pas oublier que 2050 est un jalon arbitraire et non l'année de début des problèmes. L'irrigation des récoltes est perturbée lorsque le débit du Nil diminue de 20 pour cent, une situation qui a 50 pour cent de chances de devenir permanente d'ici 2020<sup>51</sup>. Le GIEC prévoit que 75 à 250 millions d'Africains seront exposés au stress hydrique d'ici 2020<sup>52</sup>.

L'Afrique orientale pourrait connaître des augmentations modérées à très fortes du débit d'eau d'ici 2050 (Fig. 5). Des précipitations accrues pourraient conduire à des crues plus nombreuses pendant la saison des pluies sans amélioration de la disponibilité de l'eau pendant la saison sèche parce que les précipitations accrues sont censées se produire pendant la mousson. Des phénomènes tels que les graves crues au Mozambique en 2000 pourraient devenir plus courants. Les glaciers tropicaux de l'Est africain reculent rapidement et sont censés avoir disparu d'ici le milieu du siècle<sup>53</sup>. Ces glaciers existent depuis le dernier âge glaciaire et la civilisation de l'Est africain s'est développée autour des ressources en eau qu'ils représentent. La perte de ces ressources au cours des prochaines décennies aura de sérieuses implications pour la viabilité des sociétés de l'Est africain. L'accroissement prévu des précipitations dans cette région ne sera utile que si des mesures coûteuses d'adaptation sont prises pour capter et mettre en réserve les pluies tombées pendant la mousson.

**Santé.** On prévoit que les maladies sensibles aux effets du climat réagiront au changement climatique et il se peut qu'elles le fassent déjà. Le paludisme, le choléra et la méningite, maladies majeures en Afrique, sont toutes sensibles aux effets du climat, et représentent les causes principales de la mortalité provoquée par le changement climatique en 2000 d'après les estimations de l'Organisation mondiale de la santé. D'après ces estimations, l'Afrique a déjà le taux le plus élevé de mortalité provoquée par le changement climatique dans le monde, l'Afrique subsaharienne étant la plus touchée<sup>54</sup>. D'ici 2030, le nombre de cas de maladies diarrhéiques pourrait augmenter de dix pour cent de plus par suite du changement climatique<sup>55</sup>. Il y a quelques raisons de penser que l'on assiste actuellement dans l'Est africain à une résurgence du paludisme liée au changement climatique, bien qu'il soit difficile de séparer les divers moteurs de la maladie à cause de la rareté des données<sup>56</sup>.



**Figure 5.** (Mise à jour à partir de MILLY, P. C. D. et al., « Stationarity Is Dead: Whither Water Management ? », *Science* 319, no. 5863, 1e février 2008, p. 574). Un signe + ou - indique les zones où plus des deux tiers des modèles d'accord sur la direction du changement ; le gris indique que moins de deux tiers s'accordent ; les rayures indiquent que plus des neuf dixièmes des modèles s'accordent. Le signe - indique des baisses, et le signe + indique des augmentations.

**Incidences côtières.** Les deltas à forte densité de population et vocation agricole et les mégapoles côtières sont nombreux en Afrique. Il est probable que la hausse du niveau des mers, l'intrusion d'eau salée dans les nappes phréatiques et l'intensification des tempêtes côtières accompagnées d'ondes plus fortes auront des incidences sur les régions côtières de l'Afrique dans les décennies qui viennent. Il est presque certain que la hausse du niveau des mers est considérablement sous-estimée par les modèles actuels<sup>57</sup>. Les spécialistes considèrent généralement comme plausible une hausse du niveau des mers d'un à deux mètres d'ici la fin de

ce siècle<sup>58</sup>. Toutefois, les estimations des dégâts et des vies perdues à la suite de la hausse du niveau des mers et des ondes de tempête plus hautes qui y sont associées utilisent les estimations modélisées les plus basses de hausse du niveau des mers, influençant systématiquement ces estimations à la baisse. L'une de ces estimations place 0,5 à 17 pour cent de la population totale des pays côtiers dans la zone de danger pour les dommages résultant de la hausse du niveau des mers, les dommages économiques atteignant de 6 à 54 pour cent du PIB d'ici la fin du 21<sup>e</sup> siècle<sup>59</sup>. D'ici 2050, 17 à 30 pour cent des rizières de Guinée seraient perdues par suite de crues permanentes, si on se base sur les projections actuelles de hausse du niveau des mers et sur l'absence d'adaptation. Compte tenu de la forte probabilité d'une sous-estimation systématique de la hausse du niveau des mers, il semble raisonnable de préférer la limite supérieure de ces estimations<sup>60</sup>.

### **Analogues, prospective et scénarios de sécurité climatique**

En partant de ces conséquences physiques diverses du changement climatique, qui ne s'expliquent toujours que partiellement, les chercheurs se sont efforcés de comprendre ce que seront les effets probables sur la santé et les moyens d'existence. Des spécialistes en sciences sociales et analystes des systèmes ont essayé d'évaluer les conséquences potentielles du changement climatique pour la sécurité en se concentrant principalement sur la vraisemblance d'un conflit armé. Ils se sont efforcés de saisir la dimension de sécurité via différentes stratégies, y compris les analogues historiques, la prospective et l'analyse de scénarios. Alors que l'utilisation d'analogues historiques est très clairement adaptée à la recherche empirique traditionnelle dans la discipline de la science politique, elle peut avoir une utilité limitée pour examiner les futures conséquences du changement climatique. Les modèles prévisionnels et l'analyse des scénarios ont moins la cote dans la discipline mais sont séduisants en ce qu'ils abordent directement les limites de la recherche à base historique portant sur les nouveaux problèmes. Toutefois, comme le note cette section, ils connaissent eux aussi leurs problèmes.

#### ***Analogues***

Les politologues, utilisant surtout des études quantitatives, sont partis des effets anticipés du changement climatique (tels que la sécheresse, la variabilité des précipitations, les catastrophes naturelles, les changements de température et la migration) et ont cherché des analogues historiques afin d'identifier des corrélations entre ces témoins des climats et le déclenchement d'un conflit violent, les spécialistes se tournant de plus en plus vers d'autres formes de conflit social telles qu'émeutes et grèves. Ils ont également exploré différents mécanismes causatifs au moyen desquels les effets climatiques pourraient avoir des conséquences pour la sécurité, ainsi que les critères empiriques sur lesquels ils s'appuient. Parmi les

questions importantes posées par ces spécialistes figure celle de savoir si la pénurie, l'abondance ou la variabilité des ressources disponibles sont des moteurs de conflit, ainsi que celle de savoir quel rôle les phénomènes météorologiques extrêmes et les migrations environnementales pourraient jouer dans le déclenchement de conflits<sup>61</sup>.

Compte tenu de la tendance dans la communauté politique et de mobilisation à établir des liens entre le changement climatique et les conséquences pour la sécurité au moyen de conjectures et d'anecdotes, souvent considérée comme un déterminisme environnemental, la rigueur de ces études quantitatives est importante<sup>62</sup>. Toutefois, la plupart d'entre elles ne peuvent faire beaucoup plus que se servir du passé et du présent comme guide de l'avenir. Bien qu'optimistes quant au potentiel pour une recherche plus rigoureuse portant sur les liens causatifs entre climat et sécurité, Ragnhild Nördas et Nils Peter Gleditsch conclurent « Malheureusement, la précision dans la prédiction des conflits reste au point où se trouvait la météorologie il y a des décennies : la meilleure prédiction du temps qu'il fera demain est celui qu'il faisait aujourd'hui<sup>63</sup> ». Ceci dit, une exposition passée à des sécheresses, crues et autres risques liés au climat peut ne pas être un bon guide des futures conséquences climatiques, comme l'a indiqué plus haut notre examen de la non stationnarité<sup>64</sup>. Comme le notent Halvard Buhaug, Ole Theisen et Gleditsch dans leur très utile récapitulatif de l'état de la documentation empirique sur le climat et le conflit : « Dans la mesure où un rapide changement climatique reste principalement une caractéristique de l'avenir, il se peut que la recherche empirique sur les associations historiques (ou leur absence) ait une valeur limitée<sup>65</sup> ».

Alors que les effets du changement climatique ont des antécédents historiques, l'incertitude entourant les effets physiques du changement climatique, particulièrement en Afrique, rend difficile l'extrapolation des effets sociopolitiques et des conséquences pour la sécurité qui présentent de l'intérêt, y compris entre autres, au conflit. Ces difficultés n'ont pas empêché un certain nombre de spécialistes d'essayer, certains se montrant plus convaincants que d'autres.

### *Prospective/projections*

La discipline de la science politique se concentre largement sur l'explication d'événements du passé. La prédiction et la projection ont été employées plus rarement, bien qu'il y en ait quelques exemples marquants. Les modèles électoraux des élections présidentielles américaines, par exemple, ont recherché une capacité de prédiction à l'aide de quelques variables clés<sup>66</sup>. Bruce Bueno de Mesquita est célèbre pour les prédictions de développements politiques internationaux qu'il fait à l'aide de modèles quelque peu propriétaires à l'intention de clients privés<sup>67</sup>.

Dans le domaine de la sécurité climatique, deux études se sont efforcées de produire des projections plus précises des implications futures basées sur des analogues historiques. Nous regroupons ces études sous l'étiquette *Prospective/projections*, en reconnaissant que l'analyse de scénarios, examinée plus loin, est égale-

ment placée parfois sous l'étiquette Prospective<sup>68</sup>. Ici, nous nous référons à la prospective dans un sens plus étroit pour englober des modèles quantitatifs de l'avenir. Il existe au moins deux exemples notables de tels travaux dans le domaine de la sécurité climatique.

Le premier est l'article publié en 2007 par Cullen Hendrix et Sarah Glaser dans le numéro spécial de *Political Geography*. Comme leurs confrères, ils utilisent des analogues historiques, précipitations totales et changement par rapport à l'année précédente, pour déterminer si oui ou non ces variables ont été historiquement en corrélation avec le déclenchement d'un conflit violent en Afrique subsaharienne. L'implication est que, si le changement climatique conduit à des changements de précipitations totales et/ou de variabilité des précipitations (et ceux-ci se sont révélés en corrélation avec le déclenchement d'un conflit violent), le changement climatique rendrait un conflit violent plus vraisemblable. Cependant, ils n'ont trouvé qu'une corroboration statistique pour la corrélation de leur variable de « déclenchement » de changement de précipitations avec le déclenchement d'un conflit pendant la période 1981-2002, plutôt que pour leur variable de « tendance » des précipitations totales. Hendrix et Glaser ajoutèrent un développement intéressant en utilisant des modèles de climat pour vérifier la direction de la variabilité interannuelle des précipitations dans l'avenir ainsi que les tendances projetées pour les précipitations à long terme jusqu'à la fin du 21<sup>e</sup> siècle. Reconnaisant que les résultats de leurs recherches pourraient refléter la concrétisation particulière de la variabilité des précipitations, ils concluent : « Notre incapacité de percevoir des tendances générales significatives en termes de points critiques de précipitations ne suggère pas pour l'Afrique subsaharienne une recrudescence des émeutes due à variabilité interannuelle des précipitations telle que nous l'avons mesurée<sup>69</sup> ». Ils s'efforçaient simplement dans leur article de comprendre la direction du futur changement ; contrairement aux autres approches examinées plus loin, ils répugnaient à estimer l'ampleur des effets sur l'incidence future des conflits armés.

Comme nous l'examinons dans la section évaluations de la vulnérabilité et de l'Afrique, ci-dessous, cette non conclusion peut résulter de leur utilisation de données de précipitations annuelles plutôt que saisonnières ainsi que des particularités du modèle de circulation générale élaboré par le Centre national de recherches sur l'atmosphère qu'ils emploient, qui est peut-être moins fiable pour l'Afrique et dont la résolution spatiale propre à une région n'est pas aussi bonne qu'on le souhaiterait. Leurs travaux attirent l'attention sur le fait qu'il est difficile d'extrapoler à partir de modèles physiques incertains de changement climatique les futures conséquences de celui-ci pour la sécurité, même au sens général d'un indicateur de hausse ou de baisse quant à l'incidence conflictuelle. Dans ce cas, la prudence de leur opinion selon laquelle ils ne pouvaient identifier des constantes très nettes de variabilité interannuelle des précipitations reflétait une appréciation des incertitudes affectant les modèles physiques de changement climatique ainsi que les modèles de conflit.

D'autres spécialistes ont produit des projections quantitatives plus précises de l'incidence conflictuelle du changement climatique. Par exemple, dans leurs travaux économétriques sur l'incidence météorologique et conflictuelle et le déclenchement de conflits en Afrique subsaharienne, Marshall Burke et autres identifient une corrélation entre les deux au cours de la période 1981-2002. Utilisant des projections de futures hausses de température, les auteurs calculent que le sous-continent connaîtrait une augmentation de 54 pour cent des conflits armés d'ici 2030 selon les spécifications de leur modèle. Ils suggèrent ensuite que, si le taux de mortalité des futures guerres civiles est le même que celui des guerres du même type dans l'histoire, la mortalité cumulée propre au conflit dans ces futures guerres civiles seraient de 393.000 morts au combat d'ici 2030. Ce faisant, ils émettent un certain nombre d'hypothèses quant à ce que seraient les états futurs du monde en termes d'indicateurs non climatiques connus pour contribuer aux conflits, tels que le type de régime et la dynamique économique, à savoir que la croissance économique par habitant et la démocratisation vont de pair comme ce fut le cas durant la période 1981-2002<sup>70</sup>. Il se peut que les taux de mortalité futurs des guerres civiles s'écartent de façon spectaculaire des taux historiques, et que la démocratisation et la croissance économique n'aillent pas autant de pair que les auteurs le prévoient.

Alors que la plausibilité de ces hypothèses peut être mise en doute, certains spécialistes ont émis d'autres critiques de l'approche relatives au raisonnement, aux enseignements de l'histoire et à la corrélation entre changement de température et déclenchement d'une guerre civile. Comme l'a soutenu Buhaug, les conclusions pourraient ne pas résister à des spécifications différentes. L'allongement de la période couverte par le modèle au-delà de celle de l'étude produirait probablement des résultats différents, dans la mesure où le nombre de conflits en Afrique diminue après 1999 (avec une légère augmentation temporaire après 2005). De plus, le modèle inclut peu des contrôles politiques et économiques qu'emploie généralement le domaine plus large du conflit armé tels que l'inflation, les mesures de marginalisation politique ethnique, un terrain accidenté et l'éloignement de la capitale, qui sont des facteurs susceptibles de confirmer ou réfuter la façon dont les auteurs expliquent le lien de causalité entre changement climatique et conflit. Qui plus est, alors que les auteurs attribuent le lien aux effets de l'agriculture sur le bien-être économique, la chaîne de causalité entre l'augmentation de la température, la baisse des rendements agricoles, le déclin économique et le déclenchement des conflits reste floue<sup>71</sup>. Une défense plus robuste du raisonnement examinerait certains cas de pays dans l'ensemble de données indiquant que la chaîne implicite de causalité reflète en fait une série de phénomènes qui hâtèrent un conflit<sup>72</sup>. Alors que les modèles de prédiction de conséquences de sécurité restent un objectif ambitieux, les incertitudes des modèles de climat, combinées à la nature mal comprise des conséquences pour la sécurité qui pourraient en provenir, rendent les projections de Burke et autres difficiles à défendre.

## Scénarios

Bien que regroupés parfois sous la rubrique plus générale de prospective, l'analyse de scénarios offre une autre approche d'anticipation des conséquences futures pour la sécurité du changement de climat. Les scénarios sont des descriptions d'une future séquence plausible de phénomènes basées sur un ensemble d'hypothèses. Ils sont généralement employés pour obliger, dans une entreprise ou une administration, les décideurs à se préparer à des surprises imprévues qui s'écartent des tendances actuelles. Ils sont considérés particulièrement utiles pour s'attaquer à des problèmes caractérisés par une grande incertitude. Contrairement à la prospective et aux projections, l'analyse des scénarios est de nature moins quantitative et repose plus sur l'expertise d'évaluation comparative de la plausibilité des possibles états futurs du monde. Ayant reçu un texte descriptif et un ensemble d'hypothèses, les participants à un exercice de planification de scénario se voient généralement interrogés sur les influences qui les ont conduits à ce point, sur le degré de préparation de leur organisme pour faire face à une telle situation, ainsi que sur les modifications de la structure de l'organisme et du contexte plus large d'une politique qui pourraient mettre l'organisme dans une position plus solide pour affronter ce problème et d'autres. Dans d'autres situations, les participants créent eux-mêmes des scénarios. Dans une situation de groupes, différents groupes, souvent au nombre de quatre, se voient fréquemment donner des variantes d'un même scénario, avec des modifications apportées aux hypothèses, ce qui conduit à des séquences disparates d'événements. Il est demandé aux participants de mettre de côté leur incrédulité quant à la nature des hypothèses et de réagir simplement au scénario qu'ils ont devant eux, comme s'il avait pu se dérouler<sup>73</sup>.

Les scénarios sont moins bien acceptés en science politique que dans le monde des affaires. Ils sont omniprésents en climatologie, où les projections de futur changement climatique sont basées sur différentes hypothèses de croissance économique et d'émissions de gaz à effet de serre au cours du 21<sup>e</sup> siècle. Les scénarios ont une certaine application limitée dans le domaine de la sécurité climatique, particulièrement dans le monde politique. Peter Schwartz et Doug Randall, dans un article très souvent cité préparé à la demande du service d'évaluation du département de la Défense, essayèrent d'évaluer les conséquences pour la sécurité nationale des États-Unis en cas de changement climatique brutal. Il s'agit d'une catégorie de phénomènes que les chercheurs considèrent comme des événements à basse probabilité qui pourraient se produire pour interrompre ou ralentir la circulation du Gulf Stream et déclencher un nouvel âge glaciaire où les températures en Europe auraient le plus de chances de baisser brusquement<sup>74</sup>.

Jay Gulledge, l'un des auteurs de cet article, ont participé à un nouvel effort par le *Center for a New American Security* et le *Center for Strategic and International Studies* qui a examiné trois scénarios pour l'avenir afin d'évaluer les conséquences sur la sécurité du changement climatique attendu ou grave en 2040 ou un chan-

gement climatique catastrophique d'ici à 2100. Dans cette étude, « plausibilité » plutôt que « probabilité » rend le scénario fiable : « Compte tenu de l'incertitude à calculer le changement climatique, et le fait que les estimations existantes peuvent être biaisées en ce moment, la plausibilité est une mesure importante des impacts futurs. Sous cet aspect de la plausibilité, les changements éventuels que le GIEC ou d'autres évaluations peuvent être caractérisées comme improbable sont considérées comme plausibles ici si une grande incertitude persiste quant à leur probabilité<sup>75</sup> ». Une troisième application au domaine de la sécurité climatique est offerte par le projet 2020 du *National Intelligence Council*, qui spécifia quatre états futurs du monde, dont plusieurs ont un rapport avec le changement climatique et les systèmes énergétiques<sup>76</sup>.

L'analyse de scénario apporte un important correctif à la dépendance excessive des états contemporains du monde pour l'information et le conseil à propos de l'avenir. Une identification calculée des surprises potentielles et un examen en détail des conséquences de phénomènes improbables peuvent aider les décideurs à se préparer à des événements rares et improbables. Toutefois, comme George Wright et Paul Goodwin le font remarquer, un scénario peut en fait ne pas forcer les gens à abandonner leurs façons de penser actuelles et ne servir qu'à les renforcer. Les scénarios peuvent en outre fixer l'esprit des participants sur ces situations pour les faire apparaître plus probables qu'elles ne le sont en réalité<sup>77</sup>. Qui plus est, comme l'a fait remarquer Josh Busby, les scénarios qui reposent sur les effets les plus incertains et les moins probables du changement climatique pour essayer de prouver des relations avec la sécurité risquent d'être moins utiles que les études qui utilisent des estimations prudentes des conséquences les plus probables du changement climatique. Si on peut identifier des relations évidentes entre le changement climatique et les conséquences pour la sécurité en recourant à des hypothèses restrictives où les critiques persistent à mettre en doute la base scientifique de la définition du problème, la question devient alors de savoir s'il vaut mieux risquer d'exagérer ou de minimiser l'importance d'un problème<sup>78</sup>. En termes d'évaluation des conséquences probables du changement climatique pour la sécurité, il est difficile de savoir comment estimer la qualité de descriptifs contradictoires. Ayant participé à un certain nombre d'exercices sur scénarios, nous avons conclu que les participants ont souvent du mal à mettre de côté leur incrédulité et passent la plupart du temps à douter qu'il sera possible d'arriver à l'état du monde tel qu'il est décrit dans le scénario.

### Les évaluations de vulnérabilité et l'Afrique

Les évaluations de vulnérabilité représentent une autre méthode de détermination des conséquences potentielles du changement climatique pour la sécurité, qui permet aux analystes d'établir une cartographie des sources de vulnérabilité. La vulnérabilité est fréquemment assimilée à la susceptibilité aux pertes. Elle est

définie dans la quatrième évaluation du AR4 du GIEC comme « le degré auquel un système est sensible et incapable de faire face aux effets négatifs du changement climatique, y compris la variabilité et les extrêmes climatiques. La vulnérabilité est fonction du caractère, de l'ampleur et de la vitesse du changement climatique, ainsi que des variations auxquelles un système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation<sup>79</sup> ». Une telle définition masque les importants déterminants sociopolitiques de la vulnérabilité qui peuvent considérablement exacerber les conséquences pour les populations de phénomènes météorologiques et événements sismiques extrêmes, tels que l'ouragan Katrina ou le tremblement de terre haïtien en 2010. Nous examinons dans cette section la logique des évaluations de vulnérabilité et décrivons brièvement nos méthodes avant de passer à l'examen des résultats.

### *La motivation des évaluations de vulnérabilité*

Dans notre approche, nous saisissons un instantané statique de la vulnérabilité à long terme, nous rapprochant de ce que Jericho Burg a appelé la « vulnérabilité chronique », plutôt que des processus dynamiques naissants<sup>80</sup>. D'autres acteurs, tels que le système d'alerte rapide aux risques de famine, le programme alimentaire mondial et les Nations Unies, mènent des efforts parallèles visant à documenter la vulnérabilité naissante à la sécheresse et aux famines et à en établir la cartographie. S'appuyant sur des données en temps quasi réel de précipitations, d'approvisionnements alimentaires, de rendements des récoltes, de prix du marché et sur d'autres indicateurs, ces diagnostics de vulnérabilité ont une vie utile plus courte ; ils sont utilisés par conséquent pour la prospective à court terme et la mobilisation des ressources<sup>81</sup>.

Nous attribuons une valeur ajoutée différente à notre approche, qui utilise plusieurs paniers de sources de vulnérabilité : physiques, démographiques, résilience des familles et des collectivités, ainsi que gouvernance et violence politique<sup>82</sup>. Au lieu d'essayer de prédire une conséquence définie rigoureusement pour la sécurité, conflit violent, ou de créer un ensemble de scénarios dont des observateurs pourraient contester la vraisemblance, nous cherchons à identifier sous des angles différents les sources permanentes de vulnérabilité susceptibles de rendre des endroits particuliers plus vulnérables au changement climatique. L'objectif n'est pas simplement de montrer que l'Éthiopie, par exemple, est vulnérable au changement climatique au niveau national mais quelles régions de ce pays sont vulnérables et pourquoi. Nos travaux se concentrent spécifiquement sur la sécurité climatique. C'est la raison pour laquelle nous insistons sur une sorte particulière de vulnérabilité, la possibilité de lourdes pertes en vies humaines par suite d'une exposition à des phénomènes météorologiques extrêmes. Nous n'avons pas d'opinion vraiment arrêtée quant à la forme que pourraient prendre les conséquences pour la sécurité, parmi lesquelles peuvent figurer, entre autres, des con-

flits violents<sup>83</sup>. Notre approche utilise un indice pondéré de quatre paniers pour établir une représentation dans l'espace de la vulnérabilité de la sécurité climatique infranationale au moyen des outils cartographiques du logiciel AGIS. Notre approche permet aux analystes d'identifier des « points chauds » de vulnérabilité à long terme et ainsi de délimiter les zones à risques, pour permettre au travail sur le terrain aussi bien de « fonder la réalité » et de comparer la validité de la cartographie de vulnérabilité établie en laboratoire d'informatique avec arbitrage local que de guider les interventions politiques vers les zones prioritaires causant les plus vives inquiétudes.

### *Examen rapide des méthodes*

Comme les travaux basés sur les analogues historiques, nos évaluations de vulnérabilité s'appuyaient largement, dans leur première incarnation, sur des données historiques : sur l'incidence d'une exposition aux risques liés au climat, sur la densité de population, sur la résilience des familles et des collectivités (en utilisant des indicateurs de santé et de scolarisation), ainsi que sur la gouvernance et la violence politique (en utilisant des statistiques publiées par la Banque mondiale et d'autres organismes). Nous avons appliqué la même pondération à chaque panier et chacun comportait un certain nombre d'indicateurs secondaires révélant des phénomènes sous-jacents qui nous paraissaient applicables à la vulnérabilité générale d'un pays basée sur un examen de la documentation disponible et la logique déductive (voir le Tableau ci-dessous).

**Tableau I. Indice de vulnérabilité au changement climatique**

<b>Panier des indicateurs de risques liés au climat</b>		
<b>Type de risque (pondération)</b>	<b>Source des données</b>	<b>Années des données utilisées</b>
Vents cycloniques (0,16)	PNUE/GRID-Europe	1975–2007
Crues (0,16)	PNUE/GRID-Europe	1999–2007
Incendies de forêts (0,16)	PNUE/GRID-Europe	1997–2008
Aridité (coefficient de variation) (0,16)	PNUE/GRID-Europe	1951–2004
Sécheresse (0,16)	Global Precipitation Climatology Center	1980–2004
Inondation (élévation côtière) (0,16)	USGS DEM	1996
<b>Panier de densité de population</b>		
<b>Indicateur (pondération)</b>	<b>Source des données</b>	<b>Années des données utilisées</b>
Densité de population Density (0,25)	L'indicateur de densité de population utilisait l'ensemble de données démographiques mondiales haute résolution LandScan (2008) <sup>TM</sup> , copyright UT-Battelle, LLC, opérateur du Laboratoire national d'Oak Ridge sous contrat n° DE-AC05-00OR22725 passé avec le département de l'Énergie des États-Unis.	2008

Tableau (suite)

<b>Panier d'indicateurs de résilience des collectivités et familles</b>			
<b>Variable (pondération)</b>	<b>Indicateur (pondération)</b>	<b>Source des données</b>	<b>Années des données utilisées</b>
Scolarisation (0,25)	Taux d'alphabétisation, total adultes (% de la population âgée de 15 ans et au-dessus) (0,125)	Indicateurs de développement dans le monde	2008; 2007 pour le BurkinaFaso ; 2006 pour l'Algérie, l'Egypte, le Mali et le Sénégal ; 2005 pour le Niger ; aucune donnée pour Djibouti, la République du Congo ni la Somalie
	Population scolaire primaire (% brut) (0,125)	Indicateurs de développement dans le monde	2006-2009 ; 2004 pour le Gabon
Santé (0,25)	Taux de mortalité infantile ajusté au taux national 2000 UNICEF (0,125)	CIESIN	1991-2003
	Espérance de vie à la naissance (années) pour les deux sexes (0,125)	Indicateurs de développement dans le monde	2008
Nécessités quotidiennes (0,25)	Pourcentage d'enfants trop maigres (plus de 2 écarts types en dessous du rapport poids-âge moyen de la population internationale de référence NCHS/CDC/WHO) (0,125)	CIESIN	1991-2003
	Population bénéficiant d'un accès durable à des sources améliorées d'eau potable (% du total) (0,125)	Enquêtes démographiques et sanitaires USAID ; UNICEF, Multiple Indicator Cluster Surveys; Indicateurs du développement dans le monde	DHS 2000-2008 ; MICS 2005-2006 ; WDI 2008 pour l'Algérie, le Botswana, le Cap Vert, les Comores, l'Eritrée, l'Ile Maurice et la Tunisie ; WDI 2005 pour la Guinée équatoriale ; WDI 2000 pour la Libye
Accès aux soins (0,25)	Dépenses de santé par habitant (cours actuel du dollar US) (0,125)	Indicateurs du développement dans le monde	2007 ; 2005 pour le Zimbabwe ; aucune donnée pour la Somalie
	Densité d'infirmiers et de sages-femmes (pour 10.000 habitants) (0,125)	Indicateurs du développement dans le monde	2004-2008 ; 2003 pour le Lesotho ; 2002 pour le Kenya

<b>Panier d'indicateurs de gouvernance et de violence politique</b>			
<b>Variable</b>	<b>Indicateur (pondération)</b>	<b>Source des données</b>	<b>Années des données utilisées</b>
Aptitude du gouvernement à réagir	Voix du peuple et responsabilité (0,2)	Indicateurs de la gouvernance dans le monde	2007, 2008, 2009
Capacité de réaction du gouvernement	Efficacité du gouvernement (0,2)	Indicateurs de la gouvernance dans le monde	2007, 2008, 2009
Réceptivité à l'assistance extérieure	Indice de mondialisation (0,2)	Indice KOF de mondialisation	2009
Stabilité politique	Changement fréquent de régime (0,1)	Projet Polity IV	1999-2008
	Nombre d'années de stabilité (relevé en 2008) (0,1)	Projet Polity IV	1855-2008
Existence de la violence	Combats et violence contre les civils (0,2)	Ensemble de données sur les lieux et le déroulement des conflits armés ( <i>Armed Conflict Location and Events Dataset - ACLED</i> )	1997-2009

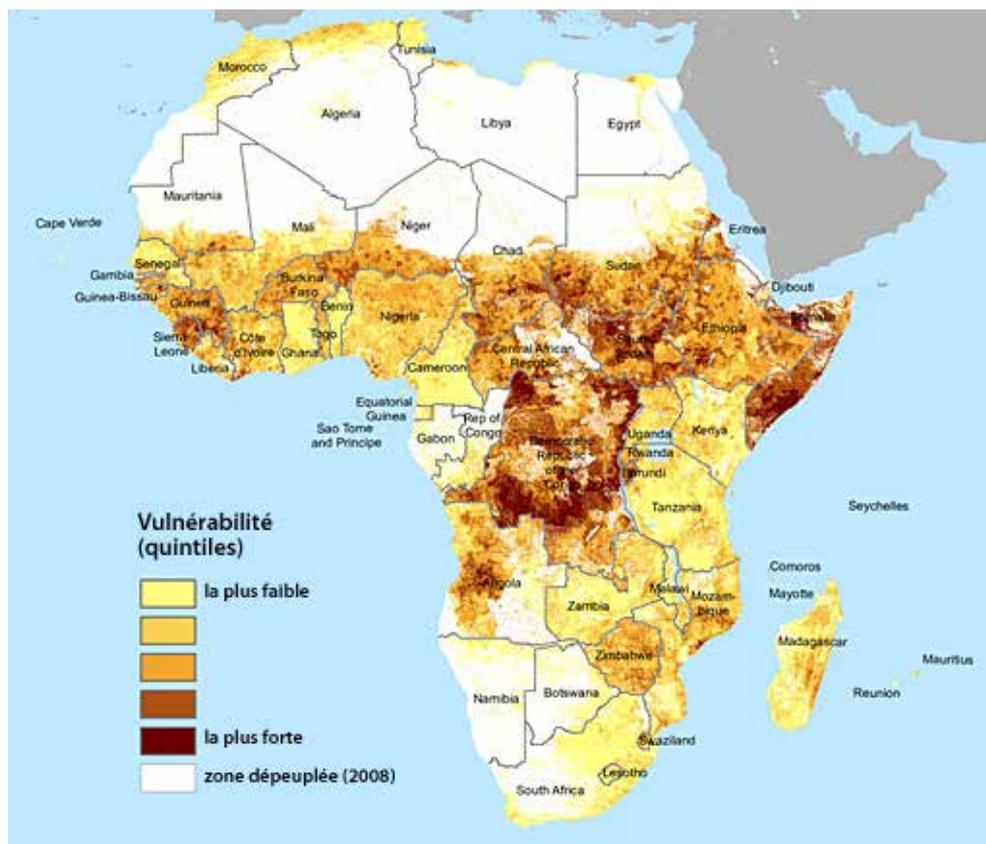
Bien que des données au niveau infranational n'aient pas été disponibles pour tous les indicateurs, notre but était d'être généralement représentatifs des diverses sources de vulnérabilité et des voies naturelles de réponse à la manifestation physique du changement climatique, depuis le niveau de l'individu et de la collectivité jusqu'à celui de l'administration où les capacités locales d'autoprotection succombent à la gravité du phénomène climatique. Pour rendre ces indicateurs et paniers comparables, nous avons converti chacun en quintiles de vulnérabilité relative, de façon à ce que les pays et les unités infranationales en Afrique soient comparés en se basant sur toutes les valeurs de cet indicateur donné en Afrique. Un pays ou une unité infranationale pourrait en conséquence sembler en sûreté parce qu'il est bien classé en Afrique, alors que son état par rapport au reste du monde pourrait rester médiocre.

Notre composite de la vulnérabilité climatique a produit une cartographie qui apporte la confluence des quatre paniers, fait apparaître un certain nombre de points chauds de vulnérabilité de la sécurité climatique, y compris certaines régions de la Somalie, du Soudan du Sud, de la République démocratique du Congo, ainsi que des poches en Éthiopie, au Tchad, entre autres zones. (Fig. 6).

La difficulté de tels travaux sur la vulnérabilité réside dans l'évaluation de la validité externe de la pondération du modèle. Notre modèle de vulnérabilité n'est pas basé sur un modèle économétrique sous-jacent<sup>84</sup>. Des problèmes de disponibilité des données ont compliqué une stratégie de recherche basée sur la modélisation statistique. Nos indicateurs combinent des données nationales et infranationales, avec des indicateurs différents pour différentes années. En outre, notre modèle vise à identifier des points chauds de vulnérabilité de la sécurité climatique, ce qui inclut, entre autres, les conflits. En conséquence, même si des données étaient disponibles pour créer un ensemble de données (et nous en élaborons actuellement un), nous aurions quelques difficultés à identifier la variable dépendante appropriée.

Pour répondre aux questions concernant l'adéquation de notre approche, nous avons lancé différentes stratégies pour évaluer la validité du modèle, y compris (1) le travail sur le terrain pour fonder la réalité de notre cartographie grâce à un arbitrage local, (2) l'analyse de sensibilité permettant de voir comment nos cartes changent quand ont fait varier la pondération du modèle, (3) une démonstration de la valeur ajoutée de paniers et indicateurs supplémentaires via l'utilisation d'une cartographie des différences, (4) la comparaison de nos constatations de vulnérabilité historique avec les projections d'exposition future au changement climatique du modèle de climat et, si les données le permettent, (5) l'élaboration d'un modèle économétrique destiné à tester la validité de la pondération de notre modèle.

Nos travaux sur la vulnérabilité composite reflètent déjà les apports du travail effectué sur le terrain en Afrique australe et orientale. En particulier, nous avons ajouté un indicateur de pénurie chronique d'eau (le coefficient de variation) pour



**Figure 6. Composite de vulnérabilité en Afrique : l'exposition aux risques liés au climat, la densité de la population, la résilience des familles et des communautés, et de la gouvernance et de la violence.** (Données de *World Bank Governance Indicators*; *Polity IV Project: Political Regime Characteristics and Transitions*; *KOF Index of Globalization*; *Armed Conflict Location and Event Data*; *World Health Organization*; *World Development Indicators*; *Food and Agriculture Organization of the United Nations Food Security Statistics*; *UNICEF Multiple Indicator Cluster Survey*; *Demographic and Health Surveys*; *United Nations Environment Programme / Global Resource Information Database–Europe*; *Global Precipitation Climatology Center*; *Digital Elevation Model from the US Geological Survey*; *LandScan*; and *Center for International Earth Science Information Network*. Carte de Kaiba White, *Climate Change and African Political Stability Program*, août 2011).

identifier les terres arides qui se sont révélées historiquement très vulnérables à des conditions météorologiques changeantes, de façon à ce que notre indicateur de sécheresse, basé sur l'indice de précipitation normalisé, avait simplement ignoré. Nous avons par ailleurs présenté une analyse de sensibilité reflétant les changements de pondération du modèle ainsi qu'une cartographie des différences qui montrent la valeur ajoutée des indicateurs de résilience des familles et de gouver-

nance par rapport à la cartographie plus simple d'exposition physique et de population<sup>85</sup>. L'élaboration du modèle économétrique est en cours.

Le développement de cet article couvre explicitement le futur changement climatique en utilisant les moyennes d'ensemble fournies par cinq modèles de climat planétaire. Notre but est de comparer l'incidence d'une exposition liée au climat dans l'histoire au futur changement climatique pour voir dans quelle mesure nos représentations de la future vulnérabilité diffèrent des situations du passé. Dans la mesure où les zones vulnérables historiquement le seront également dans l'avenir, nous pouvons déterminer avec une plus grande certitude celles vers lesquelles orienter le travail sur le terrain et les ressources. Au même titre que nos recherches antérieures, nous considérons nos travaux actuels comme la démonstration d'un concept à affiner grâce à des données et des méthodes supérieures au fur et à mesure qu'il progresse.

Notre objectif dans cet article est d'utiliser des données facilement accessibles produites par les modèles existants de climat planétaire en nous efforçant d'estimer si oui ou non l'incidence historique de l'exposition aux risques climatiques se chevauche avec des zones qui ont des chances de connaître des changements de précipitations. Ces modèles souffrent d'un certain nombre de limites. Pour de vastes portions de l'Afrique, il n'y a aucune divergence significative entre modèles de climat quant aux conséquences probables du changement climatique. La plupart des modèles de climat planétaire ont du mal à reproduire les constantes climatiques à une plus haute résolution, dans la mesure où il leur est difficile de tenir compte des variations de topographie, masses d'eau, etc. locales susceptibles de créer des microclimats. C'est la raison pour laquelle nous avons collaboré avec des modélisateurs de climat de l'université du Texas pour élaborer un modèle de climat régional pour l'Afrique qui permet mieux de valider les constantes météorologiques de ce continent, c'est-à-dire un modèle qui peut reproduire avec un minimum d'erreurs des constantes climatiques historiques en termes de précipitations annuelles, ainsi que de saisonnalité et de localisation des principales précipitations<sup>86</sup>. Tout comme le modèle économétrique, ces travaux sont en cours.

Nos partenaires nous ont fourni entre temps des données pour cinq modèles de climat planétaire qu'ils considéraient comme raisonnablement valables pour l'Afrique : CGCM3.1, ECHAM5\_MPI-OM, GFDL-CM2.0, MIROC3.2\_MEDRES et MRI-CGCM\_2.3.2. Pour chaque modèle, les données correspondaient aux années 1981 à 2000 utilisées pour l'expérience 20c3m (« 20c » signifie 20<sup>e</sup> siècle) et aux années 2041 à 2060 utilisées pour le scénario d'émission GIEC A1B.

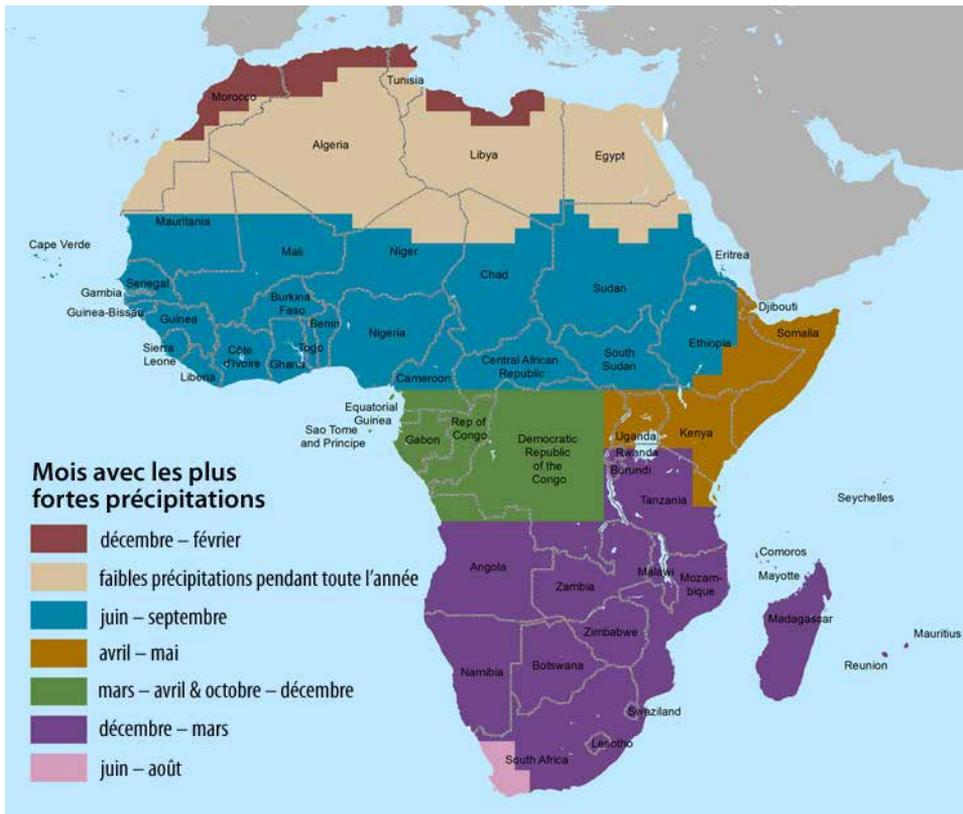
Afin de démontrer les promesses qu'offre cette approche, nous avons produit des projections à l'échelle du continent en matière de changements de précipitations saisonnières correspondant au scénario d'émissions A1B pour l'année 2050, comparée à 1990 (2050 et 1990 utilisent la méthode des moyennes mobiles sur vingt ans, 2041-2060 et 1981-2000 respectivement). Alors que Hendrix et Glaser évaluaient les changements de précipitations totales, comparant les constantes

contemporaines de précipitations à celles de 2100, nous nous sommes plus concentrés sur des projections à court terme basées sur une échéance que les responsables politiques pourraient considérer comme plus applicable. De plus, nous couvrons le continent dans son entier plutôt que la seule Afrique subsaharienne. En outre, nous comparons nos totaux de précipitations en nous basant uniquement sur les mois les plus pluvieux, qui varient d'une région à l'autre (Figure 7). Cela a pour but d'essayer d'évaluer les changements de précipitations pendant la saison de croissance telle qu'elle est connue aujourd'hui. Même lorsque la date et la durée des saisons des semences changent, il est également important de savoir si la pluviosité est projetée comme devant rester la même pendant la saison de croissance. Si nous devons utiliser des données annuelles et que les précipitations augmenteraient pendant certains mois et diminueraient pendant certains autres, la moyenne annuelle au cours de l'année pourrait rester inchangée. Nous pensons que des changements de précipitations pendant la saison des semences perturberont plus la planification agricole et la sécurité alimentaire que les changements annuels.

Quand nous utilisons cette carte des précipitations saisonnières régionales pour calculer des changements de précipitations projetés, nous arrivons à la Figure 8. Notre carte des changements de précipitations totales (Figure 8) suggère qu'il est très probable que l'Afrique du Nord, l'ouest de la province du Cap et certaines parties du Sahel connaîtront des baisses de précipitations, alors qu'une grande partie de l'Est africain ainsi que certaines portions de l'Afrique de l'Ouest connaîtront une augmentation des précipitations saisonnières.

Nous avons également utilisé ces mêmes données pour cartographier le changement projeté de variations des précipitations sur tout le continent pendant les mois historiquement pluvieux (Figure 9). Cette mesure s'efforce d'évaluer l'accroissement de l'instabilité probable des précipitations dans l'avenir en se basant sur l'ensemble multimodèle de projections pour le milieu du siècle. Les modèles projettent des précipitations de plus en plus instables dans la plus grande partie du Soudan ainsi que certaines parties de la Somalie, de l'Angola, de la Zambie et du Zimbabwe, alors que d'autres régions telles que la côte méditerranéenne, certaines petites zones de l'Afrique de l'Ouest, de la République démocratique du Congo et une grande partie de l'Afrique du Sud connaîtront une moindre instabilité des précipitations si ces projections des modèles sont correctes. Cette mesure des précipitations saisonnières est relativement rudimentaire et ne tient pas compte de la possibilité de changements de saisonnalité des précipitations.

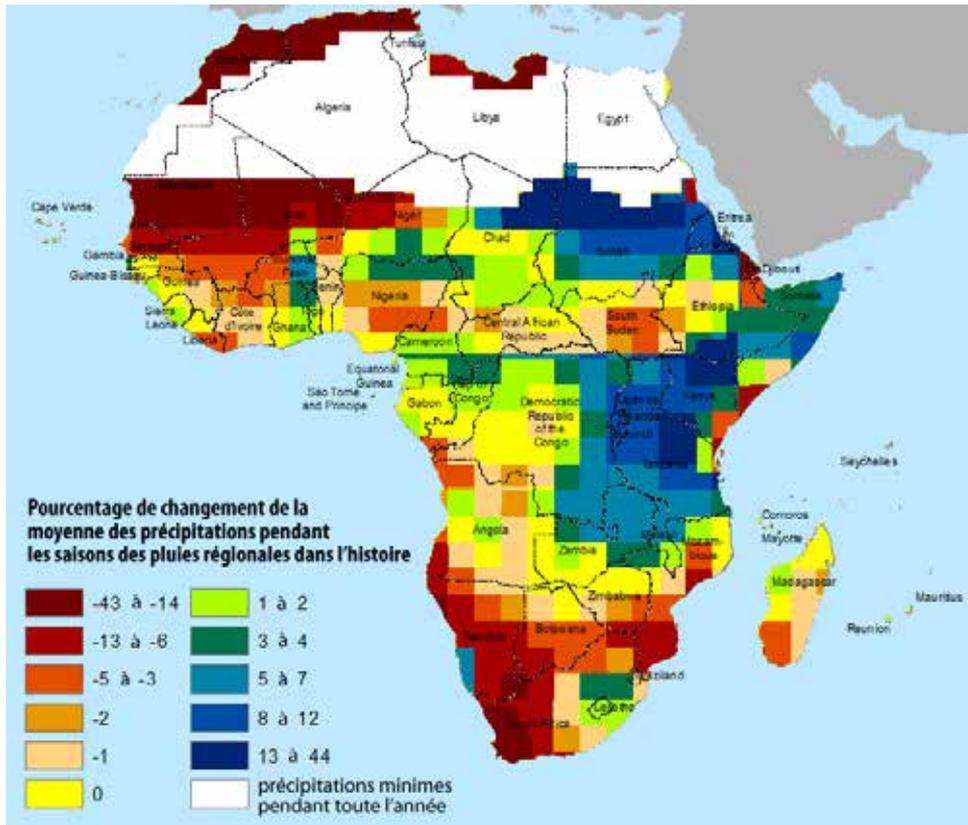
Nous considérons ces résultats comme provisoires, étant donné qu'ils représentent les résultats de cinq modèles de climat planétaire connus pour donner des résultats relativement peu fiables au niveau local, particulièrement en Afrique. Notre carte de cycles de semences saisonnières, basée sur un examen préliminaire des mois les plus pluvieux, est elle aussi relativement rudimentaire. Nous



**Figure 7. Historique de la pluviosité saisonnière par régions en Afrique.** (Données de US Geological Survey Global Geographic Information System Database: Digital Atlas of Africa [données des précipitations]. Carte de Kaiba White, *Climate Change and African Political Stability Program*, août 2012).

sommes néanmoins réconfortés par le fait que les résultats reflètent ici les constantes régionales examinées dans d’autres études, y compris la tendance négative des précipitations en Afrique australe mise en lumière dans l’étude de Hendrix et Glaser ainsi que l’application des résultats du modèle de Claudia Tebaldi, qui utilise des méthodes plus multi-ensembles<sup>88</sup> (Figures 10 et 11). En accord avec les deux autres études, nos travaux font également apparaître des précipitations accrues dans la plus grande partie de *l’Est africain*.

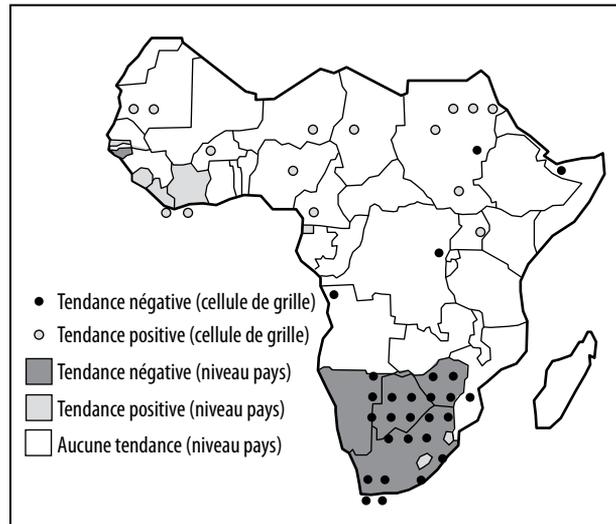
Comment nos projections de future exposition au changement de climat se comparent-elles à l’exposition historique aux risques liés au climat ? Il est évident que le changement de précipitations projeté n’est qu’un indicateur et n’inclut pas la série complète de risques de notre panier des risques climatiques. Néanmoins, les projections de changements négatifs significatifs en pourcentage des précipita-



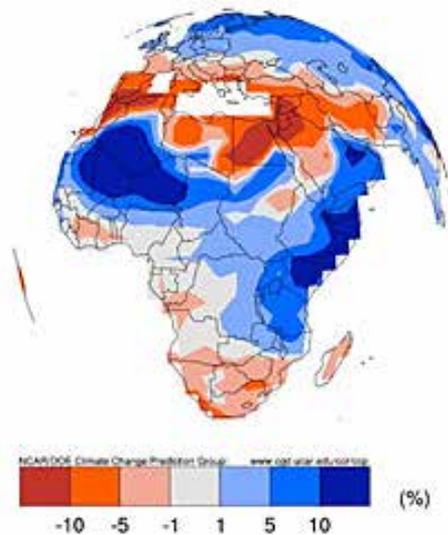
**Figure 8. Changement prévu dans les quantités de précipitations pour la saison des pluies en Afrique (scénario A1B, 2041-60).** (Données de cinq différents *Coupled Model Intercomparison Project*, Phase 3 (CMIP3) IPCC AR4 modèles de circulation générale océan-atmosphère couplés (AOGCM): CGCM3.1, ECHAM5\_MPI-OM, GFDL-CM2.0, MIROC3.2\_MEDRES, and MRI-CGCM\_2.3.2. Voir la carte « *Historical seasonal rainfall regions in Africa* », [fig. 7] pour le calendrier de la saison des pluies. Carte de Kaiba White et, *Climate Change and African Political Stability Program*, octobre 2012).

tions correspondent le mieux à nos mesures de la sécheresse (Figure 12) et au coefficient de variation (Figure 13). Ce ne sont pas des mesures parfaites. Un accroissement des précipitations à certains endroits pourrait refléter une plus forte probabilité de crues plutôt qu'un renforcement du potentiel agricole. En collaboration avec les modélisateurs de climat de l'université du Texas, nous élaborons actuellement différents indicateurs qui se rapprochent plus des cas de crues et de sécheresse, ainsi que des périodes de vague de chaleur. Néanmoins, pour les besoins de cet article, lorsque nous comparons l'exposition à la sécheresse dans l'histoire (mesurée par l'indice normalisé de précipitations) et les zones de pénurie chronique d'eau (saisie par le coefficient de variation), nous observons qu'elles se chevauchent partiellement.

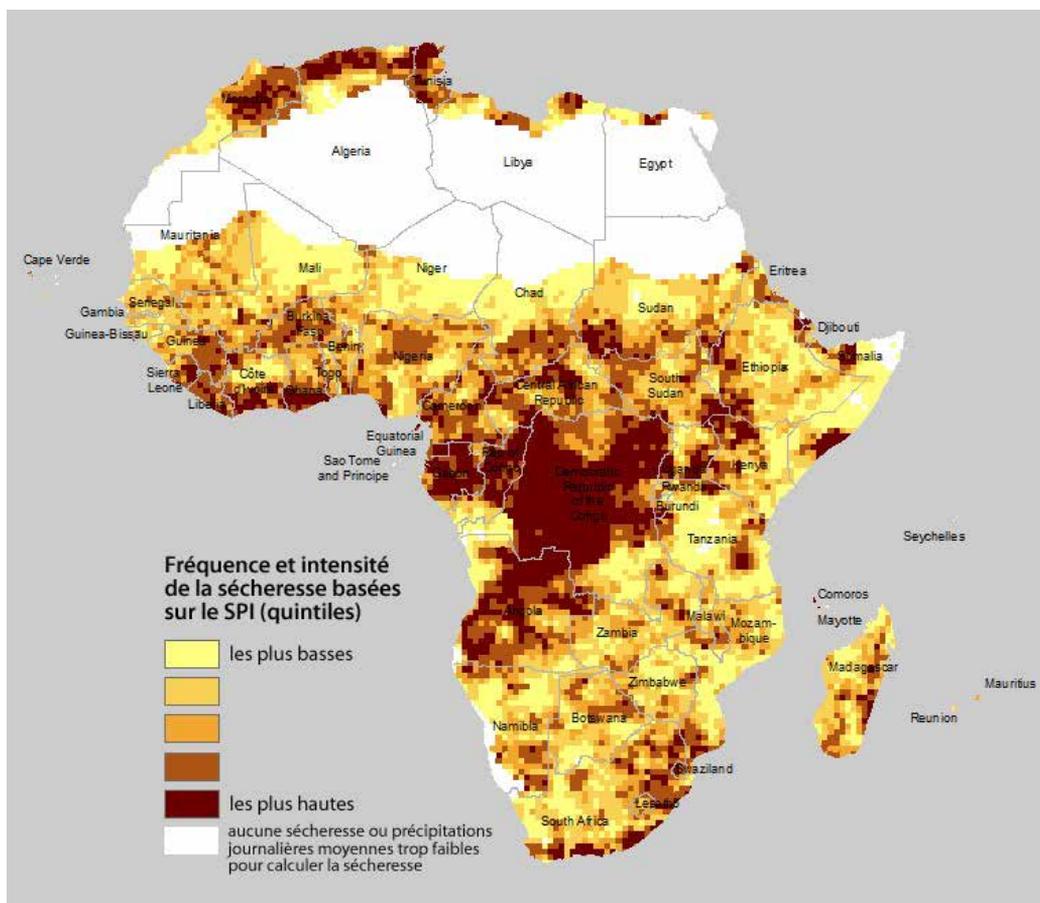




**Figure 10. Projection des tendances de précipitations de Hendrix et Glaser : les effets d'agrégation spatiale sur les estimations du total des précipitations annuelles, 2000-2099, scénario A1B, de HENDRIX, Cullen S et GLASER, Sarah M., «Trend and Triggers: Climate Change and Civil Conflict in Sub-Saharan Africa », *Political Geography* 26, no. 6, août 2007, p. 710.**



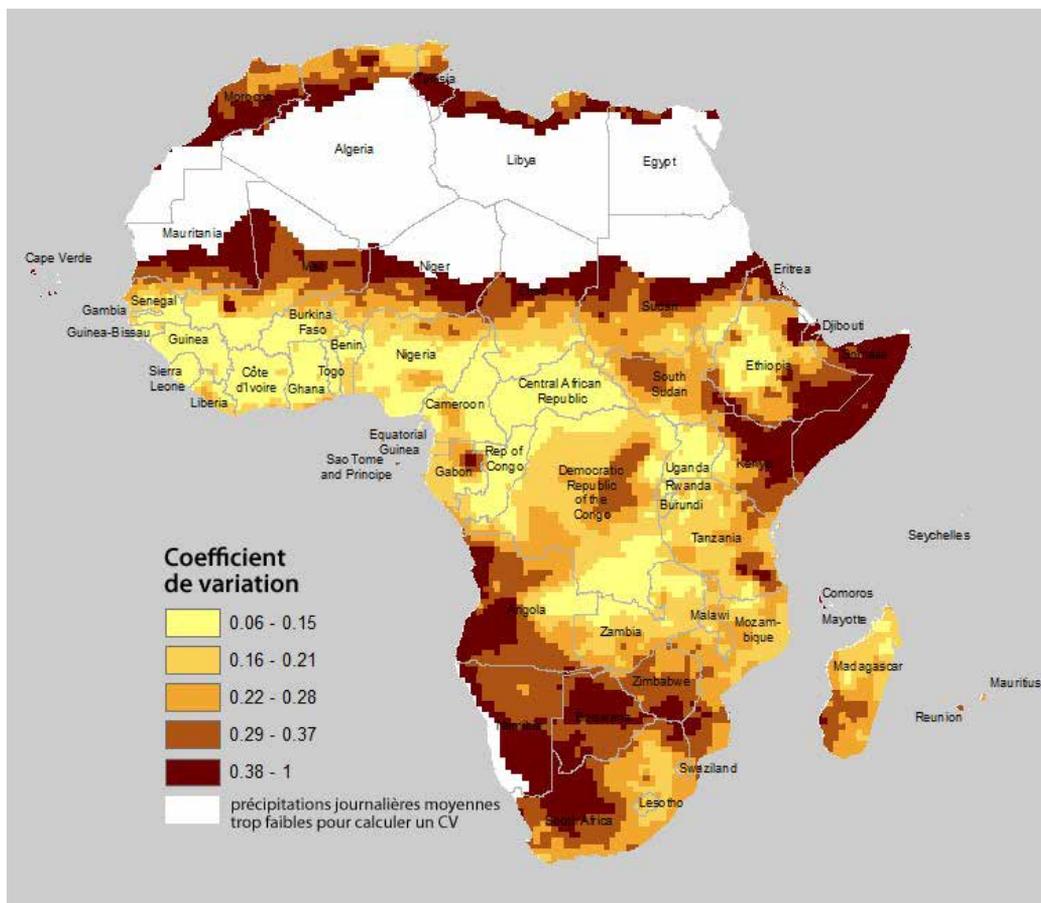
**Figure 11. La projection du changement de précipitation de Tebaldi : IPCC A1B, precipitation, 1990–2030.** (De National Center for Atmospheric Research / Department of Energy Climate Change and Prediction Group, [www.cgd.ucar.edu/ccr/climate\\_change\\_gallery\\_test/pr.africa.htm](http://www.cgd.ucar.edu/ccr/climate_change_gallery_test/pr.africa.htm))



**Figure 12. Fréquence des sécheresses et de l'intensité en Afrique, 1980-2004.** (Données de Global Precipitation Climatology Center. Carte de Kaiba White, *Climate Change and African Political Stability Program*, novembre 2011).

dans la plus grande partie de l'Est africain, cette différence entre l'exposition dans l'histoire et les projections mérite un examen scientifique approfondi.

Les changements de précipitations ne règlent pas à eux seuls les questions d'accès à l'eau. Des travaux sur la vulnérabilité menés en parallèle par Marc Levy et autres ont effectué une analyse comparable. Observant les projections de hausse du niveau des mers, de hausse totale des températures et de pénurie d'eau, ils incorporèrent un certain nombre de variables politiques et de gouvernance, y compris un historique des crises subies par le pays, le degré de violence dans la région et sa capacité. Particulièrement intéressant est le dernier indicateur physique, la pénurie



**Figure 13. Coefficient de variation des précipitations en Afrique, 1951-2004.** (Données de *United Nations Environment Programme / Global Resource Information Database-Europe*. Carte de Kaiba White, *Climate Change and African Political Stability Program*, novembre 2011).

d'eau, qui reflèterait l'importance que nous pourrions attacher à des pays tels que l'Égypte qui connaissent de faibles précipitations mais dépendent du ruissellement ou de fleuves dont les sources sont lointaines. Nos données de précipitations excluent les zones de faibles précipitations du Sahara qui s'étendent à l'Égypte. C'est pourquoi nous excluons probablement une zone très peuplée et potentiellement très vulnérable au climat<sup>89</sup>. Nous avons certainement besoin d'un correctif pour l'Égypte avec des indicateurs supplémentaires de vulnérabilité climatique.

## Conclusion

Dans la mesure où nos travaux sur la vulnérabilité sont transparents quant aux méthodes, y compris les carences en sources de données, nous cherchons à éviter une partie des critiques les plus acérées adressées aux modèles et scénarios de prospective. Notre cartographie de vulnérabilité complexe repose sur l'exposition physique dans l'histoire et sur diverses sources démographiques, sociales et politiques de vulnérabilité. Nous avons essayé, en superposant les projections de changement climatique futur, nous avons essayé d'identifier la position et la nature des endroits qui, en Afrique, sont probablement les plus vulnérables au futur changement climatique. Nous espérons que notre cartographie et notre méthodologie se révéleront des représentations spatiales utiles pour guider les considérations de climat et de sécurité dans la communauté de recherche ainsi que parmi les responsables politiques. Bien que difficiles à démêler des autres causes, les effets du changement climatique commencent déjà à se faire sentir de plus en plus, ce qui suggère que nous pourrions bientôt disposer de quelques éléments solides supplémentaires nous permettant d'évaluer si oui ou non notre cartographie est utile.

## Notes

1. Les contributions par Busby, Smith et White sont basées sur des travaux appuyés par, ou en partie par, l'*US Army Research Laboratory* et l'*US Army Research Office* en vertu du contrat / subvention numéro W911NF-09-1-0077.

2. CNA Corporation, 2007, *National Security and the Threat of Climate Change*, cité le 8 juillet 2007. Disponible à <http://securityandclimate.cna.org/report/>. CAMPBELL, Kurt M., GULLEDGE, Jay, McNEILL, J.R., PODESTA, John, OGDEN, Peter, FUERTH, Leon, WOOSLEY, R. James, LENNON, Alexander T. J., SMITH, Julianne, WEITZ, Richard et MIX Dere, *The Age of Consequences*, CSIS/CNAS, novembre 2007. Disponible à [www.csis.org/media/csis/pubs/071105\\_ageofconsequences.pdf](http://www.csis.org/media/csis/pubs/071105_ageofconsequences.pdf).

3. McHENRY, H.M., « Human Evolution », in *Evolution : the first four billion years*, sous la direction de M. Ruse et J. Travis. Cambridge, Massachusetts : Belknap Press of Harvard University Press, 2009, pp. 256-80.

4. FAGAN, Brian M., *The long summer : how climate changed civilization*. Londres : Granta Books, 2004.

5. JANSEN, E. et al., « Paleoclimate », 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*, sous la direction de S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor et H. L. Miller. Cambridge : Cambridge University Press, 2007, pp. 462 et 465, [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter6.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter6.pdf).

6. DAY, Jr. J.W., GUNN, J.D., FOLAN, W.J., YANEZ-ARANCIBIA, A. et HORON, B.P., « Emergence of Complex Societies After Sea Level Stabilized », *Eos* 88, no. 15, 10 avril 2007, pp. 169-170, [www.sas.upenn.edu/earth/bph/Res2007/Day%20et%20al%20EOS.pdf](http://www.sas.upenn.edu/earth/bph/Res2007/Day%20et%20al%20EOS.pdf).

7. ROCKSTROM, J., « A safe operating space for humanity ». *Nature* 461, 2009, pp. 472-475.

8. MILLY, P.C.D. et al., « Stationarity is dead : Whither water management? », *Science* 319, no. 5863, 1 février 2008, pp 573-574.
9. MEEHL, G.A., « Global Climate Projections », in SOLOMON S., et al., *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*, pp.747-845, [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter10-suppl-material.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter10-suppl-material.pdf).
10. ENGELHAUPT, E., « Models underestimate global warming impacts », *Environmental Science & Technology* 41, 2007, pp. 4488-89. Voir également HANS-MARTIN, Füssel, « An updated assessment of the risks from climate change based on research published since the IPCC Fourth Assessment Report », *Climatic Change* 97, 2009, pp. 469-482.
11. GULLEDGE, Jay., *Scientific Uncertainty and Africa's Susceptibility to Climate-Driven Conflict*. Washington, DC : Pew Center on Global Climate Change, 2008, pp. 114-33 ; SEIDEL, D. et al., « Widening of the tropical belt in a changing climate », *Nature Geoscience* 1, 2008, pp. 21-24.
12. MABEY, Nick et al., *Degrees of Risk : Defining a Risk Management Framework for Climate Security*. London : E3G, février 2011, [www.e3g.org/images/uploads/Degrees\\_of\\_Risk\\_Defining\\_a\\_Risk\\_Management\\_Framework\\_for\\_Climate\\_Security\\_Executive\\_Summary.pdf](http://www.e3g.org/images/uploads/Degrees_of_Risk_Defining_a_Risk_Management_Framework_for_Climate_Security_Executive_Summary.pdf).
13. MEEHL et al., « Global Climate Projections », pp. 802-4.
14. *Id.* p. 802.
15. Le GIEC définit « probable » comme plus de deux chances sur trois et « très probable » plus grand que 9 chances sur 10. « GIEC, 2007: résumé pour les décideurs », in SOLOMON et al, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, p. 13.
16. MEEHL et al., « Global Climate Projections », p. 799.
17. MABEY, Nick et al., *Degrees of Risk*, pp. 33-34.
18. WALTER, K. M. et al., « Methane Bubbling from Siberian Thaw Lakes as a Positive Feedback to Climate Warming », *Nature* 443, 2006, pp. 71-75.
19. GROSSE, Guido et al., « Vulnerability of high-latitude soil organic carbon in North America to disturbance », *Journal of Geophysical Research* 116, G00K06, 2011, pp. 1-23. [www.lter.uaf.edu/pdf/1546\\_Grosse\\_Harden\\_2011.pdf](http://www.lter.uaf.edu/pdf/1546_Grosse_Harden_2011.pdf).
20. GULLEDGE, Jay, « Climate Change Risks in the Context of Scientific Uncertainty », in *The Global Politics of Energy*, sous la direction de K. M. Campbell et J. Price. Washington, DC : The Aspen Institute, 2008, pp. 114-33.
21. MEEHL, G.A. et al, « Global Climate Projections », p. 784. Pour des examens comparables, voir TEBALDI et al., « Going to the Extremes: An Intercomparison of Model-Simulated Historical and Future Changes in Extreme Events », *Climatic Change* 79, nos. 3-4, décembre 2006, pp. 185-211. [www.cgd.ucar.edu/ccr/publications/tebaldi\\_extremes.pdf](http://www.cgd.ucar.edu/ccr/publications/tebaldi_extremes.pdf).
22. KARL, Thomas R. et al., eds., *Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus : North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands*. Un rapport de l'U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, D.C. : Climate Change Science Program, juin 2008, pp. 16-19, [http:// downloads.climate-science.gov/sap/sap3-3/sap3-3-final-all.pdf](http://downloads.climate-science.gov/sap/sap3-3/sap3-3-final-all.pdf).
23. KNUTSON, T.R. et TULEYA, R.E., « Impact of CO<sub>2</sub>-induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation : sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization », *Journal of Climate* 17, no. 18, 15 septembre 2004, pp. 3477-95.
24. KNUTSON, Thomas R., « *Global Warming and Hurricanes: An Overview of Current Research Results* », NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, 3 septembre 2008 (dernière révision le 26 août 2011, [www.gfdl.noaa.gov/global-warming-and-hurricanes](http://www.gfdl.noaa.gov/global-warming-and-hurricanes)
25. SCHNEIDER S. H. et al., « Assessing Key Vulnerabilities and the Risk from Climate Change », 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*, ed. M. L. Parry et al. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2007, p. 791, [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter5.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter5.pdf).

26. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2007: Synthesis Report; An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2007, pp. 436–43, [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf); et NIANG, I. et al., « Vulnerability, Impacts, and Adaptation to Climate Change », in *Global Change Processes and Impacts in Africa: A Synthesis*, ed. E. A. L. Otter. Washington, DC : International START Secretariat, 2007, p. 227.

27. BAETTIG, Michelle B., WILD, Martin et IMBODEN, Dieter M., « A climate change index : Where climate change may be most prominent in the 21st century », *Geophysical Research Letters* 34, L01705, 200.

28. NIANG et al., « Adaptation to climate change », p. 245.

29. United Nations Environmental Programme and World Meteorological Organization, *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone, Summary for Decision Makers, Nairobi, Kenya*. United Nations Environment Programme and World Meteorological Organization, 2011, [www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Black\\_Carbon.pdf](http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Black_Carbon.pdf).

30. ROSENZWEIG, Cynthia et al., « Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change », *Nature* 453, 5 mai 2008, pp. 353–57, doi:10.1038/nature06937.

31. FUNK, Chris et al., « Warming of the Indian Ocean threatens eastern and southern African food security but could be mitigated by agricultural development », *Procédures de la National Academy of Sciences* 105, no. 32, 12 août 2008, pp.11081–11086, [www.pnas.org/content/105/32/11081.full.pdf](http://www.pnas.org/content/105/32/11081.full.pdf). JENKINS, Gregory S., GAYE, Amadou T. et SYLLA Bamba, « Late 20th century attribution of drying trends in the Sahel from the Regional Climate Model (RegCM3) », *Geophysical Research Letters* 32, L22705, 2005.

32. MASON, Betsy, « African Ice under Wraps », *Nature*, 24 novembre 2003, doi:10.1038/news031117-8.

33. MOLG, Thomas et al., « Limited Forcing of Glacier Loss through Land-Cover Change on Kilimanjaro », *Nature Climate Change* 2, no. 4, avril 2012, pp. 254–58, doi: 10.1038/NCLIMATE1390.

34. ROSENZWEIG, C. et al., « Attributing Physical and Biological Impacts to Anthropogenic Climate Change », *Nature* 453, 2008, pp. 353–58.

35. NIANG et al., « Adaptation to Climate Change », pp. 227–31.

36. IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, p. 52.

37. EASTERLING, W. E. et al., « Food, Fibre and Forest Products », in Parry, *Climate Change 2007*, p. 280.

38. *Id.*

39. BATTISTI, David S. et NAYLOR, Rosamond L., « Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat », *Science* 323, no. 5911, 9 janvier 2009, pp. 240–44.

40. NIANG et al., « Adaptation to Climate Change », p. 228.

41. IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, p. 50.

42. MÜLLER, Christoph et al., « *Climate change risks for African agriculture* », *Procédures de la National Academy of Sciences*, 28 février 2011, pp.1–3, [www.pnas.org/content/early/2011/02/23/1015078108](http://www.pnas.org/content/early/2011/02/23/1015078108).

43. IGLESIAS, Ana, QUIROGA, Sonia et DIZ, Agustin, « Looking into the future of agriculture in a changing climate », *European Review of Agricultural Economics* 38, no. 3, 2011, pp. 427–447 et IGLESIAS, A., QUIROGA, S. et GARROTE, L., *Agricultural production estimates under climate change*, ClimateCost project, 7th Framework Programme, European Commission, 2011.

44. GIEC, « Summary for Policymakers », in *Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability*, p. 9, [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-spm.pdf).

45. FUNK et al., « *Warming of the Indian Ocean* », et « *Warming of Indian Ocean Threatens Food Supply* », Environmental Research Web, 5 août 2008, <http://environmentalresearchweb.org/cws/article/news/35309>.

46. MÜLLER et al., « Climate Change Risks », p. 2.

47. HERTEL, Thomas W., BURKE, Marshall B. et LOBELL, David B., « The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030 », *Global Environmental Change* 20, no. 4, 2010, pp. 577–585.

48. NIANG et al., « Adaptation to climate change », pp. 229–30.

49. O'REILLY, Catherine M. et al., « Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa », *Nature* 424, 2003, pp. 766-768 et ROSENZWEIG, C., KAROLY, D. et VICARELLY, M., « Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change », *Nature* 453, 2008, pp. 353-58.

50. MILLY et al., « Stationarity is dead » et NIANG et al., « Adaptation to climate change », p. 231.

51. NIANG et al., « Adaptation to climate change », p. 232.

52. IPCC, « Summary for Policymakers », p.13.

53. NIANG et al., « Adaptation to Climate Change », p. 232.

54. PATZ, Jonathan et al. « Impact of regional climate change on human health », *Nature* 438, 2005, pp. 310-17.

55. NIANG et al., « Adaptation to Climate Change », p. 236.

56. PATZ et al., « Impact of Regional Climate Change on Human Health », pp. 310-17

57. RAHMSTORF, Stefan , « A Semi-empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise », *Science* 315, 2007, pp. 368-70 ; et RAHMSTORF et al., « Recent Climate Observations Compared to Projections », *Science* 316, 2007, p. 709.

58. GULLEDGE, Jay, « Three plausible scenarios of future climate change », in *Climatic Cataclysm : The Foreign Policy and National Security Implications of Climate Change*, sous la direction de K. Campbell. Washington, DC : Brookings Institution Press, 2008, p. 59 et RAHMSTORF, « Semi-empirical approach », pp. 368-370.

59. NIANG et al., « Adaptation to Climate Change », p. 238.

60. *Id.*

61. Pour de bons exemples, voir RALEIGH Clionadh et URDAL, Henrik, « Climate change, environmental degradation and armed conflict », *Political Geography* 26, no. 6, 2007, pp. 674-694 ; HENDRIX, Cullen S. et GLASER, Sarah M., « Trends and Triggers: Climate Change and Civil Conflict in Sub-Saharan Africa », *Political Geography* 26, no. 6, août 2007, pp. 695-715 ; NEL, Philip et RIGHARTS, Marjolein, « Natural Disasters and the Risk of Violent Civil Conflict », *International Studies Quarterly* 52, no. 1, 2008, pp.159-185 ; MAGNUS, Thiesen, Ole, HOLTERMANN, Helge et BUHAUG, Halvard, « *Drought, Political Exclusion, and Civil War* », Paper read at Climate Change, Social Stress and Violent Conflict, 19-20 novembre 2009, à Hambourg, Allemagne ; et LEVY, Marc A. et al., « *Freshwater Availability Anomalies and Outbreak of Internal War : Results from a Global Spatial Time Series Analysis* », Human Security and Climate Change: An International Workshop, Asker, near Oslo, 21-23 juin 2005, [www.cicero.uio.no/humsec/papers/Levy\\_et\\_al.pdf](http://www.cicero.uio.no/humsec/papers/Levy_et_al.pdf).

Pour une critique de la documentation politique et les références du GIEC au climat et à la sécurité, voir NORDAS, Ragnhild et GLEDITSCH, Nils Petter, « IPCC and the climate-conflict nexus », Communication présentée à l'*International Studies Association*, 15-18 février 2009 à New York. Pour un examen des relations entre changement climatique, migration et conflit, voir RALEIGH, Clionadh et JORDAN, Lisa, « Climate Change, Migration and Conflict », communication présentée à l'*American Political Science Association*, 28-31 août 2008, à Boston, Massachusetts ; et GLEDITSCH, Nils Petter, NORDAS, Ragnhild et SALEHYAN, Idean, *Climate Change and Conflict : The Migration Link*, New York International Peace Academy, Mai 2007. [www.ipacademy.org/asset/file/169/CWC\\_Working\\_Paper\\_Climate\\_Change.pdf](http://www.ipacademy.org/asset/file/169/CWC_Working_Paper_Climate_Change.pdf). Pour des travaux plus récents qui examinent d'autres formes de conflit social, y compris les émeutes et les grèves, voir HENDRIX, Cullen S. et SALEHYAN, Idean, « After the Rain: Rainfall Variability, Hydro-Meteorological Disasters, and Social Conflict in Africa » (présenté à la *Climate Change and Security Conference*, Trondheim, Norvège, 21-24 juin 2010), [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1641312&download=yes](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1641312&download=yes) et HENDRIX et SALEHYAN, « Climate Change, Rainfall Triggers and Social Unrest in Africa », *Journal of Peace Research*, 49, no. 8, janvier 2012 : 35, p. 50.

62. SCHUYLER, Null, « El Niño, Conflict, and Environmental Determinism : Assessing Climate's Links to Instability », *New Security Beat*, 5 octobre 2011. [www.newsecuritybeat.org/2011/10/el-nino-conflict-and-environmental.html](http://www.newsecuritybeat.org/2011/10/el-nino-conflict-and-environmental.html).

63. NORDAS, Ragnild et GLEDITSCH, Nils Petter, « Climate change and conflict », *Political Geography* 26, no. 6, 2007, p. 633.

64. BUSBY, Josh, « Who Cares About the Weather? Climate Change and U.S. National Security », *Security Studies* 17, no. 3, 2008, pp. 468-504. Voir également BUSBY, « Feeding Insecurity? Poverty, Weak States, and Climate Change », in *Confronting Poverty: Weak States and U.S. National Security*, sous la direction de S. Rice., C. Graff et C. Pascual. Washington, DC : Brookings Institution Press, 2010, pp. 125-66 ; BUSBY, « The Climate Security Connection : What It Means for the Poor », in *Climate Change and Global Poverty: A Billion Lives in the Balance?*, sous la direction de L. Brainard, A. Jones et N. Purvis. Washington, DC : Brookings Institution, 2009, pp. 155-80 ; et BUHAUG, Halvard, GLEDITSCH, Nils Petter et MAGNUS THEISEN, Ole, *Implications of Climate Change for Armed Conflict*. Washington, DC : World Bank, 2008, [http://siteresources.worldbank.org/INTRANETSOCIALDEVELOPMENT/Resources/SDCCWorkingPaper\\_Conflict.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTRANETSOCIALDEVELOPMENT/Resources/SDCCWorkingPaper_Conflict.pdf).

65. BUHAUG, GLEDITSCH et THEISEN, *Implications of Climate Change*, p. 37.

66. Voir par exemple le numéro spécial d'octobre 2008 de *Political Science and Politics*, dans lequel figuraient des articles sur l'élection présidentielle américaine de 2008.

67. Pour un portrait de Bueno de Mesquita, voir THOMPSON, Clive, « Can Game Theory Predict When Iran Will Get the Bomb? » *New York Times*, 12 août 2009.

68. Le site *Web forecastingprinciples.com* définit la prospective comme suit : « La prospective est la spécialité qui s'intéresse aux approches de détermination de ce que réserve l'avenir. Elle s'intéresse également à la présentation et à l'emploi des prévisions. Les termes « prévision », « prédiction », « projection » et « pronostic » sont généralement employés indifféremment ». Voir la Foire aux questions. [www.forecasting-principles.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3&Itemid=13](http://www.forecasting-principles.com/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=13).

69. HENDRIX et GLASER, « Trends and Triggers » p. 710.

70. BURKE, Marshall B. et al., « Warming increases the risk of civil war in Africa », *Procédure de la National Academy of Sciences* 106, no. 49, 2009, pp. 20670-74. Alors que les auteurs emploient un modèle à effets fixes pour expliquer certains attributs invariants de l'éthnicité, du passé colonial et de la géographie, il existe d'autres développements politiques qui ont probablement changé pendant la période étudiée et que leur modèle ne peut expliquer.

71. Il convient de noter que d'autres spécialistes ont employé un modèle à deux phases d'après lequel les changements écologiques affectent la probabilité d'un conflit violent par la voie indirecte de leur effet sur la croissance économique. VALLY, Koubi et al., « *Climate Change and Civil Conflict* », *American Political Science Association*, 2010, [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1644407](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1644407).

72. Cette section repose sur certaines critiques inédites par Halvard Buhaug et Jack Goldstone de l'article de Burke et autres. Une critique de Buhaug fut publiée dans les *Proceedings of the National Academy of Sciences* : Buhaug, Halvard, « Climate not to blame for Africa's civil wars », *Procédure de la National Academy of Sciences* 107, no. 38, 2010, pp. 16477-82.

73. GARVIN, David A. et LEVESQUE, Lynne C., *A Note on Scenario Planning*. Boston : Harvard Business School Publishing, 2005, <https://faculty.washington.edu/socha/css572winter2012/HBR%20A%20note%20on%20scenario%20planning.pdf>; SCHOEMAKER, Paul J.H., « When and How to Use Scenario Planning: A Heuristic Approach with Illustration », *Journal of Forecasting* 10, 1991, pp. 549-64 ; et OGILVY, Jay et SCHWARTZ, Peter, *Plotting Your Scenarios*. Global Business Network, 1998, [www.gbn.com/consulting/article\\_details.php?id=24](http://www.gbn.com/consulting/article_details.php?id=24).

74. SCHWARTZ, Peter et RANDALL, Doug, *An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security*. Emeryville, Californie : Global Business Network, 2003, [www.gbn.com/articles/pdfs/Abrupt%20Climate%20Change%20February%202004.pdf](http://www.gbn.com/articles/pdfs/Abrupt%20Climate%20Change%20February%202004.pdf). Schwartz est l'un des chefs de file de l'analyse de scénarios, après avoir lancé la pratique dans le domaine de l'entreprise pour la Royal Dutch Shell. Voir, par exemple, « Quels sont les scénarios? » Shell, [www.shell.com/home/content/aboutshell/our\\_strategy/shell\\_global\\_scenarios/what\\_are\\_scenarios](http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our_strategy/shell_global_scenarios/what_are_scenarios)

75. GULLEDGE, « Three Plausible Scenarios », p. 35.

76. Voir « Mapping the Global Future: Report of the National Intelligence Council's 2020 Project », *National Intelligence Council*, consulté le 25 avril 2012, [www.dni.gov/nic/NIC\\_2020\\_project.html](http://www.dni.gov/nic/NIC_2020_project.html)

77. WRIGHT, George et GOODWIN, Paul, « Decision making and planning under low levels of predictability: Enhancing the scenario method », *International Journal of Forecasting* 25, 2009, pp. 813–25.

78. BUSBY, « Who Cares About the Weather? », pp. 468-504.

79. GIEC, « Summary for Policymakers », p.21.

80. BURG, Jericho, « Measuring populations' vulnerabilities for famine and food security interventions: the case of Ethiopia's Chronic Vulnerability Index », *Disasters* 32, no. 4, décembre 2008, pp. 609-30.

81. Programme alimentaire mondial des Nations Unies, *Climate and Disaster Risk Solutions: Managing Natural Disaster Risk More Effectively*, 2009, [www.wcc3.org/wcc3docs/pdf/I3\\_Kassam.pdf](http://www.wcc3.org/wcc3docs/pdf/I3_Kassam.pdf) ; et Nations Unies, *Global Impact and Vulnerability Alert System*, 6 juillet 2009, [www.unicef.org/eapro/GIVAS.pdf](http://www.unicef.org/eapro/GIVAS.pdf).

82. Cette section est basée sur diverses publications, y compris BUSBY, Joshua, WHITE, Kaiba et SMITH, Todd G., *Mapping Climate Change and Security in North Africa*, German Marshall Fund, 17 novembre 2010. [www.gmfus.org/archives/mapping-climate-change-and-security-in-north-africa-full-text](http://www.gmfus.org/archives/mapping-climate-change-and-security-in-north-africa-full-text). BUSBY, WHITE et SMITH, *Locating Climate Insecurity : Where are the Most Vulnerable Places in Africa?* Policy Brief no. 3, Robert S. Strauss Center for International Security and Law, juin 2011, [http://ccaps.strausscenter.org/system/uploads/37/original/Climate\\_policy\\_brief\\_FINAL.pdf?](http://ccaps.strausscenter.org/system/uploads/37/original/Climate_policy_brief_FINAL.pdf?) et BUSBY et al., *Mapping Climate Change and Security in North Africa*, German Marshall Fund of the United States, 17 November 2010, <http://www.gmfus.org/archives/mapping-climate-change-and-security-in-north-africa-full-text>; BUSBY, WHITE, et SMITH, *Locating Climate Insecurity: Where Are the Most Vulnerable Places in Africa?*, Policy Brief no. 3, Robert S. Strauss Center for International Security and Law, June 2011, [http://ccaps.strausscenter.org/system/uploads/37/original/Climate\\_policy\\_brief\\_FINAL.pdf?1308771578](http://ccaps.strausscenter.org/system/uploads/37/original/Climate_policy_brief_FINAL.pdf?1308771578); et BUSBY et al., « Locating Climate Insecurity: Where Are the Most Vulnerable Places in Africa ? » in *Climate Change, Human Security and Violent Conflict*, ed. J. Scheffran et al. New York : Springer, 2012, pp 463–512.

83. Pour un examen plus détaillé des raisons et des méthodes, voir BUSBY, WHITE et SMITH, *Locating Climate Insecurity : Where are the Most Vulnerable Places in Africa* et al., « Locating Climate Insecurity ».

84. Pour deux approches comparables de la cartographie composite de la vulnérabilité climatique qui partagent une méthode similaire, voir les travaux de *One World Sustainable Investments* basé en Afrique du Sud ([www.oneworldgroup.co.za/projects/climate-change/southern-african-regional-climate-change-programme-rccp/](http://www.oneworldgroup.co.za/projects/climate-change/southern-african-regional-climate-change-programme-rccp/)) et de *Maplecroft* basé à Londres (<http://maplecroft.com/themes/cc/>).

Pour une méthode de cartographie de la vulnérabilité climatique basée sur un modèle économétrique, voir WHEELER, David, *Quantifying Vulnerability to Climate Change : Implications for Adaptation Assistance*, Working Paper 240, Washington, DC : Center for Global Development, 24 janvier 2011, <http://www.cgdev.org/content/publications/detail/1424759/>.

85. Voir BUSBY, WHITE et SMITH, *Locating Climate Insecurity*.

86. Parmi nos collaborateurs figurent Kerry Cook ([www.jsg.utexas.edu/researcher/kerry\\_cook/](http://www.jsg.utexas.edu/researcher/kerry_cook/)) et Ned Vizy ([www.ig.utexas.edu/people/staff/ned/](http://www.ig.utexas.edu/people/staff/ned/)) de la *Jackson School of Geosciences*.

87. Le CGCM3.1 est un modèle de climat planétaire couplé de troisième génération du Centre for Climate Modelling and Analysis canadien. Le ECHAM5\_MPI-OM a été élaboré au *Max Planck Institute for Meteorology* – MPIM. Il associe un modèle climatique à un modèle de circulation générale atmosphérique (ECHAM5) à composante de glace de mer-océan MPI-OM. Le *GFDL CM2.X (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Coupled Model, version 2.X)* fut élaboré au NOAA *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* ; il s'agit d'un modèle couplé de circulation générale atmosphère-océan (AOGCM). Le *MIROC3.2\_MEDRES* est un modèle couplé élaboré au Japon par le centre de recherche sur le système climatique (université de Tokyo), l'institut national d'études de l'environnement et le centre de recherches avancées sur le changement climatique mondial (JAMSTEC). Le *MRI-CGCM\_2.3.2* est un autre modèle japonais de l'institut de recherches météorologiques de l'agence météorologique du Japon.

88. TEBALDI et al., « *Going to the Extremes* », pp. 185–211. Pour l'application de Tebaldi à court terme, voir BUJA, Lawrence et ARBLASTER Julie, « *A Climate Change Gallery: Changes in Key Climate Means and Extremes between 1990's and the 2030's* », consulté le 25 avril 2012, [www.cgd.ucar.edu/cr/climate\\_change\\_gallery\\_test/](http://www.cgd.ucar.edu/cr/climate_change_gallery_test/).

89. LEVY, Marc A. et al, *Assessment of Select Climate Change Impacts on U.S. National Security*, New York : Center for International Earth Science Information Network, Columbia University, 1 juillet 2008, [www.ciesin.columbia.edu/documents/Climate\\_Security\\_CIESIN\\_July\\_2008\\_v1\\_0.ed.pdf](http://www.ciesin.columbia.edu/documents/Climate_Security_CIESIN_July_2008_v1_0.ed.pdf).