



**HAL**  
open science

## Cartographier la vulnérabilité aux variations climatiques : une méta-analyse en Afrique

Charlotte Pavageau, Bruno Locatelli, Anne-Marie Tiani, Mathurin Zida

### ► To cite this version:

Charlotte Pavageau, Bruno Locatelli, Anne-Marie Tiani, Mathurin Zida. Cartographier la vulnérabilité aux variations climatiques : une méta-analyse en Afrique. 2013, pp.48. cirad-00925935

**HAL Id: cirad-00925935**

**<https://hal.science/cirad-00925935>**

Submitted on 8 Jan 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Cartographier la vulnérabilité aux variations climatiques

Une méta-analyse en Afrique

Charlotte Pavageau

Bruno Locatelli

Anne-Marie Tiani

Mathurin Zida



# **Cartographier la vulnérabilité aux variations climatiques**

Une méta-analyse en Afrique

**Charlotte Pavageau**

CIFOR, Yaoundé, Cameroun

**Bruno Locatelli**

CIRAD, UPR BSEF, Montpellier, France

CIFOR, Lima, Pérou

**Anne-Marie Tiani**

CIFOR, Yaoundé, Cameroun

**Mathurin Zida**

CIFOR, Ouagadougou, Burkina Faso

Document de Travail 118

© 2013 Centre de recherche forestière internationale (CIFOR)

Le contenu de cette publication est soumis à une licence des Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0

Pavageau, C, Locatelli, B, Tiani, A-M et Zida M. 2013. *Cartographier la vulnérabilité aux variations climatiques : une méta-analyse en Afrique*. Document de travail 118. Bogor, Indonésie : CIFOR.

Photographie de couverture : Ollivier Girard/CIFOR

Vieille femme transportant sa récolte journalière, sur la route de la réserve à proximité du village de Masako - Kisangani RDC.

Ce document a été produit avec le soutien financier du CRP-FTA (Programme de recherche du CGIAR sur les forêts, les arbres et l'agroforesterie), d'AusAid (accord 63560 sur le partenariat de recherche du CIFOR sur la REDD+), du projet ACFAO, financé par le Fonds français pour l'environnement mondial, et du projet COBAM, financé par le Programme d'appui à la conservation des écosystèmes du bassin du Congo (PACEBCo) de la Banque africaine de développement et de la Communauté économique des États de l'Afrique centrale.

CIFOR  
Jl. CIFOR, Situ Gede  
Bogor Barat 16115  
Indonésie

T +62 (251) 8622-622

F +62 (251) 8622-100

E [cifor@cgiar.org](mailto:cifor@cgiar.org)

**[cifor.org](http://cifor.org)**

Nous tenons à remercier tous les donateurs qui ont soutenu cette recherche avec leurs contributions au Fonds du CGIAR. Pour une liste des donateurs au Fonds, s'il vous plaît voir: <https://www.cgiarfund.org/FundDonors>.

Tous les points de vue figurant dans cet ouvrage sont ceux des auteurs. Ils ne représentent pas forcément les points de vue du CIFOR, des responsables de la rédaction, des institutions respectives des auteurs, des soutiens financiers ou des relecteurs.

# Table des matières

<b>1. Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2. Méthodes</b>	<b>2</b>
<b>3. Résultats</b>	<b>4</b>
3.1 Aperçu de la diversité des indices	4
3.2 Classification des indices	6
3.3 Groupe 1 : Pauvreté et agriculture	7
3.4 Groupe 2 : Population	8
3.5 Groupe 3 : Richesse et capitaux non agricoles	9
3.6 Groupe 4 : Failles de gouvernance	9
3.7 Hors groupes	10
3.8 Agrégation des cartes	10
<b>4. Discussion</b>	<b>13</b>
<b>5. Conclusion</b>	<b>15</b>
<b>6. Références</b>	<b>16</b>
<b>Annexe</b>	<b>19</b>



# 1. Introduction

En plus de la variabilité climatique qui a toujours affecté la société, le changement climatique anthropique constitue un défi supplémentaire pour les populations vulnérables et leurs activités, en particulier en Afrique (GIEC, 2007). L'analyse de la vulnérabilité actuelle ou future, sous différents scénarios climatiques, ainsi que l'étude de ses causes à échelles multiples est le point de départ des processus de planification de l'adaptation (Ribot, 2011). Partant de cette analyse, il est possible d'identifier des politiques et des mesures réduisant la vulnérabilité et augmentant les capacités d'adaptation (Adger et al., 2003 ; Adger et al., 2004 ; O'Brien et al., 2004). Parmi les différentes approches existantes de l'analyse de la vulnérabilité, la quantification et la cartographie d'indices de vulnérabilité se sont particulièrement développées ces dernières années (Füssel, 2010). Suivant cette approche, des indicateurs mesurables de vulnérabilité sont agrégés en un indice qui peut être représenté spatialement (Locatelli et al., 2008).

De nombreux acteurs de l'arène politique sur le changement climatique, qu'ils soient bailleurs de fonds, négociateurs internationaux ou décideurs politiques nationaux, appellent au développement d'indices de vulnérabilité au changement climatique comme base supposée objective pour l'identification de priorités, la planification et le financement de l'adaptation. La demande du conseil du Fonds d'adaptation de la CCNUCC au GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat, ou IPCC en anglais) de définir des indices de vulnérabilité afin d'identifier les pays éligibles à ce fonds en est une illustration (Adaptation Fund Board, 2010). Ces cartes devraient permettre d'identifier les « hotspots » de vulnérabilité, en d'autres termes, les zones où la vulnérabilité est la plus forte et où des actions prioritaires sont nécessaires. L'attrait pour les approches quantifiées et spatiales s'explique par deux raisons principales. D'une part, les quantifications permettent de comparer des pays ou des zones géographiques pour guider des arbitrages. D'autre part, la représentation cartographique est facilement interprétable et constitue un outil de communication à l'intention d'un large public (Schmitz et al., 2003).

De nombreux auteurs insistent sur le fait que les évaluations quantifiées de la vulnérabilité servent avant tout de point de départ à des analyses

ultérieures plus approfondies (Bohle et al., 1994 ; Thornton et al., 2008). Le développement de cartes de vulnérabilité pose de nombreux défis liés à l'hétérogénéité spatiale, à la rareté des indicateurs fiables et mesurés uniformément à l'échelle d'un continent, aux différentes échelles temporelles concernées (par exemple le futur climat et la situation actuelle), et aux incertitudes dans les scénarios climatiques futurs. Bien que les limites soient souvent exprimées clairement par leurs auteurs, les utilisateurs en ont parfois moins bien conscience.

L'utilisation d'indices ou de cartes de vulnérabilité pour comparer différentes zones se heurte à un autre problème : celui du jugement subjectif sur ce qui est meilleur ou pire (Klein, 2009). En raison des multiples interprétations de la vulnérabilité et des multiples effets que peut avoir le changement climatique sur différents groupes sociaux ou secteurs économiques, il est difficile sur la base d'un seul indice ou d'une seule carte, de déterminer si un pays est plus vulnérable qu'un autre. Les scientifiques ne peuvent donc pas donner une réponse objective à une question fortement politique des priorités de l'adaptation (Klein, 2010). Cependant, ils peuvent fournir des éléments pour influencer un processus de décision politique.

L'objectif de ce document est de passer en revue des cartes de vulnérabilité à l'échelle du continent africain pour répondre aux questions suivantes : parmi la diversité des indices et des cartes de vulnérabilité, est-il possible de distinguer des groupes présentant des traits communs, par exemple identifiant les mêmes zones fortement vulnérables ? Comment expliquer les différences entre les cartes ? Où se trouvent les zones fortement vulnérables en Afrique selon chaque groupe de cartes ? Ce document n'est pas une revue exhaustive des indices et cartes de vulnérabilité mais analyse les divergences et les traits communs entre des études de la vulnérabilité des populations d'un même continent. La comparaison d'indices construits avec différentes conceptualisations et méthodes, ou pour divers secteurs et expositions, peut paraître contradictoire. Il ne s'agit pas ici de construire un méta-indice mais de révéler la diversité des résultats et apporter un éclairage sur les implications politiques des cartes. La compréhension de la diversité des cartes est nécessaire à une utilisation avisée.



## 2. Méthodes

Le cadre conceptuel général utilisé dans ce document est la définition de la vulnérabilité au changement climatique du troisième rapport d'évaluation du GIEC (McCarthy et al., 2001), qui considère la vulnérabilité comme une fonction de l'exposition (E), de la sensibilité (S) et de la capacité adaptative (CA) (Figure 1). Cette définition, qui s'applique aussi bien à la vulnérabilité biophysique que sociale, servira à analyser les indices représentant la vulnérabilité des sociétés, parfois en lien avec celles des écosystèmes.

Nous avons recherché des publications scientifiques sur des indices de vulnérabilité et leur application en Afrique via ISI Web of science et Google Scholar à l'aide des mots-clés suivants : « (measure OR mapping OR index OR hotspot) AND (vulnerability OR adaptation) AND (climate OR environment) ». Pour obtenir un échantillon assez large d'études, nous avons étendu la recherche aux documents cités dans les articles de revue bibliographique et aux publications non scientifiques, comme des rapports d'organisations internationales ou d'ONG, puisque beaucoup d'indices de vulnérabilité sont développés

pour un public de praticiens ou de décideurs politiques.

Nous avons retenu les études qui répondaient aux critères suivants : (i) l'indice évalue la vulnérabilité des systèmes sociaux et de leurs moyens d'existence (par exemple, la population en général, l'agriculture et la sécurité alimentaire, ou l'accès à l'eau) ou de systèmes socio-écologiques, en excluant les études focalisées uniquement sur les systèmes écologiques ; (ii) l'indice fait référence à la variabilité climatique ou au changement climatique (par exemple, des indices sur l'insécurité alimentaire sans référence au climat sont exclus) ; (iii) l'indice intègre au moins deux composantes de la vulnérabilité parmi l'exposition, la sensibilité et la capacité adaptative (par exemple, sont exclus les indices basés uniquement sur le climat car ils n'abordent que la composante exposition, ou ceux basés uniquement sur la gouvernance comme facteur de capacité adaptative) ; (iv) l'indice a été appliqué sur au moins 50 % de la surface du continent africain ; (v) les valeurs sont disponibles sous forme de cartes ou tableaux.

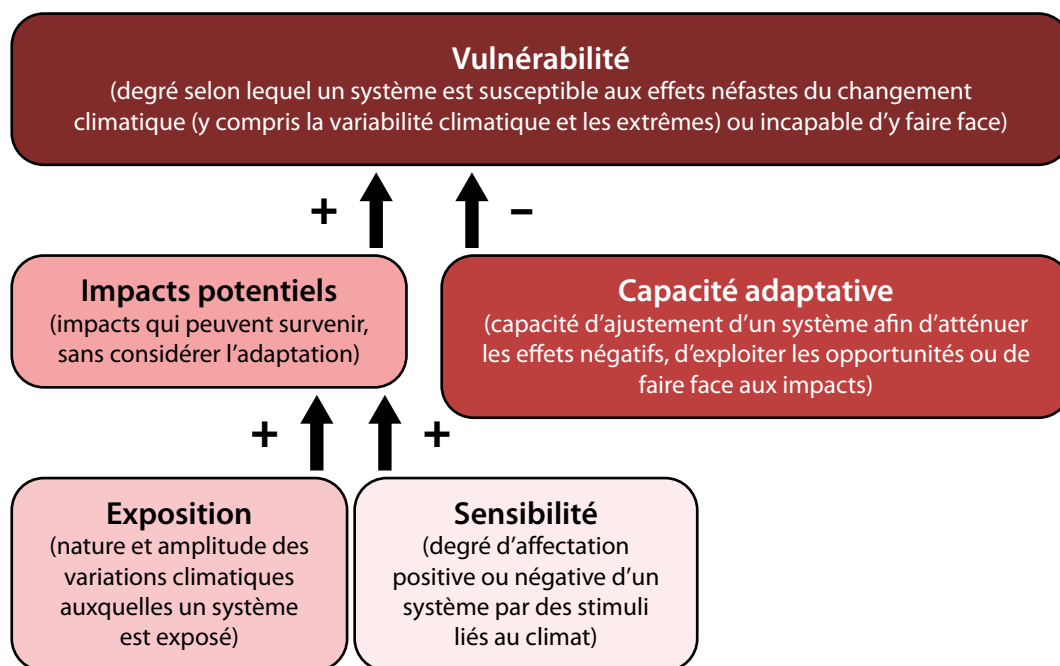


Figure 1. Composantes de la vulnérabilité suivant les définitions du GIEC (McCarthy et al., 2001). Les signes sous les flèches signifient qu'une forte exposition, une forte sensibilité et une faible capacité adaptative induisent une forte vulnérabilité.

La sélection a permis de retenir 19 études, qui présentaient 23 indices de vulnérabilité et leur application au continent africain. Pour chaque étude, nous avons analysé l'approche, le système étudié et les différentes composantes de la vulnérabilité prises en compte en distinguant les composantes d'exposition, de sensibilité et de capacité d'adaptation. Afin de comparer les approches, nous avons également précisé pour chaque indice les caractéristiques spatiales (résolution, champ d'application), les composantes considérées (E, S et CA) et les méthodes d'agrégation des indicateurs. Nous avons également transformé toutes les valeurs des indices en cartes comparables (voir Annexe pour une description détaillée de chaque indice).

Pour comparer et grouper les indicateurs, nous avons ré-échantillonné toutes les cartes à une résolution de 1/24 arc-degré (environ 5 kilomètres). Certains indices ont été transformés linéairement ou reclassifiés pour faciliter la comparaison (voir Annexe). Compte tenu de la restriction du champ géographique de certaines études (par exemple, sur les zones sèches uniquement ou lorsque des données manquaient pour certains pays), seuls 15 des 23 indices couvraient plus de 90 % du territoire africain, 4 entre 80 % et 90 % et 4 entre 60 % et 80 %. L'intersection des champs géographiques des 23 indices ne couvrait que 18 % du territoire. Par conséquent, il n'était pas possible de conduire une analyse en composantes principales car elle aurait été effectuée sur un échantillon non représentatif de l'ensemble du territoire. Nous avons analysé les corrélations de rang de Pearson entre chaque paire d'indices. Pour les paires dont l'intersection des champs géographiques couvrait moins de 50 % du territoire, la corrélation a été considérée nulle (ce qui ne concerne que 5 des 253 paires).

Nous avons ensuite représenté ces corrélations dans un espace à deux dimensions à l'aide de

l'algorithme de Kamada et Kawai (1989). Avec cet algorithme, deux indices sont d'autant plus proches sur le graphique que leurs corrélations sont fortement positives et d'autant plus éloignés que leurs corrélations sont fortement négatives. L'analyse du graphique a permis d'identifier des groupes d'indices corrélés. Pour comprendre ce qui caractérise chaque groupe, nous avons analysé les corrélations entre les cartes produites par les indices d'un même groupe et quelques cartes de variables explicatives : l'indice de développement humain (UNDP, 2012), la densité de population (CIESIN, 2005), la dépendance à l'agriculture (Eriyagama et al., 2009), la biomasse forestière pour distinguer les zones à forêt dense, forêt sèche ou sans forêt (Ruesch et Gibbs, 2008), la pluviométrie pour distinguer les zones sèches et les zones humides (New et al. 1999) et un indicateur agrégé de gouvernance (Kaufmann et al., 2011). Ce dernier est la moyenne des indicateurs suivants : être à l'écoute et rendre compte, l'instabilité politique et la violence, l'efficacité des pouvoirs publics, le fardeau réglementaire, l'état de droit, la maîtrise de la corruption.

Pour chaque groupe d'indices, nous avons calculé en chaque point du continent la valeur moyenne de la vulnérabilité des indices au sein du groupe, après avoir transformé toutes les valeurs en classement relatif (« ranking ») sur une même échelle de 0 à 100. Nous avons également calculé l'écart-type des valeurs de vulnérabilité au sein du groupe, afin d'estimer la divergence des estimations. La moyenne et l'écart-type ont été cartographiés simultanément à l'aide d'un code de couleur à deux dimensions. Cette représentation montre la valeur moyenne de vulnérabilité de chaque point du territoire selon le groupe d'indice ainsi que le degré de convergence entre les indices au sein de ce groupe.

# 3. Résultats

## 3.1 Aperçu de la diversité des indices

### 3.1.1 Leurs approches

Parmi les 19 études sélectionnées, l'approche du GIEC est citée à plusieurs reprises par les auteurs comme cadre de la vulnérabilité (Döll, 2009 ; Ericksen et al., 2011 ; Malone et Brenkert, 2009 ; Hossain, 2001 ; Yohe et al., 2006). Cependant, l'interprétation particulière du terme et son application varie d'une étude à l'autre. Le concept de vulnérabilité peut être associé à d'autres concepts, tels que celui de la résilience (Malone et Brenkert, 2009 ; Population Action International, 2011 ; Yohe et al., 2006) ou de la susceptibilité (Diffenbaugh et al., 2007).

L'une des grandes distinctions dans les approches de la vulnérabilité, telle que définie par Kelly et Adger (2000), est de considérer la vulnérabilité comme un résultat (« end point ») ou comme un point de départ (« starting point »). Dans le premier cas, la vulnérabilité est une résultante des conséquences négatives des variations climatiques. Ces études se focalisent sur les risques et les impacts passés ou potentiels des variations climatiques (Döll, 2009 ; Ericksen et al., 2011 ; Hossain, 2001 ; Samson et al., 2011). Elles constituent la majorité des études de notre échantillon avec 12 des 19 études. Au contraire, la vulnérabilité vue comme un point de départ est une caractéristique interne du système, déterminée par une multitude de variables politiques, sociales et économiques. Ces études analysent les causes sous-jacentes de la vulnérabilité et se focalisent sur les capacités des systèmes à faire face à un stress (Yohe et al., 2006).

### 3.1.2 Leurs systèmes

Les études examinent différents systèmes vulnérables (Tableau 1). Il peut s'agir de la société en général, vue comme des systèmes socioéconomiques en interaction avec les systèmes écologiques (Brooks et al., 2005 ; Yohe et al., 2006 ; Sietz et al., 2011 ; Malone et Brenkert, 2009 ; Haddad, 2005). D'autres études se focalisent sur des populations plus ciblées comme les populations dépendantes des ressources naturelles ou agricoles (Hossain, 2001 ; PAI, 2011). Certaines études examinent la vulnérabilité d'un ou plusieurs secteurs ou moyens de subsistance sensibles au climat, par exemple l'agriculture, la sécurité

alimentaire ou les ressources en eau, qui apparaissent fréquemment comme un reflet des relations hommes-environnement-climat (Sullivan et al., 2002). Pour certaines études, le système étudié reste relativement imprécis et se réfère à la société en général.

### 3.1.3 Leurs disciplines et leurs échelles

La plupart des études appliquent une approche multidisciplinaire, combinant des données biophysiques, socioéconomiques et politiques (Döll, 2009 ; Samson et al., 2011 ; Iglesias et Rosenzweig, 2010 ; PAI, 2011) ou intégrant des indicateurs économiques et sociopolitiques (Wheeler, 2011). Alors que les approches socioécologiques ou focalisées sur les moyens de subsistance sont plutôt appliquées à l'échelle sous-nationale pour représenter des conditions locales, les approches d'économie politique ou purement socioéconomiques travaillent à l'échelle nationale pour caractériser des déterminants de la vulnérabilité qui s'exercent à l'échelle du pays. Seulement six études travaillent à l'échelle sous-nationale, en partie à cause du manque de données spatiales à l'échelle du continent.

### 3.1.4 Leurs prises en compte de l'exposition

Les indices analysent la vulnérabilité par rapport à une exposition, qui peut être soit le changement climatique futur, soit la variabilité climatique passée. L'exposition climatique est souvent mesurée par les variations d'un ou plusieurs paramètres climatiques, en particulier la température, les précipitations, le niveau de la mer ou les événements extrêmes (Malone et Brenkert, 2009 ; Brooks et al., 2005 ; Kaly et al., 2004 ; Diffenbaugh et al., 2007). Certains indices évaluent la vulnérabilité aux sécheresses ou aux pénuries d'eau, mais n'utilisent pas explicitement des indicateurs d'exposition (Vincent, 2004 ; Haddad, 2005 ; Sietz et al., 2011 ; Sullivan et al., 2002). Certains indices incorporent des éléments d'expositions non climatiques (par exemple les tremblements de terre) ou attirent l'attention sur les interactions entre différents changements globaux (Kaly et al., 2004), alors que d'autres se focalisent sur une seule exposition pour évaluer la vulnérabilité.

L'analyse de la vulnérabilité future se fait par le recours à des scénarios climatiques. Dans certaines études, les incertitudes dans les scénarios futurs sont prises en compte en utilisant plusieurs scénarios

Tableau 1. Indices sélectionnés pour l'étude (la plupart des acronymes ont été créés dans ce rapport et ne proviennent pas des études passées en revue)

Acronyme	Nom	E	S	CA	Résolution	Système vulnérable	Référence
CCVI	Climate Change Vulnerability Index	Oui	Oui	Oui	Pays	Population, zone côtière, agriculture	(Wheeler, 2011)
CDVI	Global Climate Demography Vulnerability Index	Non	Oui	Oui	Pixel	Population	(Samson et al., 2011)
CVI	Climate Vulnerability Index	Non	Oui	Oui	Pays	Ressources en eau	(Sullivan et Meigh, 2005)
EGF	Effects of climate change on Global Food production	Oui	Oui	Non	Pays	Agriculture	(Iglesias et Rosenzweig, 2010)
EVI	Environmental Vulnerability Index	Oui	Oui	Non	Pays	Environnement et activités dépendant des ressources naturelles	(Kaly et al., 2004)
GCR	Global Climate Risk	Oui	Oui	Non	Pays	Population et économie	(Harmeling, 2011)
HCC	Hotspots of Climate Change and food insecurity in the tropics	Oui	Oui	Oui	Pixel	Agriculture et sécurité alimentaire	(Eriksen et al., 2011)
HVI	Human Vulnerability Index	Non	Oui	Oui	Pays	Population dépendant des ressources naturelles	(Hossain, 2001)
IHV	Index of human vulnerability to climate change	Oui	Oui	Oui	Pixel	Ressources en eau souterraine	(Döll, 2009)
NCD	National Capacity from a Dictatorial governance perspective	Oui	Oui	Oui	Pays	Gouvernance, société en général avec un accent sur les problèmes d'eau	(Haddad, 2005)
NCL	National Capacity from a Contractarian Liberal governance perspective	Oui	Oui	Oui	Pays	Gouvernance, société en général avec un accent sur les problèmes d'eau	(Haddad, 2005)
NCT	National Capacity from a Technocratic governance perspective	Oui	Oui	Oui	Pays	Gouvernance, société en général avec un accent sur les problèmes d'eau	(Haddad, 2005)
NCU	National Capacity from a Utilitarian perspective	Oui	Oui	Oui	Pays	Gouvernance, société en général avec un accent sur les problèmes d'eau	(Haddad, 2005)
NDHD	Natural Disaster Hotspots	Oui	Oui	Non	Pixel	Population et économie	(Dilley et al., 2005)
NDHF	Natural Disaster Hotspots	Oui	Oui	Non	Pixel	Population et économie	(Dilley et al., 2005)
PCCH	Population and Climate Change Hotspot	Non	Oui	Oui	Pays	Production agricole rapportée à la population	(Population Action International, 2011)
SCE	Socio-Climatic Exposure	Oui	Oui	Non	Pays	Population, population pauvre et richesses	(Diffenbaugh et al., 2007)
SVI	Social Vulnerability Index	Non	Oui	Oui	Pays	Économie rurale dépendante de l'eau	(Vincent, 2004)
VAC	Vulnerability and Adaptive Capacity	Non	Oui	Oui	Pays	Société en général	(Brooks et al., 2005)
VCC	Global Distribution of Vulnerability to Climate Change	Oui	Oui	Oui	Pays	Société en général	(Yohe et al., 2006)
VPD	Vulnerability Patterns of Drylands	Non	Oui	Oui	Pixel	Société en général dans les zones sèches	(Sietz et al., 2011)
VRIM	Vulnerability-Resilience Indicator Model	Non	Oui	Oui	Pays	Société en général	(Malone et Brenkert, 2009)
WPI	Water Poverty Index	Non	Oui	Oui	Pays	Populations pauvres dépendantes de l'eau	(Sullivan et al., 2002)

d'émissions de CO<sub>2</sub>, plusieurs modèles de circulation globale (entre 1 et 22 selon les études) et plusieurs horizons temporels, qui se traduisent par plusieurs valeurs des indices d'exposition (Döll, 2009 ; Ericksen et al., 2011 ; Yohe et al., 2006). Cette approche est utile pour explorer les futurs possibles et étudier la sensibilité des résultats à des scénarios climatiques différents. D'autres, au contraire, se restreignent à un seul scénario futur (Ericksen et al., 2011 ; Samson et al., 2011 ; PAI, 2011).

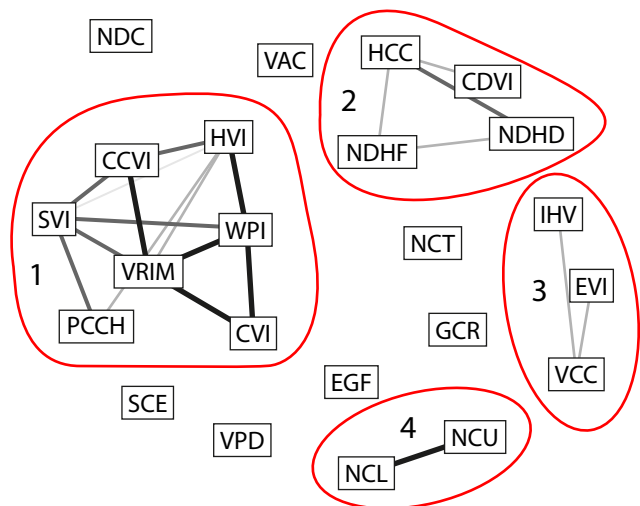
### 3.1.5 Leurs prises en compte de la sensibilité et la capacité d'adaptation

La séparation théorique entre sensibilité et capacité d'adaptation, telle que définie par le GIEC, n'est pas toujours possible dans la construction des indices, qui peuvent regrouper les deux concepts (Sietz et al., 2011 ; Haddad, 2005). Les indices utilisent souvent des indicateurs similaires pour la sensibilité et pour la capacité d'adaptation. Parmi les indicateurs les plus utilisés, la capacité économique (revenus, pauvreté), les ressources naturelles (état et gestion des ressources naturelles), les ressources humaines (santé, éducation, démographie), les ressources en eau et l'agriculture, les infrastructures (routes, équipements pour l'eau potable) et les aspects sociaux (inégalités dans les revenus, aspects liés au genre) font écho aux cinq types de capitaux de l'approche « Sustainable Livelihoods Framework » (ou cadre d'analyse des moyens durables d'existence) (Chambers et Conway, 1992 ; Scoones, 1998). Les aspects liés à la gouvernance, aux politiques ou aux relations internationales sont en revanche moins fréquemment examinés (Wheeler, 2011 ; Brooks et al., 2005) alors qu'ils constituent des déterminants nationaux de la vulnérabilité.

Parmi tous ces indicateurs, ceux relatifs à la dépendance aux ressources naturelles, à la population ou aux secteurs exposés, à l'état des ressources naturelles et aux rendements agricoles sont plutôt associés à la sensibilité, alors que les indicateurs institutionnels, de pauvreté, de développement ou de stabilité politique sont plutôt associés à la capacité d'adaptation. La démographie ou la répartition de la population est un indicateur utilisé dans un grand nombre d'indices : une forte densité de population est vue alternativement comme un stress ou comme un facteur augmentant la capacité adaptative (Yohe et al., 2006 ; Malone et Brenkert, 2009).

## 3.2 Classification des indices

L'analyse des corrélations entre les paires d'indices fait ressortir quatre groupes à l'intérieur desquels



**Figure 2. Représentation en réseau des corrélations entre indices de vulnérabilité.** Les liens épais et en noir correspondent à des coefficients de corrélation de Pearson supérieurs à 0,65, les liens en gris foncé entre 0,55 et 0,65 et les liens fins et en gris clair entre 0,45 et 0,55. La position des indices sur la figure a été établie avec l'algorithme de Kamada-Kawai, qui permet que deux indices soient proches s'ils sont corrélés positivement et éloignés s'ils sont corrélés négativement.

les indices présentent des corrélations positives (Figure 2). Le réseau de corrélations indique que les répartitions spatiales de la vulnérabilité sont similaires au sein de chaque groupe et diffèrent entre groupes. Un cinquième groupe se compose d'indices isolés, qui montrent des répartitions singulières de la vulnérabilité, différentes de tous les autres indices.

Chaque groupe d'indice présente des corrélations supplémentaires avec d'autres variables explicatives (Tableau 2). Ces corrélations renseignent sur les caractéristiques des zones les plus vulnérables du groupe en question. Dans le premier groupe, les indices de vulnérabilité sont corrélés négativement à l'indice de développement humain et positivement à l'indice de dépendance à l'agriculture. En d'autres termes, la vulnérabilité est forte dans les zones peu développées et fortement dépendante de l'agriculture selon ce groupe 1 (appelé « pauvreté et agriculture »). Dans le deuxième groupe, les indices sont corrélés positivement à la densité de population (d'où le nom du groupe « population »). Selon le troisième groupe, la vulnérabilité est plus grande quand l'indice de développement humain est élevé et la dépendance à l'agriculture faible (d'où le nom « richesse et capitaux non agricoles »). Enfin, les indices du quatrième

Tableau 2. Quatre groupes d'indices de vulnérabilité

Groupe	Indices membres du groupe	Variables explicatives les plus corrélées avec les membres du groupe	Nom du groupe
1	CCVI, CVI, HVI, PCCH, SVI, VRIM, WPI.	Faible indice de développement humain Forte dépendance à l'agriculture	Pauvreté et agriculture
2	CDVI, HCC, NDHD, NDHF.	Forte densité de population	Population
3	EVI, IHV, VCC.	Fort indice de développement humain Faible dépendance à l'agriculture	Richesse et capitaux non agricoles
4	NCU, NCL.	Faible indicateur de bonne gouvernance	Faibles de gouvernance
Hors groupes	EGF, GCR, NCD, NCT, SCE, VAC, VPD	Divers	Cas particuliers

groupe sont corrélés négativement à un indicateur de bonne gouvernance (d'où le nom « failles de gouvernance »).

### 3.3 Groupe 1 : Pauvreté et agriculture

Le premier groupe d'indices est le plus peuplé et connecté, comprenant sept indices. Trois de ces indices (CCVI, VRIM et PCCH) portent en partie sur la sécurité alimentaire et le secteur agricole, tandis que trois autres (CVI, SVI et WPI) s'intéressent aux ressources en eau en lien avec les économies rurales et les populations pauvres. Enfin, l'indice HVI s'intéresse aux interactions entre l'utilisation des terres, l'eau et le climat.

L'indice CCVI (Climate Change Vulnerability Index) applique une approche économétrique pour évaluer comment les risques liés aux événements climatiques extrêmes, à la montée du niveau des mers et aux pertes de production agricole, dépendent du changement climatique et d'autres facteurs comme l'information, la démographie, l'urbanisation et la gouvernance (Wheeler, 2011). L'indice VRIM (Vulnerability-Resilience Indicator Model) analyse la sensibilité et la capacité de répondre à des changements divers, y compris au changement climatique, à partir de 18 variables socioéconomiques et environnementales, relatives par exemple aux infrastructures, à la sécurité alimentaire, à la santé, aux ressources hydriques et au capital humain (Malone et Brenkert, 2009).

Selon l'indice PCCH (Population and Climate Change Hotspot) développé par l'ONG Population Action International (2011), la vulnérabilité résulte de l'interaction entre croissance rapide de la population, baisse de la production agricole, stress

hydrique et faible résilience (mesurée par l'indice composite VRIM). Les baisses de la production agricole sont issues de modèles agroécologiques intégrant les projections climatiques futures et développés par Iglesias et Rosenzweig (2010). Pour l'indice HVI (Human Vulnerability Index), la vulnérabilité peut être mesurée par les risques induits pour les populations exposées (proportion de la population dépendant des ressources forestières, vivant à moins de 100 kilomètres des côtes ou n'ayant pas accès à l'eau potable et à l'assainissement) à des changements (par exemple de climat, de conflits ou de capital naturel) et par les capacités à y faire face (estimées par le pourcentage de la population vivant au-dessus du seuil de pauvreté) (Hossain, 2001).

L'indice CVI (Climate Vulnerability Index) mesure la vulnérabilité de la population aux changements concernant les ressources en eau, avec des indicateurs de sensibilité et de capacité adaptative (par exemple, la présence de côtes de faible altitude, la disponibilité des ressources en eau, l'accès et les droits de propriété, l'utilisation et l'efficacité économique de l'utilisation de l'eau, ou l'existence d'institutions locales de gestion de l'eau) (Sullivan et Meigh, 2005). Malgré son nom, l'indice ne considère pas explicitement d'indicateurs de variations climatiques. Avec l'indice SVI (Social Vulnerability Index) de vulnérabilité des économies rurales aux variations de la disponibilité en eau dues au changement climatique, l'accent est mis sur la capacité adaptative (bien-être et stabilité économiques, structure démographique, stabilité institutionnelle, interconnectivité mondiale) et, dans une moindre mesure, la sensibilité (indicateur de dépendance aux ressources naturelles sensibles à la disponibilité en eau) (Vincent, 2004).

Pour le WPI (Water Poverty Index), la vulnérabilité résulte de stress hydriques et de la rareté de l'eau, en lien avec la pauvreté et le développement économique des pays (Sullivan et al., 2002). Même si les incidences du changement climatique sur la disponibilité future de l'eau sont reconnues, l'indice évalue une situation actuelle de disponibilité en eau et de contexte socioéconomique en lien avec l'accès à l'eau, son utilisation et les capacités de gestion, de régulation et de conservation des écosystèmes. L'indice intègre explicitement des dimensions de l'indice de développement humain des Nations Unies (éducation, PIB par habitant, santé).

Les sept indices de ce groupe rapprochent la vulnérabilité du manque de développement économique ou humain. Par exemple, Hossain (2001) considère la pauvreté comme l'un des facteurs principaux expliquant pourquoi le bien-être humain est affecté par des variations environnementales, et Sullivan et al. (2002) recommandent de cibler en priorité les femmes et les enfants dans les ménages les plus pauvres à qui incombe la charge de provision en eau. Pour caractériser les capacités d'adaptation, ces indices intègrent souvent des dimensions de l'indice de développement humain (comme l'espérance de vie, le PIB par habitant ou le taux d'alphabétisation dans VRIM), ce qui peut expliquer qu'ils soient corrélés. Quelquefois un indice en utilise un autre (comme VRIM utilisé dans PCCH).

Bien que le groupe s'appelle « pauvreté et agriculture », le secteur agricole n'est pas pris en compte par certains indices mais son appartenance à ce groupe s'explique par les liens entre la gestion des ressources en eau et l'agriculture. Par exemple, l'indice de prélèvement en eau dans CVI est lié à l'importance de l'agriculture. La présence d'indices dans ce groupe dépend de la pondération des indicateurs. Ainsi dans WPI, les indicateurs de pauvreté et de développement humain influent plus sur la valeur de l'indice que les indicateurs d'utilisation des ressources en eau, qui présentent une corrélation faible avec l'indice de développement humain (Lawrence et al., 2002).

Dans le cas de l'indice PCCH, l'approche révèle une vision néomalthusienne puisque la mesure principale proposée est la réduction de la croissance démographique par le planning familial. Pourtant, cet indice ne se trouve pas dans le groupe 2 (« population »), car des indicateurs liés à l'agriculture et au développement humain sont intégrés. On

observe donc que le choix des indicateurs et la technique d'agrégation donnent un résultat qui ne correspond pas forcément à la conceptualisation initiale de la vulnérabilité.

### 3.4 Groupe 2 : Population

Le groupe 2 est composé de quatre indices qui présentent une forte corrélation positive avec la densité de la population car ils considèrent cette densité comme un déterminant de la vulnérabilité (comme CDVI), utilisent des indicateurs du nombre de personnes affectées par des événements passés (comme NDHD ou NDHF) ou évaluent l'équilibre entre population et production agricole ou autres ressources (comme HCC).

L'indice CDVI (Global Climate Demography Vulnerability Index) estime les effets potentiels du changement climatique sur les populations humaines en combinant, d'une part, les corrélations spatiales entre le climat actuel et la densité de population et, d'autre part, des scénarios climatiques et démographiques (Samson et al., 2011). Les zones de forte vulnérabilité au changement climatique correspondent aux régions actuellement fortement peuplées où les conditions climatiques deviennent défavorables (sécheresses plus fréquentes, diminution de la nappe phréatique, augmentation de la température) combinées à une rapide croissance de la population.

Les deux indices NDHD et NDHF (Natural Disaster Hotspots for Droughts / Floods) analysent les risques de pertes humaines et économiques causées respectivement par les sécheresses ou les inondations (Dilley et al., 2005), à partir de données sur les pertes passées et sur les aléas climatiques passés. Le risque est ajusté en fonction de la population et du produit intérieur brut actuels, ce qui explique que l'indice est plus élevé dans les zones à forte densité de population. Par ailleurs, les zones peu peuplées sont exclues de cette étude.

L'indice HCC (Hotspots of Climate Change and food insecurity in the tropics) évalue les problèmes de sécurité alimentaire dans des scénarios de changement climatique (Ericksen et al., 2011). Les zones sont classées en domaines de vulnérabilité, en fonction de leur exposition, leur sensibilité et leur capacité d'adaptation. Les zones dépassant des seuils climatiques clés pour la production agricole en 2050 sont considérées comme des zones à forte exposition. La sensibilité est évaluée vis-à-

vis du pourcentage de surface agricole, alors que la capacité d'adaptation est mesurée à travers un indicateur de malnutrition, qui reflète des problèmes institutionnels, économiques et politiques. La présence de cet indice dans le groupe « population » est à chercher dans la corrélation entre densité de population et surfaces agricoles sur le continent africain, et le taux de malnutrition élevé dans certaines zones peuplées, même si la malnutrition s'explique par une multitude de facteurs (politiques, environnementaux, situation de conflits) plutôt que par des facteurs démographiques seulement.

### 3.5 Groupe 3 : Richesse et capitaux non agricoles

Selon les trois indices de ce groupe, la vulnérabilité est plus forte dans les zones les plus développées et moins dépendantes de l'agriculture, à l'opposé de ceux du premier groupe. L'indice EVI (Environmental Vulnerability Index) combine 50 indicateurs de vulnérabilité dont 32 d'exposition à différents risques environnementaux (par exemple, les sécheresses, les éruptions volcaniques ou les émissions de dioxyde de soufre par l'industrie), 8 de résistance aux risques (par exemple, la superficie du pays ou les espèces migratrices) et 10 de dommages (par exemple, le nombre d'espèces en danger ou la fragmentation des écosystèmes) (Kaly et al., 2004). Cet indice se focalise sur les effets potentiels d'une multitude de risques, dont le changement climatique, sur l'environnement et les systèmes naturels. Même si l'étude justifie que l'environnement naturel est à la base de l'économie et de la société d'une nation, l'indice intègre très peu de variables socioéconomiques. Selon cet indice, la vulnérabilité est plus grande là où les activités humaines ont des incidences environnementales négatives. De nombreux indicateurs mesurant ces impacts (par exemple, les émissions de dioxyde de soufre) sont liés aux activités économiques de production et de consommation, fonction de la richesse du pays. Cela explique pourquoi les pays les plus développés apparaissent comme les plus vulnérables.

L'indice IHV (Index of Human Vulnerability to climate change) considère les conséquences du changement climatique sur les ressources en eau souterraine (Döll, 2009). Plusieurs scénarios climatiques sont utilisés pour évaluer les effets du changement climatique sur la recharge des nappes phréatiques. La sensibilité des populations dépend de la disponibilité et de la capacité à utiliser de manière

efficace ces eaux souterraines et les eaux douces de surface (Kundzewicz et Döll, 2009). Les indicateurs de sensibilité sont plus élevés en Afrique du Nord et en Afrique australe, dans les pays où les ressources en eau sont plus rares en raison du climat et où la consommation en eau souterraine est plus importante en raison du développement économique. Même si l'indice considère que les sociétés avec un faible développement ou un faible taux d'éducation ont une capacité d'adaptation réduite, l'effet du faible développement reste marginal sur le résultat final.

Dans l'indice VCC (Global Distribution of Vulnerability to Climate Change), la vulnérabilité dépend uniquement de l'exposition et de la capacité d'adaptation (Yohe et al., 2006). L'exposition est caractérisée par l'accroissement des températures dans différents scénarios climatiques. La capacité d'adaptation est évaluée par un sous-indice issu du VRIM (Vulnerability-Resilience Indicator Model) de Brenkert et Malone (2005). Les faibles capacités d'adaptation sont attribuées aux pays à faibles ressources humaines, faible capacité économique et faible capacité environnementale. Ce dernier facteur est corrélé aux indices de développement (par exemple, il intègre les taux d'émission de dioxyde de soufre et le pourcentage de terres domestiquées, généralement croissant avec le développement économique), qui contrebalance les deux autres facteurs de capacité d'adaptation. De plus, les auteurs montrent qu'au-delà d'un certain seuil d'augmentation de la température, les pays industrialisés deviennent tout aussi, sinon plus, vulnérables que les pays en développement. Enfin, plusieurs scénarios d'évolution des capacités d'adaptation sont appliqués à différents horizons temporels et montrent que les pays les moins développés bénéficient d'un potentiel d'augmentation plus grand de la capacité d'adaptation que les pays plus développés. Cela explique en partie la présence de cet indice dans le groupe 3.

### 3.6 Groupe 4 : Failles de gouvernance

Les deux indices appartenant à ce groupe montrent que les pays les plus vulnérables sont ceux qui présentent des failles de gouvernance. Ils sont issus de la même étude (Haddad, 2005), qui propose plusieurs indices sur la capacité d'adaptation des nations à répondre à des pénuries d'eau, en fonction de différentes aspirations sociopolitiques. Selon cette étude, les approches d'adaptation promues par les nations reposent sur des contextes normatifs et incitatifs différents qu'il est nécessaire de considérer



lorsqu'on mesure la capacité d'adaptation. Les indices NCU (National Capacity from an Utilitarian perspective) et NCL (National Capacity from a contractarian Liberal governance perspective) combinent ainsi des indicateurs économiques, politiques, sociologiques et biophysiques pour évaluer la capacité des pays à s'adapter aux stress climatiques, qui reflètent différentes formes de gouvernance. En particulier, les pondérations utilisées pour combiner les indicateurs varient dans chaque indice suivant le type de gouvernance.

L'indice NCU reflète des objectifs politiques tendant vers une maximisation du bien-être général. La capacité d'adaptation est alors élevée lorsque la note de la dette souveraine est forte, le PIB par habitant important, le coefficient de Gini faible et les libertés civiques respectées. Ces indicateurs représentent la capacité des États à fournir des services collectifs pour toute la population et à favoriser les opportunités d'investissement. En revanche, l'indice NCL reflète un libéralisme démocratique, qui attribue un poids plus important aux libertés civiques. La capacité d'adaptation évolue alors dans le même sens que la présence de libertés civiques bien établies, l'absence de répression des libertés civiques et un faible indice de Gini.

Les deux indices présentent des résultats relativement proches dus à l'intégration d'indicateurs communs, avec des pondérations identiques pour les inégalités économiques et les libertés civiques. En particulier, ce dernier facteur est en lien avec les indicateurs de la catégorie « être à l'écoute et rendre compte » des indices de gouvernance de Kaufmann et al. (2011). Une meilleure gouvernance mène également à une réduction des inégalités et de la pauvreté, expliquant l'appartenance des ces deux indices au groupe gouvernance.

### 3.7 Hors groupes

Les sept indices restants sont divers. Les indices VAC et GCR s'intéressent aux conséquences directes des événements extrêmes passés sur les sociétés, alors que les indices SCE et EGF évaluent leurs répercussions futures sur les populations ou les rendements agricoles. VDP s'intéresse à la pérennité de l'utilisation des ressources au vu des moyens de subsistance. Enfin, NCL et NCT découlent des approches d'économie politique des nations.

L'indice VAC (Vulnerability and Adaptive Capacity) sélectionne des facteurs de vulnérabilité qui peuvent expliquer statistiquement la mortalité causée par des

catastrophes climatiques passées (Brooks et al., 2005). Il s'agit par exemple de l'accès à l'assainissement ou du taux d'alphabétisation. Suivant une approche d'évaluation des risques, l'indice GCR (Global Climate Risk) analyse les conséquences d'événements climatiques extrêmes (tempêtes, inondations, vagues de chaleur et de froid) subis par les pays de 1991 à 2010 (Harmeling, 2011).

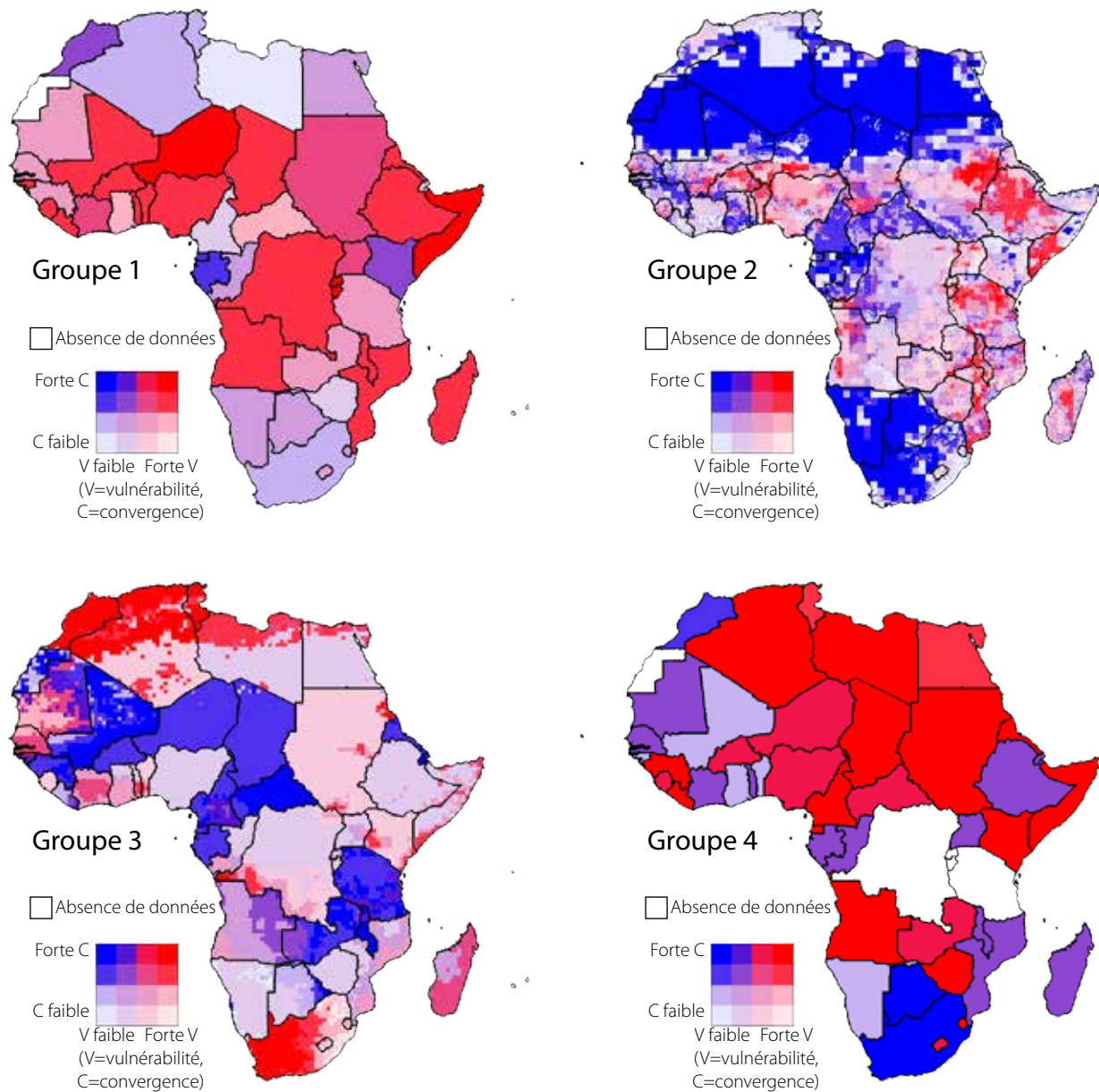
L'indice SCE (Socio Climatic Exposure) combine des indicateurs d'exposition (scénarios de changement climatique) à des indicateurs socioéconomiques qui décrivent la sensibilité de la population pauvre et des richesses économiques (Diffenbaugh et al., 2007). Ici, les auteurs considèrent à la fois la richesse et la pauvreté comme des facteurs augmentant la sensibilité. L'indice EGF (Effects of climate change on Global Food production) évalue les effets de sept scénarios climatiques et socioéconomiques sur la production agricole et la sécurité alimentaire (Iglesias et Rosenzweig, 2010). L'étude considère également le potentiel des pays à atteindre des rendements optimaux en se basant sur la comparaison des rendements actuels réels et potentiels.

Le VPD (Vulnerability Patterns of Drylands) crée une typologie des situations de vulnérabilité aux sécheresses dans les zones sèches, à partir d'indicateurs de pauvreté, de dégradation des ressources naturelles (stress hydrique et dégradation des sols), de contraintes agricoles naturelles et d'enclavement (Sietz et al., 2011). Sept types de situation sont identifiés, qu'il est possible d'ordonner par vulnérabilité croissante.

Les deux indices NCD et NCT (National Capacity from a Dictatorial governance perspective and from a Technocratic governance perspective) sont issus d'une étude présentée dans le groupe 4 (Haddad, 2005). Le NCT représente une conception technocratique où la capacité d'adaptation varie dans le sens inverse des libertés d'expression, entraves à une planification centralisée. L'indice NCD représente un régime dictatorial ou religieux qui pourrait mettre en place des mesures d'adaptation si les libertés civiques sont inexistantes, les inégalités internes fortes, les stress environnementaux importants et le niveau de revenu faible.

### 3.8 Agrégation des cartes

Pour chaque groupe d'indices, nous présentons les valeurs moyennes de vulnérabilité et le niveau de convergence des indices du groupe (Figure 3). Pour les groupes 1 et 4, ces cartes agrégées de vulnérabilité



**Figure 3. Cartes agrégées de vulnérabilité pour chaque groupe d'indices**

donnent des résultats par pays car tous ces indices sont nationaux. La carte du groupe 2 a une texture pixellisée car tous les indices sont appliqués à l'échelle du pixel. Le groupe 3 combine des indices aux échelles nationales et du pixel. Compte tenu de la diversité des indices dans le groupe 5 (« hors groupes »), la carte agrégée indique des divergences entre les indices presque partout (couleurs claires) et elle n'est pas représentée ici.

### 3.8.1 Groupe 1 : Pauvreté et agriculture

La carte agrégée indique que les indices concordent à montrer que le Niger, le Rwanda, le Burundi et la Somalie sont fortement vulnérables. D'autres

pays sont dans la même situation mais avec une concordance moyennement forte entre les indices de ce groupe (Mozambique, RDC, Malawi, Madagascar ainsi que beaucoup de pays sahéliens). En revanche, il n'y pas de pays faiblement vulnérable présentant une forte convergence des indices ; seuls deux pays faiblement vulnérables présentent une concordance moyennement forte (Gabon et Guinée équatoriale).

### 3.8.2 Groupe 2 : Population

La carte agrégée indique que les indices de ce groupe concordent avec l'identification de zones fortement vulnérables. Il s'agit en particulier de l'est du Soudan, du sud de la Somalie, de la vallée du Rift

(depuis l'Éthiopie jusqu'au Malawi en passant par la Tanzanie) et des zones sahéliennes (en particulier dans le centre du Burkina Faso et le sud du Niger). Les zones considérées faiblement vulnérables par tous les indices de ce groupe se trouvent dans le désert du Sahara et en Afrique australe (Namibie, Botswana, nord-est de l'Afrique du Sud).

### **3.8.3 Groupe 3 : Richesse et capitaux non agricoles**

Les indices de ce groupe concordent à montrer que les zones fortement vulnérables sont situées dans le

nord du Maghreb (en particulier en Algérie) et dans l'ouest de l'Afrique du Sud. Les zones les moins vulnérables avec une bonne concordance entre les indices se trouvent au Mali, en RCA ou au Malawi.

### **3.8.4 Groupe 4 : Failles de gouvernance**

Les indices de ce groupe concordent sur la forte vulnérabilité de certains pays (Algérie, Lybie, Tchad, Soudan, RCA, Guinée, Libéria, Guinée équatoriale, Angola, Zimbabwe, Kenya, Somalie et Érythrée). Les pays faiblement vulnérables selon ce groupe d'indices sont l'Afrique du Sud et le Botswana.

## 4. Discussion

### **Divergences sur la distribution spatiale de la vulnérabilité**

Les quatre cartes agrégées présentent des résultats très contrastés, en particulier celles des groupes 1 et 3. En effet, des pays fortement vulnérables selon les indices du groupe 1 (comme le Mali ou le Niger) sont les moins vulnérables selon le groupe 3. Cela s'explique par le fait que les indicateurs de vulnérabilité choisis reflètent deux interprétations différentes de la vulnérabilité : alors que les pays les plus pauvres et dépendants de l'agriculture sont considérés comme vulnérables par les indices du groupe 1, ce sont les pays les plus riches ou industrialisés (comme l'Afrique du Sud et l'Algérie) qui sont les plus vulnérables selon les indices du groupe 3. Beaucoup de zones présentent un niveau de concordance moyen à faible entre les indices d'un même groupe (couleurs pâles sur les cartes). Cela révèle la difficulté de faire ressortir une tendance globale sur les zones les plus vulnérables.

La carte du groupe 4 liée aux failles de gouvernance présente des similitudes avec la carte du groupe 1 (par exemple, concordance concernant la vulnérabilité de pays d'Afrique subsaharienne comme le Mali, le Tchad, le Soudan ou la Somalie). Toutefois, les interprétations diffèrent nettement pour d'autres pays (comme l'Algérie ou la Lybie). L'une des difficultés de comparaison de la carte du groupe 2 avec les autres vient de l'aspect pixellisé de cette carte, même si certaines zones vulnérables sur cette carte concordent avec les résultats du groupe 1.

### **Contraintes de la quantification de la vulnérabilité**

L'une des contraintes de la quantification de la vulnérabilité vient de la disponibilité des données, qui limite très fortement la sélection des indicateurs. À cela s'ajoutent des limites liées à la fiabilité, la résolution et l'actualisation des indicateurs. Parmi les études présentées ici, on observe une redondance des types d'indicateurs et de sources de données pour cette raison. Brenkert et Malone (2005) reconnaissent qu'il y a un degré d'arbitraire dans chaque combinaison d'indicateurs et que la disponibilité des données de bonne qualité limite toujours le développement des indices.

La vulnérabilité locale est influencée par une combinaison de facteurs à différentes échelles, par exemple de facteurs locaux (comme les ressources naturelles ou les institutions locales) ou nationaux (comme les politiques) (Fekete et al., 2009 ; O'Brien et al., 2004), alors que la vulnérabilité d'une nation va dépendre d'autres facteurs macroéconomiques et structurels. Il est ainsi difficile de comparer des études à l'échelle nationale et des études utilisant des indicateurs à l'échelle locale. L'analyse de la vulnérabilité à une échelle sous-nationale présente l'avantage de pouvoir considérer des facteurs à différentes échelles alors que les études à l'échelle nationale se limitent à des facteurs par pays (Brooks et al., 2005). Mais les études sous-nationales à des résolutions fines présentent des contraintes au niveau de la disponibilité des données, en particulier socioéconomiques (Döll, 2009 ; Samson et al., 2011). De plus, elles couvrent souvent des espaces géographiques plus limités (Ericksen et al., 2011).

Les méthodes de normalisation, d'agrégation et de pondération des indicateurs apportent aussi de la subjectivité aux indices et sont rarement justifiées. Il est rare que soient réalisées des analyses de sensibilité des résultats à des variations d'indicateurs ou de méthodes, sauf dans le cas des indicateurs d'exposition au climat avec l'utilisation de plusieurs scénarios. Cependant, la multiplication des scénarios, des horizons temporels et des modèles climatiques ne permet pas toujours une utilisation facile des résultats en raison du grand nombre de cartes produites (Yohe et al., 2006).

Plusieurs indices présentent des incohérences d'échelles temporelles : alors que les indicateurs d'exposition peuvent intégrer des projections futures, les indicateurs de sensibilité et de capacité d'adaptation représentent souvent la situation actuelle. Quelques études essaient de dépasser cette limitation importante en utilisant d'autres types de projections et d'approches dynamiques. Par exemple, Samson et al. (2011) intègrent des projections démographiques, tandis que Yohe et al. (2006) projettent l'augmentation de la capacité d'adaptation

aux horizons 2050 et 2100. La projection dans le futur de la sensibilité et de la capacité d'adaptation est complexe et augmente les incertitudes déjà fortes.

### **Limites de la quantification de la vulnérabilité**

Une limite évidente de la quantification de la vulnérabilité vient de la réduction d'un problème complexe et multidimensionnel à une mesure unidimensionnelle qui n'informe pas sur les différents leviers pour l'adaptation. L'approche de Sietz et al. (2011) dépasse cette limite en proposant une carte de typologie des situations de vulnérabilité basée sur cinq dimensions.

Dans de nombreuses études, le système vulnérable et les menaces sont définis de façon très générale (pays ou société affectés par une multitude d'expositions), ce qui pose des problèmes d'interprétation des résultats. Au sein d'un même lieu, la vulnérabilité varie d'un secteur à un autre, ou d'un groupe social à un autre (Djoudi et al., 2013). Ainsi, Füssel (2007) propose que les indices génériques de vulnérabilité des pays au changement climatique soient remplacés par des indices par type de secteur et d'aléa.

La validation des indices constitue un point problématique, car ces indices capturent un concept intangible, la vulnérabilité (Vincent, 2007). Certaines études valident les indicateurs de vulnérabilité en utilisant des données sur les effets observés de la variabilité climatique, ce qui suppose que ces effets informent sur la vulnérabilité ou qu'ils sont une « matérialisation » de la vulnérabilité. Pour les projections dans le futur, il est impossible de valider un indice de vulnérabilité future en le comparant à des matérialisations non encore survenues de la vulnérabilité. Une forme de validation des indices passe par des jugements d'experts ou par des processus de revue par les pairs (Brooks et al., 2005 ; Kaly et al., 2004). Dans la plupart des cas, cette étape reste peu développée et ne remet pas en question le cadre théorique initialement choisi.

### **Conséquences pour les politiques et les mesures d'adaptation**

L'analyse des quatre groupes d'indices montre que chaque indice véhicule une conception spécifique de la vulnérabilité, qu'il est nécessaire de comprendre. Chaque indice affiche des priorités différentes pour l'adaptation, par exemple suivant que l'on cible les populations pauvres, les capitaux économiques ou la gouvernance. Les indices reflètent une vision particulière de ce qui constitue la vulnérabilité et de qui est vulnérable à quoi (Klein, 2009). La définition des priorités pour l'adaptation est une question fortement politique et les scientifiques peuvent uniquement fournir des éléments à des décideurs et non y répondre.

Le développement d'indices de vulnérabilité repose sur des présupposés qui devraient être bien compris par les utilisateurs des indices ou des cartes. Certains indices combinent un grand nombre d'indicateurs (comme par exemple l'EVI, qui regroupe 50 indicateurs), ce qui rend leur interprétation difficile. D'autres indices présentent explicitement leur vision de la vulnérabilité et leurs présupposés, mais les indicateurs choisis ou la méthode d'agrégation conduisent à des résultats inattendus. Par exemple, l'indice PCCH met l'accent sur la densité de population comme facteur de vulnérabilité mais ne se retrouve pas dans le groupe 2 (« population »), en raison de l'utilisation d'indicateurs relatifs à l'agriculture et au développement humain.

La diversité des résultats peut limiter l'usage des cartes de vulnérabilité dans une prise de décision politique (Klein, 2009). Mais on peut aussi voir cette diversité comme un atout : si les présupposés sont explicites et si diverses cartes sont comparées, les preneurs de décision peuvent discuter sur la base des cartes qui correspondent à leur vision ou aux problèmes auxquels ils font face. Cependant, cela nécessite que les présupposés et les limites des cartes de vulnérabilité soient explicites.

## 5. Conclusion

L'analyse comparative de 23 indices et cartes de vulnérabilité aux variations climatiques a montré la diversité des évaluations quantifiées de vulnérabilité. Il en ressort des résultats très contrastés sur la localisation des zones les plus vulnérables en Afrique, liés au choix des composantes de vulnérabilité retenues au départ (E, S ou CA), à la diversité des indices pris en compte ou aux méthodes d'agrégation. La diversité des indices peut créer des confusions parmi les décideurs mais c'est aussi une occasion de rappeler qu'il n'existe pas une mesure unique de la vulnérabilité et qu'une décision ne peut se baser sur une seule carte.

Des présupposés non explicites ou des conceptualisations peu claires de la vulnérabilité réduisent la pertinence des cartes de vulnérabilité pour les politiques. Chaque carte renvoie à un discours spécifique sur la vulnérabilité et une vision particulière des systèmes socioécologiques et des menaces qui pèsent sur eux. Le risque d'un mauvais usage des indices peut être limité en explicitant les présupposés de chaque indice.

## 6. Références

- Adaptation Fund Board (2010) Rapport de la dixième réunion du Conseil du Fonds pour l'adaptation. AFB/B.10/7/Rev.1. Global Environment Facility, Washington. Disponible sur : <<http://www.adaptation-fund.org/sites/default/files/AFB%2010%20French.pdf>> (consulté le 18.06.2013).
- Adger, W.N., Brooks, N., Bentham, G., Agnew, M., Eriksen, S. (2004) New indicators of vulnerability and adaptive capacity. Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich, Royaume-Uni.
- Adger, W.N., Huq, S., Brown, K., Conway, D., Hulme, M. (2003) Adaptation to Climate Change in the Developing World. *Progress in Development Studies* 3, 179-195.
- Bohle, H.G., Downing, T.E., Watts, M.J. (1994) Climate change and social vulnerability: toward a sociology and geography of food insecurity. *Global Environmental Change* 4, 37-48.
- Brenkert, A., Malone, E. (2005) Modeling Vulnerability and Resilience to Climate Change: A Case Study of India and Indian States. *Climatic Change* 72, 57-102.
- Brooks, N., Adger, W.N., Kelly, P.M. (2005) The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15, 151-163.
- Chambers, R., Conway, G. (1992) Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century, IDS Discussion Paper 296. Institute for Development Studies (IDS), Brighton.
- CIESIN (2005) Gridded Population of the World Version 3 (GPWv3): Population Density Grids. Disponible sur : <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>. Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University et Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ; Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. Palisades, NY. Disponible sur : <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>> (consulté le 18.06.2013).
- Diffenbaugh, N.S., Giorgi, F., Raymond, L., Bi, X. (2007) Indicators of 21st century socioclimatic exposure. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 20195-20198.
- Dilley, M., Chen, R.S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A.L., Arnold, M. (2005) Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis, Disaster Risk Management Series No. 5. Banque mondiale, Washington DC.
- Djoudi, H., Brockhaus, M., Locatelli, B. (2013) Once there was a lake: Vulnerability to environmental changes in northern Mali. *Regional Environmental Change* 13(3), 493-508.
- Döll, P. (2009) Vulnerability to the impact of climate change on renewable groundwater resources: a global-scale assessment. *Environmental Research Letter* 4, 035006.
- Eriksen, P., Thornton, P., Notenbaert, A., Cramer, L., Jones, P., Herrero, M. (2011) Mapping hotspots of climate change and food insecurity in the global tropics, CCAFS Report no. 5. . CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), Copenhagen, Danemark.
- Eriyagama, N., Smakhtin, V., Gamage, N. (2009) Mapping drought patterns and impacts: a global perspective. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Füssel, H.-M. (2007) Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change* 17, 155-167.
- Füssel, H.-M. (2010) How inequitable is the global distribution of responsibility, capability, and vulnerability to climate change: A comprehensive indicator-based assessment. *Global Environmental Change* 20, 597-611.
- Haddad, B.M. (2005) Ranking the Adaptive Capacity of Nations to Climate Change When Socio-Political Goals are Explicit. *Global Environmental Change Part A* 15, 165-176.
- Harmeling, S. (2011) Global Climate Risk Index 2012, Briefing Paper. Germanwatch, Bonn.
- Hossain, S.M.N. (2001) Assessing Human Vulnerability due to Environmental Change: Concepts and Assessment Methodologies. Royal Institute of Technology, Stockholm, 100 p.
- Iglesias, A., Rosenzweig, C. (2010) Effects of Climate Change on Global Food Production under Special Report on Emissions Scenarios (SRES) Emissions and Socioeconomic Scenarios: Data

- from a Crop Modeling Study. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/mva/cropclimate/>. Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University, Palisades, NY. Disponible sur : <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/mva/cropclimate/>> (consulté le 18.06.2013).
- IPCC (2007) Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson C.E. ed. Cambridge University Press, p. 976.
- Kaly, U.L., Pratt, C.R., Mitchell, J. (2004b) The Environmental Vulnerability Index (EVI) 2004, in: SOPAC Technical Report 384, S.T.R. (Ed.). South Pacific Applied Geoscience Commission, Suva, Iles Fiji.
- Kamada, T., Kawai, S. (1989) An algorithm for drawing general undirected graphs. *Information processing letters* 31, 7-15.
- Kaufmann, D., Kraay, A., Mastruzzi, M. (2011) Governance Matters 2007: Worldwide Governance Indicators, 1996-2011. The Worldbank, Washington DC. Disponible sur: <<http://info.worldbank.org/governance/wgi>. Banque mondiale, Washington DC> (consulté le 18.06.2013).
- Kelly, P.M., Adger, W.N. (2000) Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change and Facilitating Adaptation. *Climatic Change* 47, 325-352.
- Klein, R.J.T. (2009) Identifying Countries that are Particularly Vulnerable to the Adverse Effects of Climate Change: An Academic or a Political Challenge? *CCLR (The Carbon Climate Law Review)* 3, 284-291.
- Klein, R.J.T. (2010) Which Countries are Particularly Vulnerable? Science Doesn't Have the Answer!, Policy Brief. Stockholm Environment Institute, Stockholm.
- Kundzewicz, Z.W., Döll, P. (2009) Will groundwater ease freshwater stress under climate change? *Hydrological sciences journal* 54(4), 665-675.
- Lawrence, P. R., Meigh, J., Sullivan, C. (2002). The water poverty index: an international comparison. Keele Economics Research Paper 19. Department of Economics, Keele University, Staffordshire, Royaume-Uni.
- Locatelli, B., Herawati, H., Brockhaus, M., Idinoba, M., Kanninen, M. (2008) Methods and tools for assessing the vulnerability of forests and people to climate change. Jakarta, Cifor, Working paper 43, 26 pp.
- Malone, E., Brenkert, A. (2009) Vulnerability, sensitivity and coping/adapting capacity worldwide, in: Ruth, M., Ibararán, M.E. (Eds.), *Distributional Impacts of Climate Change and Disasters: Concepts and Cases*. Edward Elgar, Cheltenham, Royaume-Uni, pp. 8-45.
- McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White, K. S. (Eds.) McCarthy, J.J. (2001) *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Mohammad, S., Nazmul Hossain, N. (2001) *Assessing Human Vulnerability due to Environmental Change: Concepts and Assessment Methodologies*. Royal Institute of Technology, Stockholm, p. 100p.
- New, M., Hulme, M., Jones, P. (1999) Representing twentieth-century space-time climate variability. Part I: Development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate* 12, 829-856.
- O'Brien, K., Eriksen, S., Schjolden, A., Nygaard, L. (2004) What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research., in: CICERO Working Paper 2004:04 (Ed.). Center for International Climate and Environmental Research Oslo, Norvège.
- Population Action International (2011) *Mapping population and climate change hotspots*, Policy Brief. Population Action International, Washington D.C.
- Ribot, J. (2011) Vulnerability before adaptation: Toward transformative climate action. *Global Environmental Change* 21, 1160-1162.
- Ruesch, A., Gibbs, H.K. (2008) *New IPCC Tier-1 Global Biomass Carbon Map for the Year 2000*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge.
- Samson, J., Berteaux, D., McGill, B.J., Humphries, M.M. (2011) Geographic disparities and moral hazards in the predicted impacts of climate change on human populations. *Global Ecology and Biogeography*.
- Schmitz, O.J., Post, E., Burns, C.E., Johnson, K.M. (2003) *Ecosystem Responses to Global Climate Change: Moving Beyond Color Mapping*. *Bioscience* 53, 1199-1205
- Scoones, I. (1998) *Sustainable rural livelihoods: a framework for analysis*, IDS Working Paper 72. Institution for Development Studies (IDS), Brighton.



- Sietz, D., Ludeke, M.K.B., Walther, C. (2011) Categorisation of typical vulnerability patterns in global drylands. *Global Environmental Change* 21, 431-440.
- Sullivan, C., Meigh, J. (2005) Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the Climate Vulnerability Index. *Water Science and Technology* 51, 69-78.
- Sullivan, C.A., Meigh, J.R., Fediw, T. (2002) Developing and testing the Water Poverty Index: Phase 1 Final Report, in: Report to Department for International Development (Ed.). Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, Royaume-Uni.
- Thornton, P.K., Jones, P.G., Owiyo, T., Kruska, R.L., Herrero, M., Orindi, V., Bhadwal, S., Kristjanson, P., Notenbaert, A., Bekele, N., Omolo, A. (2008) Climate change and poverty in Africa: Mapping hotspots of vulnerability. *African Journal of Agricultural and Resource Economics* 2, 24-44.
- UNDP (2012) International Human Development Indicators. United Nations. Disponible sur: <<http://hdr.undp.org/en/statistics/>> (consulté le 18.06.2013)...Nations Unies.
- Vincent, K. (2004) Creating an index of social vulnerability to climate change for Africa, Tyndall Centre for Climate Change Research. Tyndall Centre, p. 50.
- Vincent, K. (2007) Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale. *Global Environmental Change* 17, 12-24.
- Wheeler, D. (2011) Quantifying Vulnerability to Climate Change: Implications for Adaptation Assistance, CGD Working Paper. Center for Global Development, Washington, D.C.
- Yohe, G., Malone, E., Brenkert, A., Schlesinger, M., Meij, H., Xing, X. (2006) Global Distributions of Vulnerability to Climate Change. *The Integrated Assessment Journal* 6, 35-44.

# Annexe

## Tableaux résumés par groupes

Acronyme	Nom	E	S	CA	Résolution	Système vulnérable
<b>Groupe 1</b>						
CCVI	Climate Change Vulnerability Index	Oui	Oui	Oui	Pays	Population, zone côtière, agriculture
CVI	Climate Vulnerability Index	Non	Oui	Oui	Pays	Ressources en eau
HVI	Human Vulnerability Index	Non	Oui	Oui	Pays	Population dépendant des ressources naturelles
PCCH	Population and Climate Change Hotspot	Non	Oui	Oui	Pays	Production agricole rapportée à la population
SVI	Social Vulnerability Index	Non	Oui	Oui	Pays	Économie rurale dépendante de l'eau
VRIM	Vulnerability-Resilience Indicator Model	Non	Oui	Oui	Pays	Société en général
WPI	Water Poverty Index	Non	Oui	Oui	Pays	Populations pauvres dépendantes de l'eau
<b>Groupe 2</b>						
CDVI	Global Climate Demography Vulnerability Index	Non	Oui	Oui	Pixel	Population
HCC	Hotspots of Climate Change and food insecurity in the tropics	Oui	Oui	Oui	Pixel	Agriculture et sécurité alimentaire
NDHF	Natural Disaster Hotspots	Oui	Oui	Non	Pixel	Population et économie
NDHD	Natural Disaster Hotspots	Oui	Oui	Non	Pixel	Population et économie
<b>Groupe 3</b>						
EVI	Environmental Vulnerability Index	Oui	Oui	Non	Pays	Environnement
IHV	Index of human vulnerability to climate change	Oui	Oui	Oui	Pixel	Ressources en eau souterraine
VCC	Global Distribution of Vulnerability to Climate Change	Oui	Oui	Oui	Pays	Société en général
<b>Groupe 4</b>						
NCU	National Capacity from a Utilitarian perspective	Oui	Oui	Oui	Pays	Gouvernance, société en général
NCL	National Capacity from a contractarian Liberal governance perspective	Oui	Oui	Oui	Pays	Gouvernance, société en général

Acronyme	Nom	E	S	CA	Résolution	Système vulnérable
<b>Hors groupes</b>						
EGF	Effects of climate change on Global Food production	Oui	Oui	Non	Pays	Agriculture
GCR	Global Climate Risk	Oui	Oui	Non	Pays	Population et économie
NCT	National Capacity from a Technocratic governance perspective	Oui	Oui	Oui	Pays	Gouvernance, société en général
NCD	National Capacity from a Dictatorial governance perspective	Oui	Oui	Oui	Pays	Gouvernance, société en général
SCE	Socio-Climatic Exposure	Oui	Oui	Non	Pays	Population, population pauvre et richesses
VAC	Vulnerability and Adaptive Capacity	Non	Oui	Oui	Pays	Société en général
VPD	Vulnerability Patterns of Drylands	Non	Oui	Oui	Pixel	Zones sèches

## Tableaux descriptifs par indice

### Légende des fiches

*Acronyme* : Souvent proposé par nous-mêmes      *Nom* : Nom complet tel qu'il apparaît dans la source

*Référence(s)* : Référence complète de la source

### Cadre conceptuel et approche

Description succincte du cadre conceptuel et de l'approche adoptée

*Type d'approche* : La vulnérabilité peut être considérée comme un résultat des effets du changement climatique (approche « end point ») ou comme une caractéristique inhérente du système, déterminée par des processus socioéconomiques (approche « starting point »)

*Système vulnérable* : Système et secteur analysé par l'étude

### Caractéristiques spatiales

*Résolution* : L'étude peut travailler sur les pays (résolution pays) ou des pixels (la largeur du pixel est alors donnée)

*Champ d'application* : L'étude peut être globale ou régionale

### Composantes de la vulnérabilité

*Exposition* : Oui ou non      Détails sur les indicateurs d'exposition, s'ils sont pris en compte.      Graphique montrant quelles composantes de la vulnérabilité sont prises en compte

*Sensibilité* : Oui ou non      Détails sur les indicateurs de sensibilité, s'ils sont pris en compte.

*Capacité adaptative* : Oui ou non      Détails sur les indicateurs de capacité adaptative, s'ils sont pris en compte.

### Agrégation des indicateurs

*Méthode* : Façon dont les différents indicateurs sont combinés pour obtenir un indice de vulnérabilité.

*Résultat* : Le résultat peut être une variable continue (par exemple, une valeur entre 0 et 100), des classes ordonnées de vulnérabilité (par exemple, moyen, faible, fort), des quartiles (par exemple, les 25 % plus vulnérables, les 25 % les moins), etc.

### Aperçu des résultats

*Note* : Carte de vulnérabilité pour cette étude.

Il est rappelé que la carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

*Description de notre modification* :

Les détails de la modification (linéaire, reclassification, etc.) sont donnés ici.

**Identification de l'indice de vulnérabilité**

*Acronyme :* CCVI *Nom :* Climate Change Vulnerability Index  
*Référence(s) :* Wheeler, D. (2011) Quantifying Vulnerability to Climate Change: Implications for Adaptation Assistance. CGD Working Paper 240. Washington, D.C.: Center for Global Development. <http://www.cgdev.org/content/publications/detail/1424759>

**Cadre conceptuel et approche**

La vulnérabilité au changement climatique dépend de l'interaction des trois types de risques avec des déterminants de la résilience. Les risques sont ceux liés aux événements climatiques extrêmes, la montée du niveau des mers et les baisses de production agricole. La résilience dépend du développement économique, de la démographie et de la gouvernance.

*Type d'approche :* « end point » *Système vulnérable :* Population, zone côtière, agriculture

**Caractéristiques spatiales**

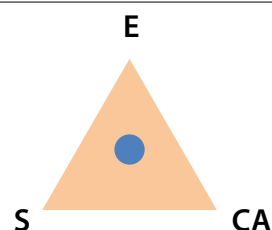
*Résolution :* Pays *Champ d'application :* Global

**Composantes de la vulnérabilité**

*Exposition :* Oui *Changement climatique (un modèle de risque est calibré sur la période depuis 1995 en tenant compte du taux de CO2 atmosphérique comme proxy du réchauffement global ; ensuite le taux prévu pour 2015 est utilisé).*

*Sensibilité :* Oui *Sensibilité de la production agricole. Présence de population dans des zones à risques.*

*Capacité adaptative :* Oui *Développement économique et gouvernance.*



**Agrégation des indicateurs**

*Méthode* Calcul d'indicateurs de risque pour chacun des 3 risques (approche économétrique ou basée sur des études existantes). Somme pondérée des indicateurs normalisés.

*Résultat* Variable continue

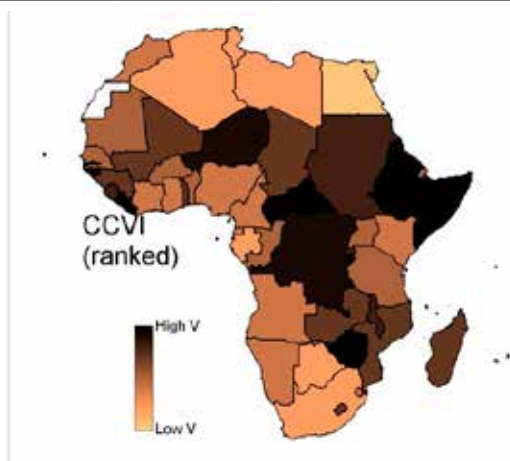
**Aperçu des résultats**

*Note :*

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

*Description de notre modification :*

À cause d'une distribution très asymétrique (par exemple, une valeur extrême de 100 pour une moyenne de 9 sur le continent), la carte des valeurs normalisées montre peu de différences entre la plupart des pays. Nous représentons donc plutôt des rangs.



---

**Identification de l'indice de vulnérabilité**


---

Acronyme : CDVI

Nom : Global Climate Demography  
Vulnerability Index

Référence(s) : Samson, J., Berteaux, D., McGill, B. J. and Humphries, M. M. (2011) Geographic disparities and moral hazards in the predicted impacts of climate change on human populations. *Global Ecology and Biogeography*.

---

**Cadre conceptuel et approche**


---

Les relations entre le climat et la distribution de la population humaine sont complexes. Cependant, en explorant ces relations, il est possible de mettre en évidence les zones où la population humaine vit actuellement dans des conditions climatiques qui seront moins favorables à l'avenir. En analysant les relations actuelles entre densité de population et climat et en utilisant des scénarios, l'étude détermine l'écart entre la densité future possible en fonction du climat futur et celle attendue de la croissance démographique.

Type d'approche : mixte

Système vulnérable : Population

---

**Caractéristiques spatiales**


---

Résolution : 1 degré

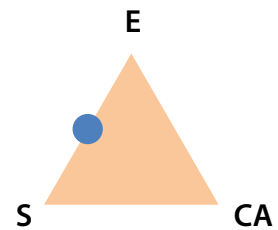
Champ d'application : Monde

---

**Composantes de la vulnérabilité**


---

Exposition :	Oui	Changement climatique en 2050, un scénario d'émissions (A2) et deux modèles de circulation générale (CSIRO, HadCM3).
Sensibilité :	Oui	Lien entre climat et densité de population, établi par un modèle linéaire
Capacité adaptative :	Oui	


**Agrégation des indicateurs**


---

Méthode : Modèle linéaire

Résultat : Variable continue

---

**Aperçu des résultats**


---

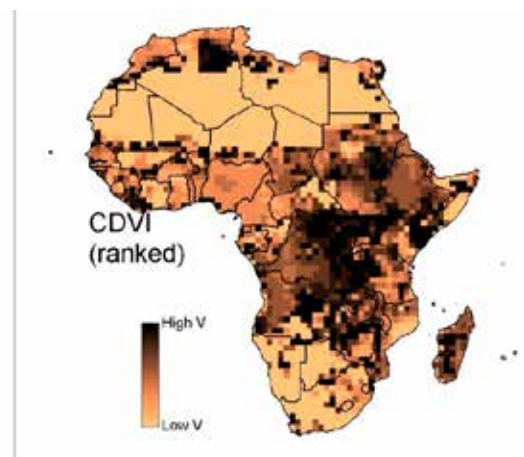
Note :

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

Description de notre modification :

Carte du haut : transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les points les plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). On note que la plus grande part du continent a une valeur moyenne à moyenne-forte (98 % des points sont situés entre les valeurs 0,005 et 0,7) et que seuls quelques points ont des valeurs basses et fortes.

En raison de cette distribution concentrée sur les valeurs moyennes, la carte présente des classements relatifs (*ranks*).



**Identification de l'indice de vulnérabilité**

Acronyme : CVI Nom : Climate Vulnerability Index  
 Référence(s) : Sullivan, C., Meigh, J. 2005. Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index. Water Science & Technology 51, 69-78.

**Cadre conceptuel et approche**

Cet indice mesure la vulnérabilité de la population aux effets du changement global sur les ressources en eau. L'indice combine des indicateurs relatifs à la variabilité spatiale, la quantification de la ressource, l'accès et les droits de propriété, l'utilisation et l'efficacité économique, la capacité des populations et des institutions, et la préservation de l'intégrité écologique.

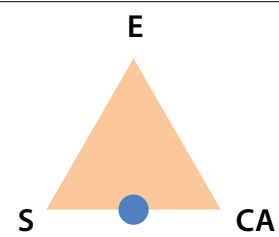
Type d'approche : « starting point » Système vulnérable : Ressources en eau

**Caractéristiques spatiales**

Résolution : Pays Champ d'application : Monde

**Composantes de la vulnérabilité**

<i>Exposition :</i>	Oui	Des données d'exposition peuvent cependant être utilisées. L'application proposée dans Sullivan et Huntinford (2009) porte sur l'année 2000.
<i>Sensibilité :</i>	Oui	Divers indicateurs (état de la ressource, variabilité géospatiale, intégrité écologique, utilisation des ressources...)
<i>Capacité adaptative :</i>	Oui	Divers indicateurs (capacité des populations et des institutions, accessibilité et droits de propriété...)

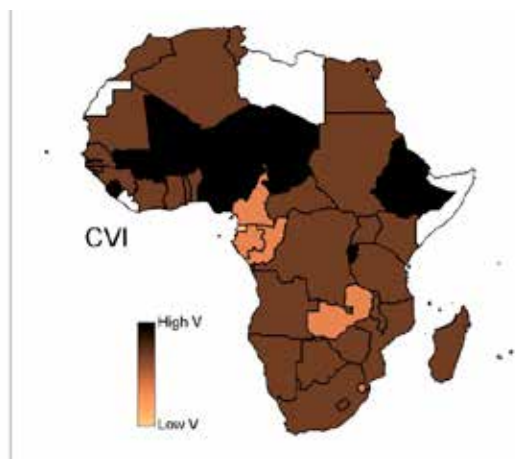


**Agrégation des indicateurs**

Méthode : Somme pondérée puis classification. Dans l'application proposée, tous les poids sont identiques mais la possibilité est laissée aux utilisateurs de l'outil de changer les pondérations en fonction des risques perçus.  
 Résultat : Classes de vulnérabilité.

**Aperçu des résultats**

Note : Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.  
 Description de notre transformation : Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc ne présentent pas de données suffisantes.



**Identification de l'indice de vulnérabilité**

<b>Acronyme :</b>	EGF	<b>Nom :</b>	Effects of climate change on Global Food production
<b>Référence(s) :</b>	Iglesias A., Rosenzweig C. 2010. Effects of Climate Change on Global Food Production under Special Report on Emissions Scenarios (SRES) Emissions and Socioeconomic Scenarios: Data from a Crop Modeling Study. Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. <a href="http://sedac.ciesin.columbia.edu/mva/cropclimate/">http://sedac.ciesin.columbia.edu/mva/cropclimate/</a>		

**Cadre conceptuel et approche**

Le changement climatique est un des facteurs qui peuvent affecter la production alimentaire. Cette étude évalue comment les rendements agricoles (du blé, maïs et riz) pourront évoluer selon différents scénarios climatiques.

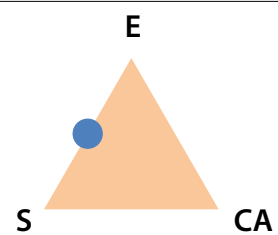
**Type d'approche :** « end point »      **Système vulnérable :** Agriculture

**Caractéristiques spatiales**

**Résolution :** Pays      **Champ d'application :** Monde

**Composantes de la vulnérabilité**

<b>Exposition :</b>	Oui	Sept scénarios de changement climatique (scénarios d'émission A1FI, A2a, A2b, A2c, B1a, B2a et B2b avec le modèle de circulation générale HadCM3) en 2020, 2050 et 2080.
<b>Sensibilité :</b>	Oui	Effet du changement climatique sur les rendements agricoles.
<b>Capacité adaptative :</b>	Non	L'étude considère le potentiel du pays à atteindre des rendements optimaux (calculés comme le ratio entre les rendements actuels réels et les rendements actuels potentiels). Cependant, dans la mesure où ce facteur est constant dans le temps, il n'a pas d'influence sur l'indice de changement futur (en %) de la production.

**Agrégation des indicateurs**

<b>Méthode</b>	Somme pondérée puis classification. Dans l'application proposée, tous les poids sont identiques mais la possibilité est laissée aux utilisateurs de l'outil de changer les pondérations en fonction des risques perçus.
<b>Résultat</b>	Classes de vulnérabilité.

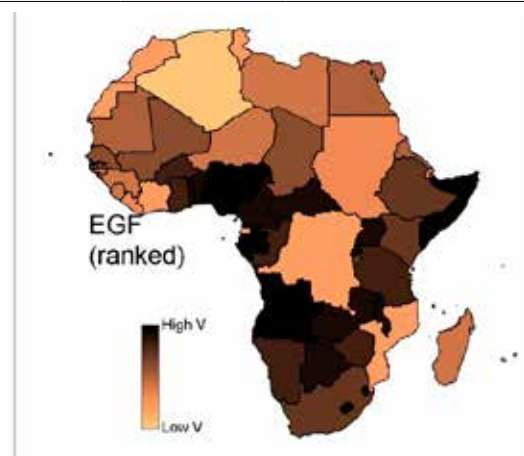
**Aperçu des résultats****Note :**

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

**Description de notre modification :**

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc ne présentent pas de données suffisantes.

La carte présente des classements relatifs (*ranks*).





**Identification de l'indice de vulnérabilité**

*Acronyme :* EVI *Nom :* Environmental Vulnerability Index  
*Référence(s) :* Kaly, U. L., Craig R. Pratt, C., P. and Mitchell, J. 2004. The Demonstration Environmental Vulnerability Index (EVI) 2004. SOPAC Technical Report 384.

**Cadre conceptuel et approche**

L'indice combine 50 indicateurs de vulnérabilité : 32 de risques, 8 de résistance, and 10 de dommages. Note : de nombreux indicateurs caractérisent l'incidence des activités humaines sur l'environnement et sont liés aux activités économiques de consommation et de production, fonction de la richesse du pays. C'est pourquoi, à l'échelle mondiale, aucun pays africainne figure dans le groupe extrêmement vulnérable et 71 % des pays du groupe résilient sont africains. Cela montre que l'accent n'est pas sur la vulnérabilité des populations mais plutôt sur la vulnérabilité de l'environnement, même si l'étude précise que les deux sont liées.

*Type d'approche :* « end point » *Système vulnérable :* Environnement et activités dépendant des ressources naturelles

**Caractéristiques spatiales**

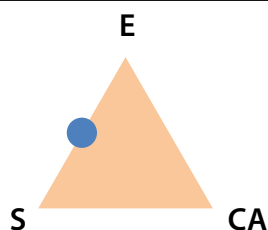
*Résolution :* Pays *Champ d'application :* Monde

**Composantes de la vulnérabilité**

*Exposition :* Oui 32 indicateurs de risques climatiques (vents, périodes sèches, humides ou froides...) ou non (tremblement de terre, usage des ressources naturelles, pollution, consommation d'énergie, etc.). Cet indice ne considère pas de scénarios de changement climatique et ne se limite pas à une exposition climatique.

*Sensibilité :* Oui 18 indicateurs de résistance et de dommage (biodiversité, topographie, densité de population, conflits, dégradation des écosystèmes)

*Capacité adaptative :* Non



**Agrégation des indicateurs**

*Méthode* Classification des valeurs de chaque indicateur en 7 classes puis addition.

*Résultat* Variable continue

**Aperçu des résultats**

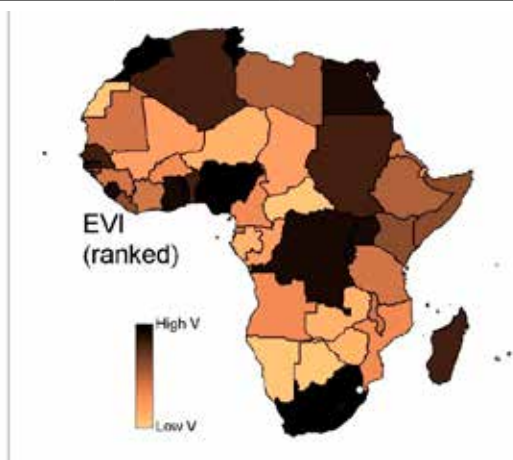
*Note :*

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

*Description de notre modification :*

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc présentent des données insuffisantes.

La carte présente des classements relatifs (*ranks*).



### Identification de l'indice de vulnérabilité

Acronyme : GCR

Nom : Global Climate Risk

Référence(s) : Harmeling S. 2011. Global Climate Risk Index 2012. Briefing Paper. Germanwatch, Bonn.

### Cadre conceptuel et approche

L'indice analyse comment les pays ont été affectés par des événements climatiques (tempêtes, inondations, vagues de chaleur, etc.) pendant la période 1991-2010. Les données proviennent de Munich Re NatCatSERVICE.

Type d'approche : « end point »

Système vulnérable :

Population et économie

### Caractéristiques spatiales

Résolution : Pays

Champ d'application :

Monde

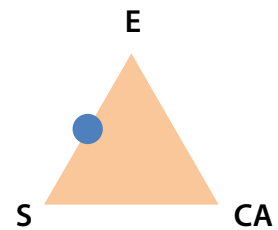
### Composantes de la vulnérabilité

**Exposition :** Oui Variabilité climatique et ses conséquences en termes d'événements extrêmes (tempêtes, inondations, sécheresse, vagues de chaleur ou de froid, feux). Il n'y a pas d'indicateur propre à l'exposition mais celle-ci se matérialise dans les impacts.

**Sensibilité :** Oui

Pertes humaines et pertes économiques.

**Capacité adaptative :** Non



### Agrégation des indicateurs

**Méthode** Moyenne pondérée des classements des pays en fonction de 4 indicateurs : nombre de décès (absolu et relatif à la population) et pertes économiques (absolues et relatives au PNB).

**Résultat** Variable continue

### Aperçu des résultats

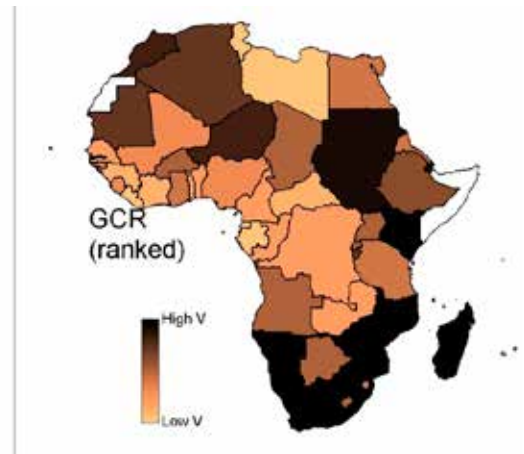
**Note :**

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

**Description de notre modification :**

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc présentent des données insuffisantes.

La carte présente des classements relatifs (*ranks*).



**Identification de l'indice de vulnérabilité**

<i>Acronyme :</i>	HCC	<i>Nom :</i>	Hotspots of Climate Change and food insecurity in the tropics
<i>Référence(s) :</i>	Ericksen P, Thornton P, Notenbaert A, Cramer L, Jones P, Herrero M. (2011) Mapping hotspots of climate change and food insecurity in the global tropics. CCAFS Report no. 5. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen, Denmark.		

**Cadre conceptuel et approche**

L'indice sert à évaluer les zones posant des problèmes de sécurité alimentaire et vulnérables au changement climatique dans les tropiques. Les zones sont classées en domaines de vulnérabilité, en fonction de leur exposition, sensibilité et capacité d'adaptation, en suivant la définition de la vulnérabilité par le GIEC.

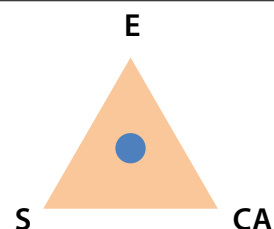
<i>Type d'approche :</i>	« end point »	<i>Système vulnérable :</i>	Agriculture et sécurité alimentaire
--------------------------	---------------	-----------------------------	-------------------------------------

**Caractéristiques spatiales**

<i>Résolution :</i>	5 arcmin (10 km). Les données sur la capacité adaptative sont à l'échelle pays.	<i>Champ d'application :</i>	Tropiques
---------------------	---	------------------------------	-----------

**Composantes de la vulnérabilité**

<i>Exposition :</i>	Oui	Les zones dépassant des seuils climatiques en 2050 sont considérées comme des zones à forte exposition (scénario d'émission A2 avec 4 modèles de circulation générale). Neuf seuils sont définis.
<i>Sensibilité :</i>	Oui	Les zones présentant plus de 16 % de surfaces agricoles sont considérées comme des zones à forte sensibilité.
<i>Capacité adaptative :</i>	Oui	Les zones caractérisées par plus de 40 % de malnutrition récurrente sont considérées comme des zones à faible capacité adaptative, car l'incapacité à faire face à cette situation révèle de problèmes institutionnels, économiques et politiques.

**Agrégation des indicateurs**

<i>Méthode</i>	Définition de domaines de vulnérabilité en fonction des valeurs forte (H) ou faible (L) de l'exposition, la sensibilité ou la capacité adaptative. Par exemple HHL montre une forte exposition, une forte sensibilité et une faible capacité adaptative.
<i>Résultat</i>	8 classes de vulnérabilité pour chacune des 9 expositions : (1) réduction de plus de 5 % de la durée de la période de croissance, (2) passage d'une période de croissance de plus de 120 jours à moins de 120 jours, (3) passage d'un nombre garanti de jours de croissance de plus de 90 à moins de 90, (4) passage d'une température moyenne de moins de 8 °C à plus de 8 °C (permettant l'extension des cultures), (5) passage d'une température moyenne de moins de 30 °C à plus de 30 °C, (6) passage d'une température moyenne de moins de 8 °C à plus de 8 °C pendant la saison principale de culture, (7) coefficient de variabilité des pluies supérieur à 21 %, (8) réduction de plus de 10 % des pluies, (9) augmentation de plus de 10 % des pluies.

**Aperçu des résultats***Note :*

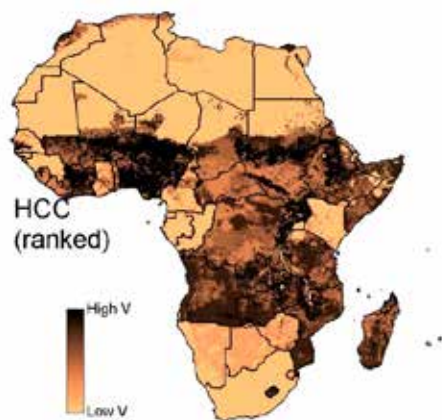
Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

*Description de notre modification :*

Reclassification des 8 classes en valeurs quantitatives : LLH=0 (faible) ; HLH, LHH et LLL=0,33 ; HHH, LHL et HLL=0,67 ; HHL=1 (forte).

Moyenne des 9 cartes pour chaque exposition.

La carte présente des classements relatifs (*ranks*).



### Identification de l'indice de vulnérabilité

Acronyme : HVI

Nom : Human Vulnerability Index

Référence(s) : Hossain, S.M.N. (2001) Assessing Human Vulnerability due to Environmental Change: Concepts and Assessment Methodologies. Thesis report, Royal Institute of Technology Stockholm.

### Cadre conceptuel et approche

La vulnérabilité peut être mesurée par les risques d'évolution des ressources (terre, air, eau) pour l'homme et par sa capacité à faire face.

Type d'approche : « end point »

Système vulnérable :

Population dépendant des ressources naturelles

### Caractéristiques spatiales

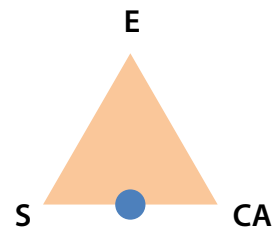
Résolution : Pays

Champ d'application :

Monde

### Composantes de la vulnérabilité

Exposition :	Oui	Pas d'indicateurs de changements externes (climatiques ou autres)
Sensibilité :	Oui	Pourcentage de la population dépendant des ressources forestières ou vivant à moins de 100 kilomètres des côtes ou n'ayant pas accès à l'eau potable et l'assainissement.
Capacité adaptative :	Oui	Pourcentage de la population vivant au-dessus du seuil de pauvreté.



### Agrégation des indicateurs

Méthode L'indice de vulnérabilité est le ratio entre l'indicateur de sensibilité (appelé exposition dans le document mais correspondant à la sensibilité au sens du GIEC) et l'indicateur de capacité adaptative.

Résultat Variable continue

### Aperçu des résultats

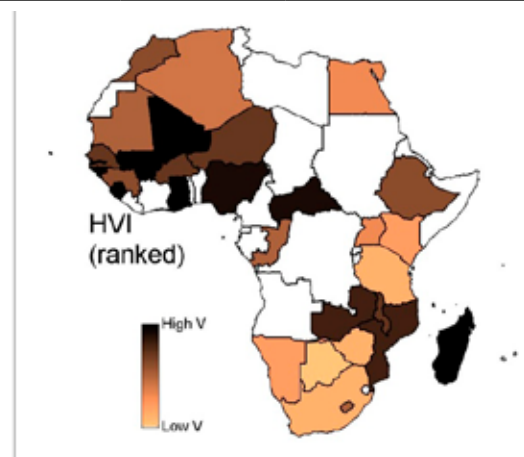
Note :

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

Description de notre modification :

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc ne présentent pas de données suffisantes.

À cause d'une distribution asymétrique (moyenne = 0,20, seulement trois valeurs sont supérieures à 0,5 : Guinée Bissau, Ghana, Madagascar), la carte présente des classements relatifs (*ranks*).



**Identification de l'indice de vulnérabilité**

*Acronyme :* IHV *Nom :* Index of human vulnerability to climate change induced decreases of renewable groundwater resources

*Référence(s) :* Döll, P. (2009) Vulnerability to the impact of climate change on renewable groundwater resources: a global-scale assessment. Environmental Research Letter 4 (3)

**Cadre conceptuel et approche**

Le changement climatique va affecter les ressources en eau souterraine. La vulnérabilité de la population dépend du degré de diminution de la ressource et de la sensibilité des humains à cette diminution.

*Type d'approche :* « end point » *Système vulnérable :* Ressources en eau souterraine

**Caractéristiques spatiales**

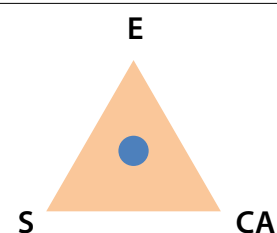
*Résolution :* Pays *Champ d'application :* Monde

**Composantes de la vulnérabilité**

*Exposition :* Oui Quatre scénarios de changement climatique en 2050 : deux scénarios d'émission (A2, B2) et deux modèles de circulation générale (ECHAM4 et HadCM3).

*Sensibilité :* Oui Effet du changement climatique sur les ressources en eau souterraine (simulé avec le modèle WaterGAP).  
Indicateurs de rareté de l'eau et de dépendance à l'eau souterraine.

*Capacité adaptative :* Oui Indice de développement humain.



**Agrégation des indicateurs**

*Méthode* L'indice de vulnérabilité est le produit de la réduction en recharge des aquifères (si compris entre 10 % et 100 %) et d'un indicateur de sensibilité et de capacité adaptative. Pour calculer ce dernier indicateur, trois indicateurs (rareté de l'eau, dépendance en eau souterraine et déficits en développement humain) sont classifiés et moyennés.

*Résultat* Variable continue entre 10 et 500.

**Aperçu des résultats**

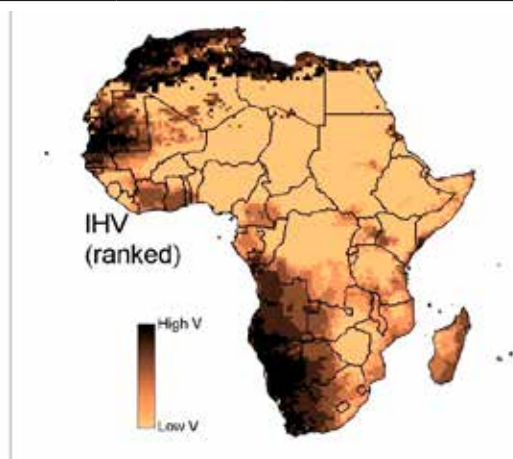
*Note :*

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

*Description de notre modification :*

Moyenne de la valeur de l'indice pour les 4 scénarios de changement climatique. Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les pixels plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité).

La carte présente des classements relatifs (*ranks*).



### Identification de l'indice de vulnérabilité

Acronyme : NCD, NCL, NCT, NCU

Nom : National Capacity

Référence(s) : Haddad, B. M. 2005. Ranking the adaptive capacity of nations to climate change when socio-political goals are explicit. *Global Environmental Change* 15(2): 165-176.

### Cadre conceptuel et approche

La capacité adaptative est souvent mesurée en fonction de la richesse, la technologie, l'information, l'éducation, l'accès aux ressources ou les capacités de gestion, ce qui donne des évaluations proches de l'indice de développement humain. Ici, le contexte normatif et la motivation de l'adaptation sont pris en compte. L'indice combine des indicateurs économiques, politiques, sociologique et biophysiques pour évaluer la capacité des pays à s'adapter au changement climatique tout en poursuivant une gouvernance de quatre formes différentes : utilitarisme (maximisation du bien-être général) pour l'indice NCU, libéralisme démocratique pour l'indice NCL, dictature et gouvernance religieuse pour l'indice NCD, et gouvernance technocratique pour l'indice NCT. Les pondérations utilisées dans le modèle dépendent du type de gouvernance.

Type d'approche : « starting point »

Système vulnérable :

Gouvernance, société en général avec un accent sur les problèmes d'eau

### Caractéristiques spatiales

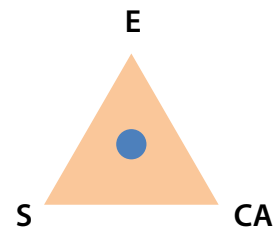
Résolution : Pays

Champ d'application :

Monde

### Composantes de la vulnérabilité

Exposition :	Oui	Ressources en eau : stress hydrique, bassins versants partagés avec d'autres pays.
Sensibilité :	Oui	Économie : note de dette souveraine, classement dans la catégorie de revenus bas à moyens, PNB par habitant. Indicateurs de rareté de l'eau et de dépendance à l'eau souterraine.
Capacité adaptative :	Oui	Social : mesure d'équité (indice de Gini)



### Agrégation des indicateurs

Méthode : Somme pondérée avec des pondérations différentes suivent les modes de gouvernance. Classification des résultats en quintiles.

Résultat : Quintiles

### Aperçu des résultats

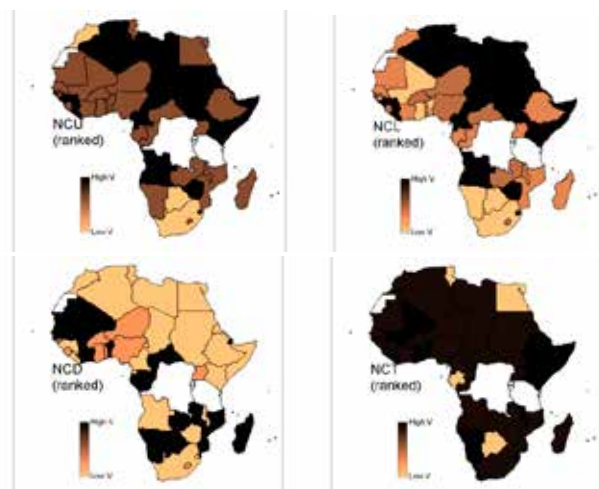
Note :

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

Description de notre modification :

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc présentent des données insuffisantes.

La carte présente des classements relatifs (ranks).



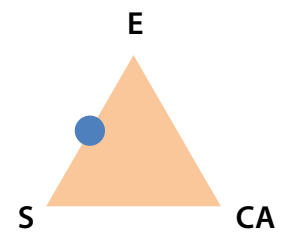
**Identification de l'indice de vulnérabilité***Acronyme* : NDHD, NDHF*Nom* : Natural Disaster Hotspots*Référence(s)* : Dilley, M., Chen, R.S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A.L., Arnold, M. 2005. Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis, Disaster Risk Management Series No. 5. The World Bank, Washington, DC**Cadre conceptuel et approche**

L'indice analyse les risques de pertes économiques ou humaines à cause des désastres naturels. Les indices de risque dépendent d'indicateurs d'exposition et sont calibrés à l'aide de données sur les pertes passées.

*Type d'approche* : « end point »*Système vulnérable* : Population et économie**Caractéristiques spatiales***Résolution* : 2,5 arcmin*Champ d'application* : Monde**Composantes de la vulnérabilité**

*Exposition* : Oui Variabilité climatique et ses conséquences. Ici, nous sélectionnons les inondations (indicateur : nombre d'événements entre 1985 et 2003) et les sécheresses (indicateur : anomalies de précipitation).

*Sensibilité* : Oui Pertes humaines et pertes économiques. Indicateurs de rareté de l'eau et de dépendance à l'eau souterraine.

*Capacité adaptative* : Non**Agrégation des indicateurs***Méthode* Les indicateurs d'exposition sont convertis en pertes après calibration par des données sur les pertes passées (base de données EM-DAT).*Résultat* Déciles**Aperçu des résultats***Note* :

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

*Description de notre modification* :

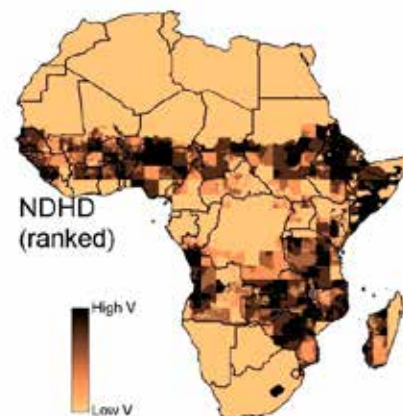
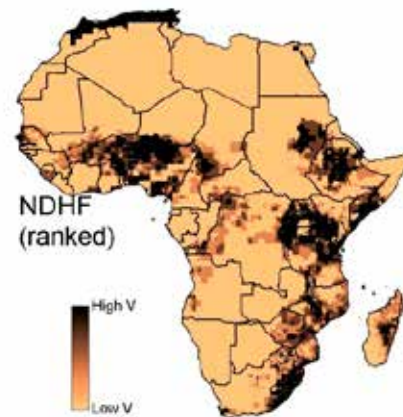
Moyenne des déciles pour les pertes humaines et pertes économiques.

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité).

Carte du haut : indice NDH pour les inondations (NDHF).

Carte du bas : indice NDH pour les sécheresses (NDHD).

La carte présente des classements relatifs (*ranks*).



Identification de l'indice de vulnérabilité			
Acronyme :	PCCH	Nom :	Population and Climate Change Hotspot
Référence(s) :	Population Action International. 2011. Mapping population and climate change hotspots. Policy Brief. Population Action International, Washington D.C.		
Cadre conceptuel et approche			
Les défis viennent de la croissance rapide de la population, la faible résilience au changement climatique et les baisses de production agricole. Vision néo-malthusienne : la mesure principale envisagée pour faire face à ces défis est la réduction de la croissance démographique par le planning familial.			
Type d'approche :	« end point »	Système vulnérable :	Population agricole rapportée à la population
Caractéristiques spatiales			
Résolution :	Pays	Champ d'application :	Monde
Composantes de la vulnérabilité			
Exposition :	Non	L'indice n'utilise pas directement d'indicateurs d'exposition mais utilise les résultats d'une étude sur l'effet du changement climatique sur la production agricole.	
Sensibilité :	Oui	Croissance démographique en 2010. Changement prévu de la production agricole sous l'effet du changement climatique en 2020 (Parry et al., 2004)	
Capacité adaptative :	Oui	Indice de résilience à l'échelle nationale (Malone and Brenkert, 2009), combinant des indicateurs d'infrastructure, sécurité alimentaire, santé, ressources en eau, économie, ressources humaines et environnement.	
Agrégation des indicateurs			
Méthode	Classification		
Résultat	Variable discrète ordonnée. Quatre classes de pays : a. Forte croissance démographique, forte réduction de la production agricole et faible résilience b. Forte croissance démographique et forte réduction de la production agricole. c. Forte croissance démographique et faible résilience. d. Autres.		
Aperçu des résultats			
Note :	Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.		
Description de notre modification :	Les quatre classes ont reçu les valeurs suivantes de vulnérabilité : • Classe a = 1 • Classes b et c = 0,5 • Classe d = 0.		
	L'échelle de vulnérabilité varie 0 à 1 (faible à fort) et est représentée par des couleurs de beige à noir. Les données manquantes apparaissent en blanc.		



**Identification de l'indice de vulnérabilité**

*Acronyme :* SCE *Nom :* Socio-Climatic Exposure  
*Référence(s) :* Diffenbaugh, N., Giorgi, F., Raymond, L., Bi, X. (2007). Indicators of 21st century socioclimatic exposure. Proceedings of the National Academy of Sciences 104 (51), 20195

**Cadre conceptuel et approche**

Premièrement, les populations les plus pauvres sont particulièrement vulnérables aux stress environnementaux car elles vivent souvent dans les endroits les plus exposés avec des infrastructures peu développées et possèdent peu de ressources pour faire face aux perturbations. Deuxièmement, les zones de plus grande richesse ont beaucoup de biens et d'infrastructures exposées aux perturbations, comme le montre le coût immense des désastres naturels dans les zones riches. Troisièmement, indépendamment de la pauvreté et la richesse, plus la population est nombreuse, plus les menaces sur cette population sont importantes.

*Type d'approche :* « end point » *Système vulnérable :* Population , population pauvre et richesse

**Caractéristiques spatiales**

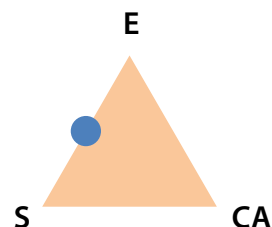
*Résolution :* Pays *Champ d'application :* Monde

**Composantes de la vulnérabilité**

*Exposition :* Oui Indicateur national de changement climatique (prenant en compte les températures, les précipitations et le niveau des mers) avec scénario A1B et 22 modèles de circulation générale pour 2071-2100.

*Sensibilité :* Oui Pauvreté. Richesse. Population.

*Capacité adaptative :* Non Non explicite. Par exemple, la richesse n'est pas vue comme un facteur de capacité adaptative.



**Agrégation des indicateurs**

*Méthode* L'indice climat-population est le produit des indicateurs de changement climatique et population. L'indice climat-pauvreté est le produit des indicateurs de changement climatique, de pauvreté et de population (de même pour l'indice climat-richesse). Ces trois indices sont ajoutés pour obtenir un indice composite.

*Résultat*

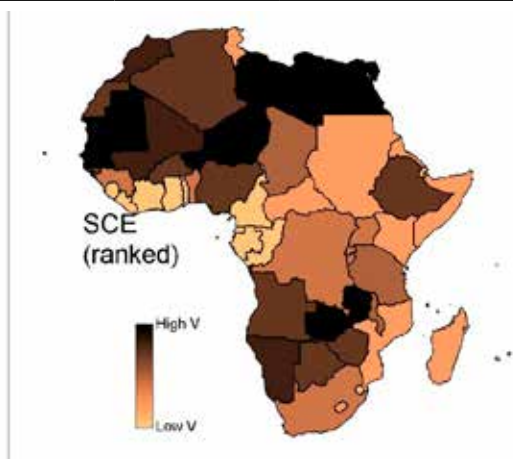
**Aperçu des résultats**

*Note :*

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

*Description de notre modification :*

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). La carte présente des classements relatifs (ranks).



---

**Identification de l'indice de vulnérabilité**


---

Acronyme : SVI

Nom : Social Vulnerability Index

Référence(s) : Adger, W.N. et Vincent. (2005). Uncertainty in adaptive capacity. C. R. Geoscience 337: 399-410.

---

**Cadre conceptuel et approche**


---

L'indice proposé représente la vulnérabilité humaine aux changements dans la disponibilité en eau en raison du changement climatique. L'accent est mis sur la capacité adaptative, qui dépend des ressources nécessaires aux actions d'adaptation, mais aussi sur la sensibilité. L'indice prend en compte 5 indicateurs composites : le bien-être et la stabilité économiques, la structure démographique, la stabilité institutionnelle, l'interconnectivité globale, la dépendance aux ressources naturelles sensibles à la disponibilité en eau.

Type d'approche :

« starting point »

Système vulnérable :

Économie rurale  
dépendante de l'eau

---

**Caractéristiques spatiales**


---

Résolution :

Pays

Champ d'application :

Afrique

---

**Composantes de la vulnérabilité**


---

Exposition :

Non

Sensibilité :

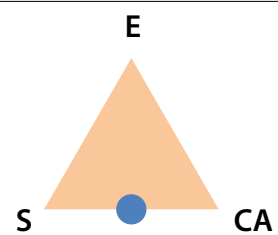
Oui

Dépendance aux ressources naturelles sensibles à la disponibilité en eau (pourcentage de population rurale).

Capacité adaptative :

Oui

Bien-être et la stabilité économiques (pauvreté, croissance urbaine). Structure démographique (ratio de dépendance, VIH/SIDA). Stabilité institutionnelle (dépenses de santé, nombre de téléphones, corruption). Interconnectivité globale (balance commerciale).




---

**Agrégation des indicateurs**


---

Méthode

Moyenne pondérée

Résultat

Variable continue

---

**Aperçu des résultats**

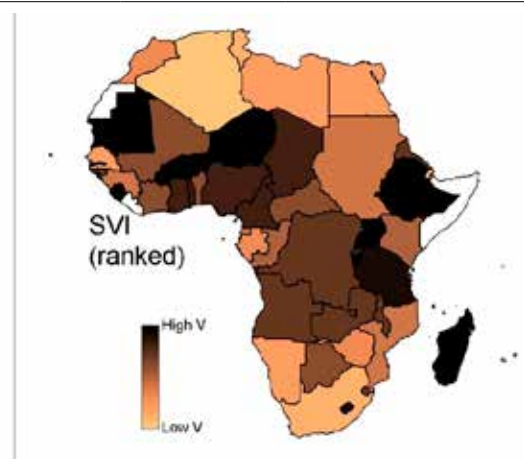

---

Note :

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

Description de notre modification :

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc présentent des données insuffisantes. La carte présente des classements relatifs (*ranks*).



**Identification de l'indice de vulnérabilité**

*Acronyme :* VAC *Nom :* Vulnerability and Adaptive Capacity  
*Référence(s) :* Brooks, N., Adger, W.N., Kelly, P.M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15(2): 151-163.

**Cadre conceptuel et approche**

Le risque est analysé en termes d'effets, ici la mortalité liée aux désastres climatiques (mesurée grâce à une base de données d'évènements d'urgence). Le risque est vu comme une fonction de dangers climatiques définis physiquement (mais non considérés ici) et d'une vulnérabilité construite socialement. Les relations statistiques sont explorées entre le risque et des indicateurs potentiels de vulnérabilité. Les indicateurs qui expliquent le risque sont ensuite sélectionnés et validés par des consultations d'experts. Ils sont appliqués pour mesurer la vulnérabilité.

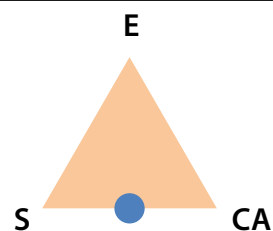
*Type d'approche :* « end point » *Système vulnérable :* Société en général

**Caractéristiques spatiales**

*Résolution :* Pays *Champ d'application :* Monde (mais pas sur tous les pays)

**Composantes de la vulnérabilité**

<i>Exposition :</i>	Non	
<i>Sensibilité :</i>	Oui	Population ayant accès à l'assainissement. Mortalité maternelle. Espérance de vie.
<i>Capacité adaptative :</i>	Oui	Taux d'alphabétisation et genre. Libertés civiques. Droits politiques. « Écouter et rendre compte » de la gouvernance. Effectivité du gouvernement.



**Agrégation des indicateurs**

*Méthode* Moyenne pondérée des indicateurs avec 13 jeux de pondérations différents (un pour les poids égaux, 12 venant de dires d'experts) et transformation en quintiles.  
*Résultat* Variable discrète entre 0 et 13 : nombres de jeux de pondérations pour lesquels le pays est dans le quintile supérieur de vulnérabilité.

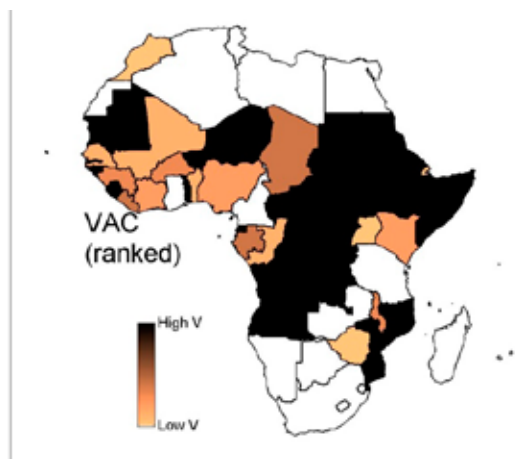
**Aperçu des résultats**

*Note :*

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

*Description de notre modification :*

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc présentent des données insuffisantes. La carte présente des classements relatifs (*ranks*).



**Identification de l'indice de vulnérabilité**

Acronyme : VCC Nom : Global Distribution of Vulnerability to Climate Change.

Référence(s) : Yohe, G., E. Malone, A. Brenkert, M. Schlesinger, H. Meij, X. Xing. 2006. Global Distributions of Vulnerability to Climate Change. The Integrated Assessment Journal 6 (3):35-44.

**Cadre conceptuel et approche**

La vulnérabilité dépend de l'exposition, la sensibilité et la capacité adaptative. L'exposition est caractérisée par l'accroissement des températures. La capacité adaptative est caractérisée par un indice issu du VRIM (Vulnerability-Resilience Indicator Model), tiré de Brenkert & Malone (2005).

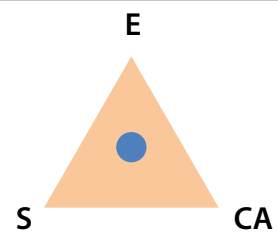
Type d'approche : « starting point » Système vulnérable : Société en général

**Caractéristiques spatiales**

Résolution : Pays Champ d'application : Monde (mais pas sur tous les pays)

**Composantes de la vulnérabilité**

Exposition :	Oui	Changement de température en 2050 et 2100 sous le scénario A2 et plusieurs modèles de circulation globale.
Sensibilité :	Non	
Capacité adaptative :	Oui	L'indice VRIM inclut aussi des indicateurs de capacité adaptative : ressources humaines (taux d'alphabétisation, taux de dépendance), capacité économique (PNB par habitant, distribution des revenus) et de capacité environnementale (densité de population, émissions de SO <sub>2</sub> , ratio de terres non gérées).

**Agrégation des indicateurs**

Méthode Ratio : vulnérabilité = exposition / capacité adaptative

Résultat Classes de vulnérabilité sous différents scénarios de développement.

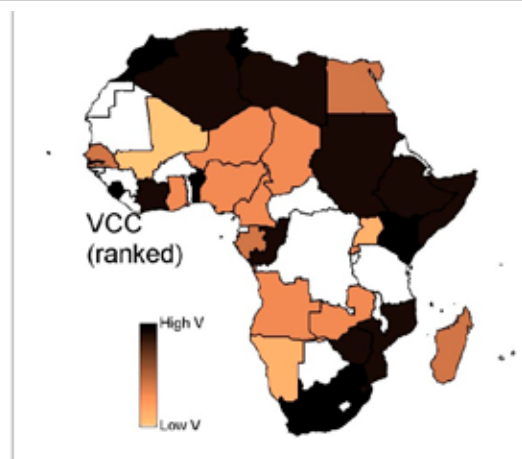
**Aperçu des résultats**

Note :

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

Description de notre modification :

Transformation des classes de vulnérabilité en valeurs numériques puis moyenne des différents scénarios de développement. Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc présentent des données insuffisantes. La carte présente des classements relatifs (*ranks*).



**Identification de l'indice de vulnérabilité**

*Acronyme :* VPD *Nom :* Vulnerability Patterns of Drylands  
*Référence(s) :* Sietz, D., Ludeke, M.K.B., Walther, C. 2011. Categorisation of typical vulnerability patterns in global drylands. *Global Environmental Change* 21, 431-440.

**Cadre conceptuel et approche**

Les zones sèches présentent des vulnérabilités spécifiques mais ne sont pas homogènes. L'objectif de l'indice est de catégoriser les types de vulnérabilité des zones sèches, en fonction de la pauvreté, du stress hydrique, de la dégradation des sols, des contraintes agricoles et de l'isolation.

*Type d'approche :* « starting point » *Système vulnérable :* Moyen de subsistance en zones sèches

**Caractéristiques spatiales**

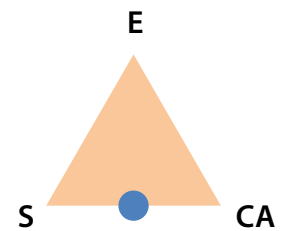
*Résolution :* 0,5 degré *Champ d'application :* Zones sèches du monde

**Composantes de la vulnérabilité**

*Exposition :* Non Mais les zones sèches sont sélectionnées sur la base de l'indice d'aridité supérieur à 0,5 (semi-aride, aride, hyper-aride)

*Sensibilité :* Oui Pauvreté (mortalité infantile), stress hydrique (rareté de l'eau), dégradation des sols, contraintes agricoles (agro-potential), isolation (densité de routes).

*Capacité adaptative :* Oui



**Agrégation des indicateurs**

*Méthode* Clustering et définition de 7 types de vulnérabilité. Ces 7 types sont ordonnés grâce à une interprétation qualitative des clusters.

*Résultat* Variable discrète ordonnée.

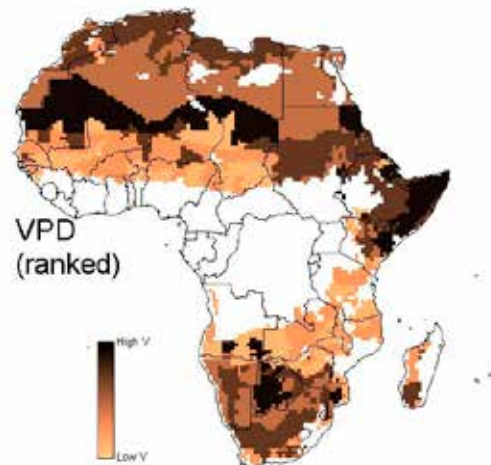
**Aperçu des résultats**

*Note :*

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

*Description de notre modification :*

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc présentent des données insuffisantes. La carte présente des classements relatifs (*ranks*).



---

**Identification de l'indice de vulnérabilité**


---

<i>Acronyme :</i>	VRIM	<i>Nom :</i>	Vulnerability-Resilience Indicator Mode
<i>Référence(s) :</i>	Malone, E., Brenkert, A. 2009. Vulnerability, sensitivity and coping/adapting capacity worldwide, In <i>Distributional Impacts of Climate Change and Disasters: Concepts and Cases</i> . eds M. Ruth, M.E. Ibararán, pp. 8-45. Edward Elgar, Cheltenham, Royaume-Uni.		

---

**Cadre conceptuel et approche**


---

Il est crucial, pour prioriser l'adaptation, d'analyser les relations entre exposition et sensibilité au changement climatique et à la variabilité climatique, ainsi que la capacité adaptative. L'indice proposé intègre des informations socioéconomiques et environnementales pour évaluer la vulnérabilité.

<i>Type d'approche :</i>	« starting point »	<i>Système vulnérable :</i>	Société en général
--------------------------	--------------------	-----------------------------	--------------------

---

**Caractéristiques spatiales**


---

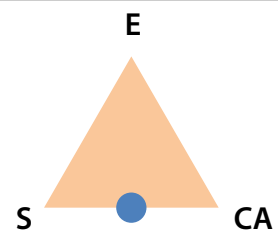
<i>Résolution :</i>	Pays	<i>Champ d'application :</i>	Monde
---------------------	------	------------------------------	-------

---

**Composantes de la vulnérabilité**


---

<i>Exposition :</i>	Non	
<i>Sensibilité :</i>	Oui	Indicateurs de sensibilité relatifs aux infrastructures, la sécurité alimentaire, les écosystèmes, la santé humaine, les ressources hydriques
<i>Capacité adaptative :</i>	Oui	Capacité économique, ressources humaines et civiques, capacité environnementale (pressions sur les écosystèmes : densité de population, émissions de SO <sub>2</sub> , terres non gérées).


**Agrégation des indicateurs**


---

<i>Méthode</i>	Moyenne géométriques des indicateurs de sensibilité et capacité adaptative. Normalisation et addition.
<i>Résultat</i>	Variable continue

---

**Aperçu des résultats**

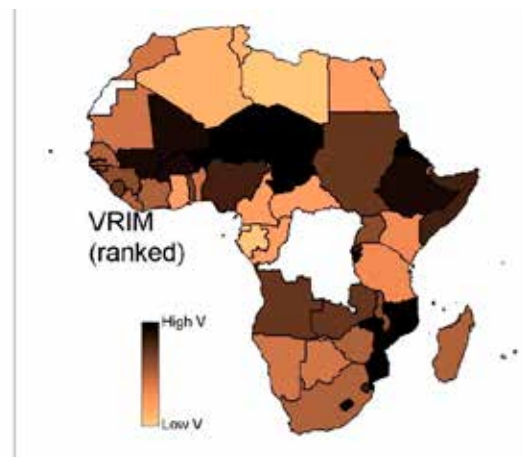

---

*Note :*

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

*Description de notre modification :*

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc présentent des données insuffisantes. La carte présente des classements relatifs (*ranks*).



**Identification de l'indice de vulnérabilité**

*Acronyme :* WPI *Nom :* Water Poverty Index  
*Référence(s) :* Lawrence, P. R., Meigh, J., Sullivan, C. (2002). The water poverty index: an international comparison. Keele Economics Research Paper 19. Department of Economics, Keele University, Staffordshire, Royaume-Uni  
 Sullivan, C., 2002. Calculating a water poverty index. World Development 30, 1195-1210.

**Cadre conceptuel et approche**

Les populations les plus pauvres souffrent souvent d'un mauvais accès aux ressources en eau. L'indice de pauvreté en eau combine des estimations biophysiques de disponibilité en eau et des variables socioéconomiques

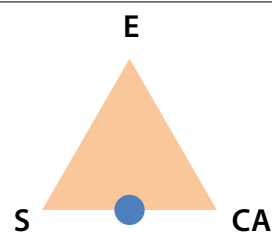
*Type d'approche :* « starting point » *Système vulnérable :* Populations pauvres dépendantes de l'eau

**Caractéristiques spatiales**

*Résolution :* Pays *Champ d'application :* Monde

**Composantes de la vulnérabilité**

*Exposition :* Non Pas d'exposition climatique  
*Sensibilité :* Oui Ressources (disponibilité de ressources). Accès (pourcentage de population ayant accès à l'eau et à l'assainissement, surfaces agricoles et surfaces irriguées par rapport aux ressources internes en eau). Utilisation (volumes d'eau par habitant pour usage domestique, industriel, et agricole). Environnement (qualité de l'eau, stress hydrique)  
*Capacité adaptative :* Oui Capacité (PIB par habitant, taux de mortalité infantile, éducation, coefficient de Gini). Environnement (régulation et capacité de gestion, protection de la nature, capacité informationnelle...)



**Agrégation des indicateurs**

*Méthode* Transformation linéaire des indicateurs et moyenne pondérée des cinq composantes (dans l'exemple présenté, pondérations toutes égales à 1).

*Résultat* Variable continue

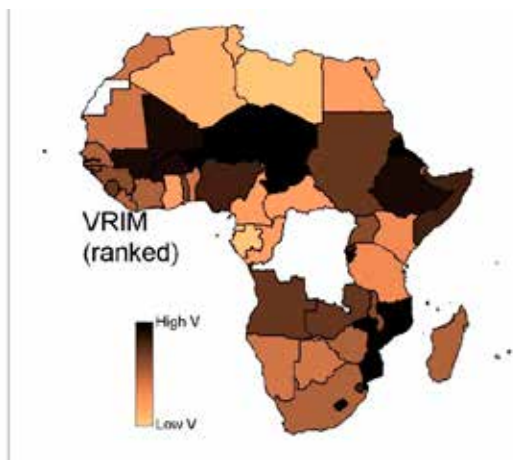
**Aperçu des résultats**

*Note :*

Cette carte a été modifiée par souci de comparaison avec les autres cartes. Prière de consulter le document référencé pour la carte ou les données originales.

*Description de notre modification :*

Transformation linéaire de l'indice au niveau du continent : les sites plus vulnérables prennent la valeur 1 (forte vulnérabilité) et les moins vulnérables la valeur 0 (faible vulnérabilité). Les sites en blanc présentent des données insuffisantes. La carte présente des classements relatifs (ranks).







**Les documents de travail du CIFOR contiennent des résultats préliminaires ou anticipés concernant d'importantes questions sur les forêts tropicales qui nécessitent d'être publiées à l'avance. Ces documents sont produits pour informer et inciter la discussion. Leur contenu a été révisé à l'interne, mais n'a pas subi la procédure d'examen par les pairs.**

La variabilité climatique a toujours affecté la société et le changement climatique anthropique constitue un défi supplémentaire pour les populations et leurs activités, en particulier en Afrique. Parmi les différents outils disponibles pour l'évaluation de la vulnérabilité de la société aux variations climatiques, l'utilisation d'indices quantifiés de vulnérabilité et leur cartographie se sont particulièrement développées ces dernières années. L'objectif de ce document est de passer en revue des cartes de vulnérabilité à l'échelle du continent africain afin de répondre aux questions suivantes : parmi la diversité des indices et des cartes de vulnérabilité, est-il possible de distinguer des groupes présentant des traits communs, par exemple identifiant les mêmes zones fortement vulnérables ? Comment expliquer les différences entre les cartes ? Où se trouvent les zones les plus vulnérables en Afrique selon chaque groupe de cartes ?

À partir de l'analyse de 23 indices, nous avons dégagé quatre groupes d'indices corrélés. Chaque groupe fournit une image différente de la vulnérabilité, orientée vers la pauvreté et la dépendance à l'agriculture, vers la densité de la population, vers la richesse et les capitaux non agricoles ou vers les failles de gouvernance. Les zones les plus vulnérables varient selon les groupes, qui véhiculent des messages contrastés sur les priorités d'adaptation. Les contrastes entre ces groupes s'expliquent par les différentes conceptualisations de la vulnérabilité et les différentes méthodes d'évaluation, y compris le choix des indicateurs. Les divergences sur la localisation des zones fortement vulnérables montrent les difficultés dans l'utilisation des cartes pour les décisions politiques. Il est important que les décideurs identifient clairement les présupposés de chaque indice et appréhendent la diversité des indices et leurs résultats.



PROGRAMME DE RECHERCHE SUR  
**les Forêts, les Arbres et  
l'Agroforesterie**

Cette recherche a été menée par le CIFOR dans le cadre du Programme de recherche du CGIAR sur les forêts, les arbres et l'agroforesterie (CRP-FTA). Ce programme collaboratif vise à améliorer la gestion et l'utilisation des forêts, de l'agroforesterie et des ressources génétiques des arbres à l'échelle du paysage, des forêts aux exploitations agricoles. Le CIFOR dirige le CRP-FTA en partenariat avec Bioversity International, le CIRAD, le Centre international d'agriculture tropicale et le Centre mondial de l'Agroforesterie.

[cifor.org](http://cifor.org)

[blog.cifor.org](http://blog.cifor.org)



**Australian Government**  
**AusAID**



**Centre de recherche forestière internationale (CIFOR)**

Le CIFOR oeuvre en faveur du bien-être humain, de la conservation de l'environnement et de l'équité par sa recherche scientifique qui contribue à l'élaboration des politiques et des pratiques affectant les forêts dans les pays en développement. Le CIFOR est membre du Consortium du CGIAR. Son siège est situé à Bogor en Indonésie et il est également implanté en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud.

