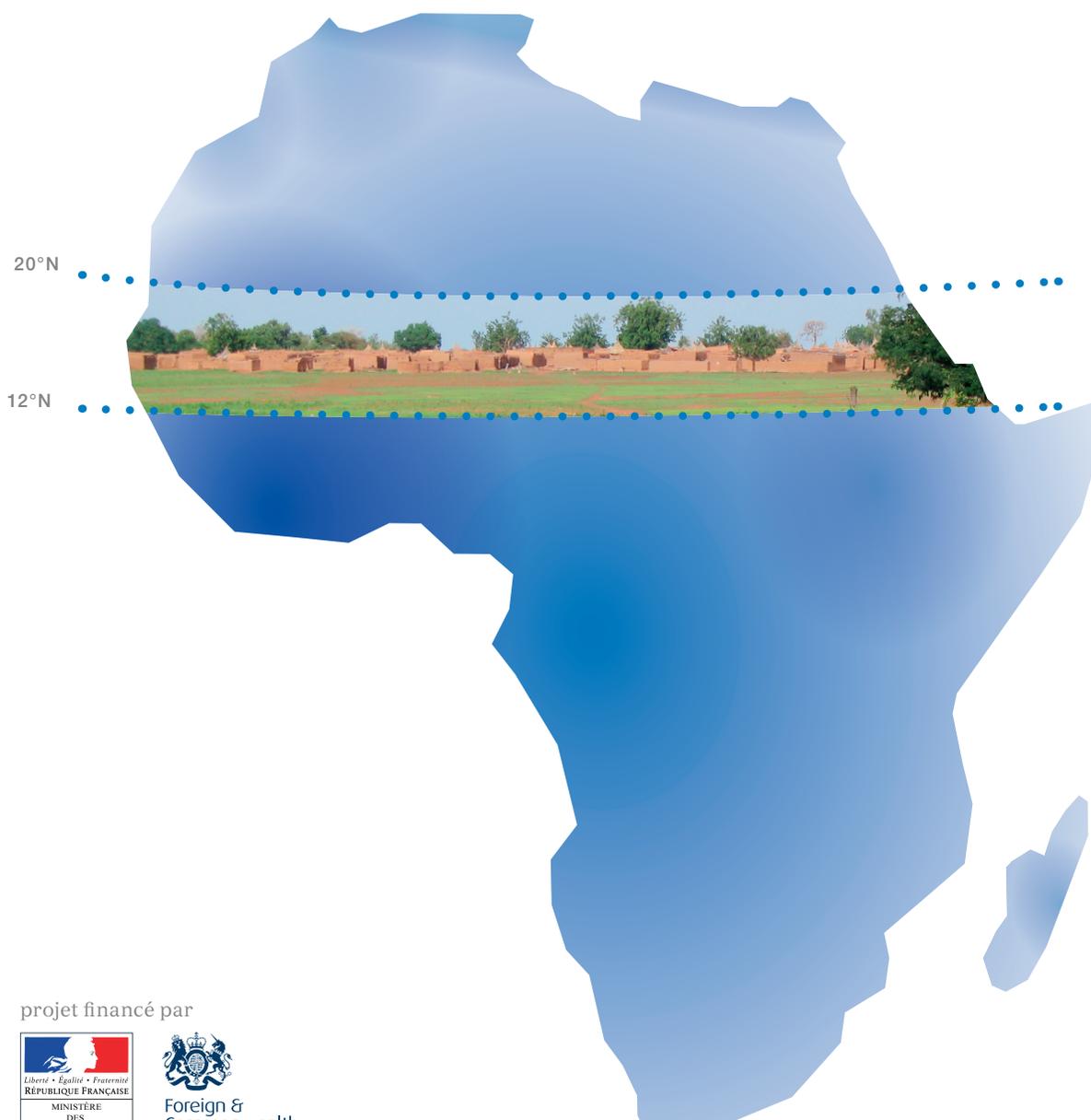


# Etude économétrique de l'impact de la variabilité des précipitations sur la sécurité dans la région du Sahel

Sebastien Hissler



projet financé par



Foreign & Commonwealth Office

Cette étude fait partie du projet « *Incidences sécuritaires du changement climatique au Sahel* » (SICCS). Il est coordonné par le Secrétariat du Club du Sahel et de l’Afrique de l’Ouest (CSAO/OCDE) et cofinancé par le ministère français des affaires étrangères et européennes et par le ministère britannique des affaires étrangères et du Commonwealth. Le projet s’appuie sur un réseau de spécialistes et d’agences techniques pour mener des analyses régionales sur l’impact du changement et des variations climatiques au Sahel, l’existence et la nature de leurs liens avec la sécurité. Les analyses climatologiques sont réalisées par le UK Met Office Hadley Centre. [www.oecd.org/swac/climatechange](http://www.oecd.org/swac/climatechange)

Les idées exprimées et les arguments avancés dans ce document sont ceux de l’auteur et ne reflètent pas nécessairement ceux de l’OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.

# Table des matières

Résumé	4
1 Introduction	4
2 Revue de la littérature	5
2.1 Des résultats empiriques peu concluants pour l'approche de long terme	6
2.2 Les analyses récentes sur le rôle du climat comme évènement déclencheur d'un conflit apparaissent prometteuses	7
2.3 Où se situe actuellement la littérature académique ?	8
3 Modélisation : Présentation d'une structure et hypothèses sous-jacentes	8
4 Spécification d'un modèle avec deux canaux de transmission	10
4.1 Spécification	10
4.2 Description des variables utilisées	12
5 Résultats	13
5.1 Première étape de l'estimation	13
5.2 Seconde étape de l'estimation : le rôle du climat comme déclencheur d'évènements en matière de sécurité	16
5.3 Utilisation des résultats du modèle afin de construire des cartes de vulnérabilités	18
6 Conclusion	19
Bibliographie	20
Annexe	21

## Résumé

Cette étude présente un modèle économétrique visant à identifier et analyser l'impact de la variabilité climatique sur l'occurrence d'événements en matière de sécurité, via deux canaux de transmission. La spécification de ce modèle a été fondée sur la base de certains enseignements de la littérature empirique, et une attention particulière a été apportée afin que les résultats des estimations puissent contribuer à la production de cartes de vulnérabilités en matière de sécurité. Il est ici supposé que la variabilité des précipitations, mesurée par leur écart normalisé à leur moyenne de long terme, est susceptible de déclencher des événements en matière de sécurité, via deux canaux de transmission : la croissance de la production agricole et la croissance de l'urbanisation. Les résultats obtenus mettent en avant une influence significative de la variabilité passée des précipitations sur les événements observés en matière de sécurité, essentiellement via son impact sur la croissance de la production agricole, et alors que la croissance de l'urbanisation serait un canal de transmission très mineur. En outre, les résultats soulignent l'importance des conditions socio-économiques dans la détermination des fragilités en matière de sécurité. Il demeure que les estimations quantitatives obtenues sont statistiquement très faibles et viennent limiter les interprétations des résultats de ce modèle.

## 1 Introduction

Les différentes approches qui ont été envisagées par les chercheurs académiques afin de modéliser les relations entre climat et sécurité présentent chacune des avantages et des inconvénients. La première se fonde sur l'élaboration de modèles conceptuels visant à documenter le nombre le plus complet d'interactions possibles existant entre les changements climatiques et des événements sécuritaires (voir par exemple Perch-Nielsen, 2004). La construction de ces modèles est fondée sur l'intuition et sur les résultats d'études de cas, mais il s'agit d'une approche formelle qui est seulement discutée théoriquement et qui ne cherche pas à vérifier empiriquement les relations discutées. Une seconde approche cherche à modéliser plus explicitement la façon par laquelle un événement peut affecter le comportement des agents et impacter la sécurité en conséquence. La réaction des agents à un événement a ainsi été modélisée sur la base d'un à priori quant à leur rationalité, où les agents raisonnaient en termes d'analyse coût-bénéfice. Collier et Hoeffler (2002) ont par exemple proposé un modèle où, suite à un choc exogène conduisant à une baisse du revenu des individus dans un pays en développement, ces derniers seraient plus susceptibles de rejoindre les forces rebelles car leur bénéfice à demeurer dans le système officiel décroît.

Une troisième approche porte sur l'élaboration de modèles quantitatifs, qui permettent à la fois de tester empiriquement l'existence et la validité d'une relation théorique, et de donner une idée de l'importance de cette relation. Ces modèles tendent à simplifier une réalité complexe, car ils utilisent le plus souvent des équations simples (aussi appelées équations de forme réduite), et car les méthodes mises en œuvre sont dans la plupart des cas fondées sur des hypothèses probabilistes qui ne permettent pas de bien modéliser les comportements humains. Il demeure que leur objectif principal est de fournir une estimation d'un ensemble de coefficients, de telle sorte à faire correspondre au mieux les équations testées avec les observations statistiques.

Les modèles quantitatifs apparaissent intéressants dans le cadre de ce projet<sup>1</sup> car ils permettent, sur la base des observations statistiques, de tester l'hypothèse d'une influence du climat sur la sécurité, ainsi que de quantifier l'importance de cet effet. Ces résultats pourraient de plus être utiles afin de mieux quantifier et localiser des poches de vulnérabilité. En effet, une première stratégie pour illustrer dans les pays la relation entre sécurité et un ensemble de variables économiques, sociales et climatiques serait de construire un indice avec une pondération de 1 quelle que soit la variable. Cette approche n'est toutefois pas satisfaisante dans la mesure où certaines variables sont susceptibles de tenir un rôle plus important que d'autres pour expliquer des problématiques en matière de sécurité, par exemple il est possible que le PIB par tête ait une influence plus forte sur l'occurrence d'évènement de sécurité que la croissance de la population. Afin d'obtenir une pondération plus proche de la réalité et donc différente selon les variables, une seconde stratégie serait d'utiliser des modèles quantitatifs économétriques, qui peuvent estimer, sur la base des séries temporelles observées, le poids des différentes variables socio-économiques et climatiques susceptibles d'avoir une influence sur la sécurité.

Dans la suite, la partie 2 propose une revue des travaux récents tentant d'appréhender l'influence du climat en matière de sécurité à l'aide de l'approche quantitative. Les principaux résultats de cette synthèse sont utilisés dans la partie 3 afin de construire un modèle, où le climat est supposé agir comme un déclencheur d'évènements de sécurité, via son effet sur divers canaux de transmission. Un modèle à deux canaux de transmission est ensuite présenté dans la partie 4 et testé pour les pays présents dans la bande du Sahel (pour cette étude la région entre 12°N et 20°N), afin de voir si la variation des précipitations peut déclencher des évènements en matière de sécurité via son impact sur la croissance de la production agricole et sur la croissance de l'urbanisation. Les résultats obtenus sont présentés dans la partie 5 et donnent une idée sur la significativité de ces relations (partie 5.1 et 5.2). En outre, l'importance à donner aux caractéristiques socio-économiques dans le cadre de ces relations et leur interprétation afin de participer à établir des cartes de vulnérabilités en matière de sécurité sont discutées (partie 5.3). La partie 6 conclut.

## 2 Revue de la littérature

Les approches quantitatives visant à tester la validité et quantifier une relation entre les évolutions climatiques et des problématiques en matière de sécurité ne sont pas encore très nombreuses. Dans une étude récente, Gleditsch et al (2008) ont recensé 14 travaux et parmi eux, 4 concernent spécifiquement les pays d'Afrique sub-saharienne où les conséquences des changements climatiques en matière de sécurité<sup>2</sup> sont supposées être les plus fortes (Solana, 2008). Bien qu'encore naissantes, ces problématiques sont déjà activement débattues et le nombre d'études portant sur le sujet devrait croître dans les années à venir. Mais déjà, les études existantes apparaissent riches d'enseignement en termes d'avantages et d'inconvénients selon les spécifications retenues.

Les études peuvent être divisées entre celles qui se concentrent sur une approche de long terme de la relation entre climat et sécurité et celles qui envisagent la même relation dans une perspective de court terme, cette distinction reposant sur deux hypothèses théoriques différentes. Dans le premier cas, les tendances climatiques de long terme sont

<sup>1</sup> « Security implications of climate change in the Sahel region », une analyse régionale coordonnée par le Secrétariat du Club du Sahel / OCDE. Ce projet utilise diverses méthodes analytiques et un large ensemble de variables climatiques et non climatiques afin d'identifier dans la région les principales tendances de long terme et transformations structurelles, les caractéristiques et les principales vulnérabilités en matière de sécurité ([www.oecd.org/swac/climatechange](http://www.oecd.org/swac/climatechange)).

<sup>2</sup> Si ces études utilisent diverses variables afin de capturer les changements climatiques, la variable utilisée pour indiquer l'occurrence d'évènements de sécurité porte toujours sur les conflits, qu'ils soient civils, entre Etats ou pastoraux.

supposées accroître la rareté des ressources renouvelables, ce qui inciterait les individus à se battre plus pour accéder aux ressources et ce qui augmenterait en conséquence le risque global en matière de sécurité. L'origine de cette hypothèse provient de la théorie néo-malthusienne<sup>3</sup>. Dans le second cas, les analyses à court terme cherchent à mettre en avant le rôle des variations à court terme du climat comme possibles déclencheurs d'évènements en matière de sécurité.

D'une façon conceptuelle, ces 2 approches sont complémentaires comme l'a souligné le rapport Solana. Néanmoins, si le rôle du climat à court terme comme potentiel déclencheur d'évènement de sécurité apparaît intuitivement convaincant, étant entendu la difficulté des individus à s'adapter aux anomalies climatiques, en revanche la perspective d'une influence du climat en matière de sécurité dans le long terme est critiquée par divers chercheurs tels que Thiesen (2008) et Hendrix et Glazer (2008). Il n'apparaît en effet pas évident que, dans le long terme, les changements climatiques entraînent des conflits via un accroissement des difficultés d'accès aux ressources renouvelables, les individus ayant plus de temps pour s'adapter aux changements climatiques, notamment via l'innovation.

## 2.1 Des résultats empiriques peu concluants pour l'approche de long terme

Parmi les modèles se concentrant sur l'influence de long terme des changements climatiques en matière de sécurité, l'étude souvent citée de Hauge et Ellingsen (1998) a présenté des résultats tendant à confirmer l'hypothèse néo-malthusienne. Les auteurs ont réalisé une analyse en panel sur un large nombre de pays dont certains d'Afrique sub-saharienne. Les changements climatiques de long terme sont supposés être capturés par des variables illustrant la rareté des ressources, telles que la détérioration de la terre, la déforestation et l'accessibilité à l'eau potable. Les estimations des auteurs les amènent à conclure que ces variables, ainsi que la densité de la population, ont une influence significative sur le risque d'observer une guerre civile.

Ces résultats de Hauge et Ellingsen n'ont toutefois pas été confirmés par l'ensemble des autres études. Par exemple, Esty et al (1998), dans leurs travaux pour la phase II de la « Political Instability Task Force », n'ont pas réussi à identifier un lien direct entre diverses mesures de rareté des ressources et des tensions domestiques en matière de sécurité. Comme souligné par Gleditsch (2008), certaines études ont même abouti à des résultats qui peuvent paraître contre-intuitifs : par exemple de Soya (2002) a trouvé qu'une hausse du stock de ressources renouvelables tendait à accroître le risque de conflit. Au final, dans une étude très convaincante, Theisen (2008) a tenté de reproduire sans succès les résultats obtenus par Hauge et Ellingsen (1998), sur la base du même ensemble statistique, suggérant ainsi que l'approche de long terme liant rareté des ressources et risque en matière de sécurité doit être considérée avec précaution.

Une des principales difficultés techniques des modèles de long terme concerne l'éventail des données à disposition. Gleditsch et al (2008) indiquent en effet que l'hypothèse de la rareté des ressources est difficile à tester compte-tenu du faible nombre de variables statistiques mesurant son évolution, ainsi que par le degré de qualité des variables souvent utilisées afin de mesurer l'accès à l'eau potable et le rendement des cultures. En outre, les caractéristiques susceptibles de capturer la capacité d'adaptation d'une population devrait en théorie être prise en compte dans le cadre de ces modèles.

<sup>3</sup> La théorie néo-malthusienne explique qu'un accroissement de la densité de la population peut engendrer des problématiques en matière de sécurité, dans la mesure où les individus sont plus nombreux à se partager un stock de ressource en diminution.

## 2.2 Les analyses récentes sur le rôle du climat comme évènement déclencheur d'un conflit apparaissent prometteuses.

Les études visant à analyser les effets à court terme du climat se sont particulièrement concentrées sur les régions les plus pauvres du monde telles qu'en Afrique sub-saharienne, sous l'hypothèse que les conditions de vie dans ces régions sont plus sensibles aux variations climatiques.

Le rôle des variables climatiques en tant que déclencheur de guerre civile a notamment été documenté par Miguel et al (2004). L'intention initiale des auteurs était de donner une interprétation de la relation statistique souvent documentée entre la croissance du PIB et l'occurrence de conflit en Afrique sub-saharienne : une contraction du PIB dans les pays en développement peut être considérée soit comme une hausse du coût d'opportunité des individus les plus pauvres les incitant à rejoindre les groupes rebelles, soit comme un indicateur que l'Etat perd de son assise (voir Fearin et Laitin 2003). Les précédentes tentatives statistiques cherchant à vérifier laquelle de ces deux explications est la bonne étaient difficiles car les autres variables explicatives susceptibles d'être utilisées à la place du PIB pouvaient être déjà corrélées au PIB, entraînant un biais d'endogénéité. Au lieu de prendre la croissance du PIB comme variable, Miguel *et al* ont donc proposé de ne prendre que la partie de la croissance du PIB corrélée avec les précipitations : les précipitations étant clairement exogènes au modèle, la partie du PIB corrélée aux précipitations l'est aussi. Les résultats obtenus par Miguel sont en faveur du premier argument, où une modification de l'évolution du coût d'opportunité des individus peut potentiellement déclencher une guerre civile ; de façon connexe, leurs résultats soulignent également que le climat peut avoir un effet déclencheur de conflit via ses effets directs sur la croissance du PIB.

Hendrix et Glazer (2008) se sont également intéressés à la relation statistique entre climat et conflit dans les pays d'Afrique sub-saharienne, en s'inspirant des travaux de Miguel *et al* et en proposant un modèle où les deux effets du climat en matière de sécurité, à court terme et long terme, sont empiriquement testés. Les résultats obtenus sur les effets à long terme ne sont pas fortement convaincants (le type de condition climatique selon les pays a bien les effets cohérents avec l'intuition mais la probabilité d'observer un conflit augmente quand les ressources en eau potable s'accroissent). A l'opposé, la variation des précipitations ressort statistiquement significative comme potentiel déclencheur de conflit l'année qui suit, ce qui vient conforter les précédents résultats obtenus par Miguel et al. En outre, Hendrix et Glazer (2008) ont montré que la probabilité estimée d'observer un conflit était bien plus sensible aux variations des précipitations à court terme qu'aux indicateurs de rareté des ressources.

Le rôle joué par les précipitations a également été confirmé sur des résolutions géographiques plus fines. Meier et Bond (2005) ont cherché à comprendre les facteurs à l'origine des conflits pastoraux dans la région de Karajoma (qui comprend l'Ethiopie, le Kenya et l'Uganda). A partir des observations annuelles de précipitations, les auteurs ont observé que la fin de la saison sèche, de Janvier à Mars, était une période où le nombre de décès humains augmentait substantiellement et où le volume des cheptels se contractait. Les données ont indiqué une quantité moindre de fourrage autour de cette période, suggérant que la mobilité plus élevée des bergers à ce moment est susceptible d'accroître les tensions en matière de sécurité.

## 2.3 Où se situe actuellement la littérature académique ?

En théorie, les modèles quantitatifs pourraient être utilisés afin de tester la validité des modèles conceptuels et de fournir un ordre de grandeur de l'importance relative des différents canaux de transmission envisagés. Toutefois, la complexité des relations susceptibles d'exister entre le climat et les problématiques en termes de sécurité, telle qu'illustrée dans les modèles conceptuels de Perch-Nielsen (2004), contraste avec les équations à forme réduite utilisées dans les modèles quantitatifs. Les effets rétroactifs sont par exemple difficiles à estimer dans les modèles quantitatifs, et l'influence du climat en matière de sécurité est la plupart du temps envisagée dans un cadre linéaire.

Parmi les améliorations proposées par Gleditsch et al (2008), un plus grand recours aux images satellites serait souhaitable afin de construire des ensembles de données : le manque de dynamisme des variables capturant l'évolution de la rareté des ressources, le degré de qualité des données et des séries temporelles incomplètes tendent à limiter la pertinence de l'analyse statistique (cela étant d'autant plus le cas quand l'analyse porte sur les pays d'Afrique sub-saharienne). Les chercheurs ont également proposé d'utiliser plus de données locales, Meier et al (2004) ayant par exemple montré leur intérêt pour aborder la problématique des conflits pastoraux. Il demeure qu'accroître la résolution géographique de l'analyse n'aboutirait probablement pas à un cadre unifié dans lequel appréhender la relation climat – sécurité, puisqu'en se concentrant sur les causes des conflits locaux il deviendrait plus difficile d'appréhender les conflits qui trouvent leur cause au niveau national.

Certaines études ont pour leur part cherché à tenir compte des problèmes de non-linéarité, soit en utilisant des variables binaires dans le but d'amplifier mécaniquement les effets d'une anomalie climatique importante, soit en utilisant des termes multiplicatifs d'interaction entre deux variables (voir Hendrix *et al*). Toutefois rien n'indique que les formes de non-linéarité envisagées soient les bonnes. Une analyse systématique de la robustesse statistique des différentes formes de non-linéarité pourrait aider à mieux définir les équations à tester. Par ailleurs, les études référencées ci-avant ont utilisé comme variable dépendante des indicateurs de conflits civils, entre Etats ou pastoraux, alors que la problématique de sécurité pourrait être définie de manière plus large. Enfin, il existe plusieurs canaux de transmission potentiels par lesquels le climat est susceptible de déclencher un événement de sécurité, toutefois les modèles économétriques se sont jusqu'à présent largement concentrés sur le seul canal de transmission par le PIB.

## 3 Modélisation : Présentation d'une structure et hypothèses sous-jacentes

L'idée générale des modèles quantitatifs consiste à utiliser des techniques économétriques<sup>4</sup> (algorithmes) afin d'essayer de rapprocher avec le maximum de vraisemblance les relations d'un modèle conceptuel avec les données observées. Dans ce cadre, il est proposé de définir une structure générale dans laquelle plusieurs modèles conceptuels pourraient être testés, puis de sélectionner une technique économétrique d'estimation et enfin de collecter les données statistiques afin de réaliser l'estimation.

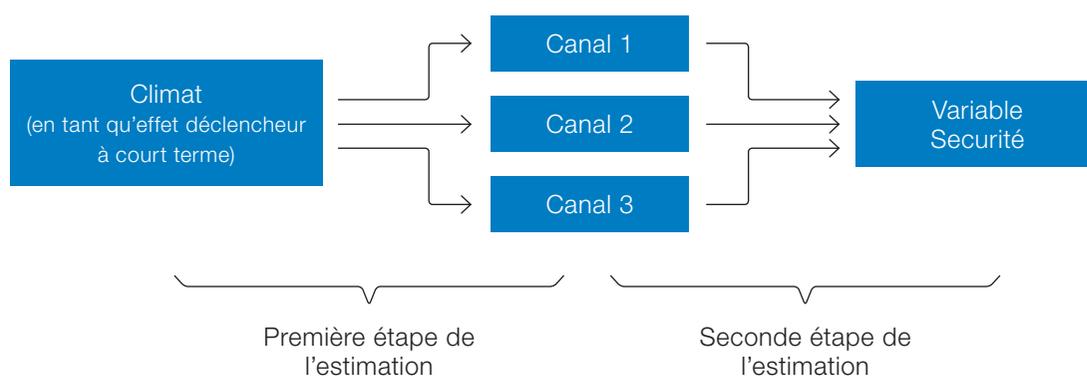
1 La structure du modèle est définie en cohérence avec l'approche à court terme où les variations climatiques sont susceptibles de déclencher des événements en matière

4 Les estimations en panel sur plusieurs pays peuvent être réalisées avec la technique des moindres carrés ordinaires (MCO), ou avec des techniques d'estimation plus sophistiquées telle la méthode des moments généralisés qui donne plus de flexibilité sur les hypothèses statistiques en termes de variance et corrélation.

de sécurité, cette relation statistique étant apparue plus significative que l'approche à long terme lors de la revue de littérature. Cette structure s'inspire de celle proposée par Miguel *et al* (2004), dans la mesure où elle permet d'examiner les effets du climat sur la sécurité via des canaux de transmission : une analyse plus fine des différentes manières par laquelle le climat peut déclencher des événements en termes de sécurité est dès lors permise et, sur la base de certaines hypothèses, elle pourrait permettre d'envisager les rôles respectifs de plusieurs canaux de transmission en même temps. Cela contribuerait *in fine* à rendre les estimations de ces modèles plus robustes<sup>5</sup> et un peu plus proches de la complexité des modèles conceptuels.

La structure est spécifiée dans le but d'examiner la relation climat-sécurité sous l'angle d'analyse des « conséquences des conséquences » et sous une forme réduite :

- La variabilité du climat (la variable indépendante) peut avoir un effet direct sur plusieurs variables (canaux de transmission), et c'est à travers ces canaux que le climat agit sur la sécurité (la variable dépendante),
- La théorie sous-jacente à chaque relation identifiée n'a pas besoin d'être formellement discutée,
- Il ne peut y avoir d'effets rétroactifs.



**Graphique 1**

Structure d'un modèle à forme réduite

2 La structure du modèle étant proche de celle de Miguel *et al* (2004), une technique d'estimation du modèle par les moindres carrés ordinaires en 2 étapes est retenue : dans la première étape, l'influence des variations climatiques sur chacune des variables supposées agir comme canal de transmission dans la relation climat-sécurité est estimée ; dans une seconde étape, cette influence estimée des variations climatiques sur des variables agissant comme canal de transmission est elle-même utilisée comme variable afin de quantifier son influence sur les événements observés en matière de sécurité. Lorsque plusieurs canaux de transmission cohabitent, des hypothèses techniques supplémentaires sont nécessaires afin de rendre la procédure d'estimation robuste : des termes d'interaction multiplicatifs ont

<sup>5</sup> Comme discuté par Miguel, l'estimation des effets du climat sur la sécurité via un seul canal de transmission est susceptible de biaiser les résultats de l'estimation si le climat agit également sur la sécurité par d'autres canaux de transmission. Il demeure néanmoins qu'une analyse quantitative utilisant plusieurs canaux de transmission sera toujours éloignée de la complexité des vraies relations théoriques, aussi cette approche ne permet pas vraiment d'améliorer les problèmes de complétude des relations envisagées.

ainsi été utilisés afin d'obtenir des sensibilités des canaux de transmission aux variations climatiques qui sont dépendantes du temps et du pays considéré<sup>6</sup>.

3 La sélection des données a porté sur quatre jeux de séries temporelles. Tout d'abord, des indicateurs à court terme des évolutions climatiques sont utilisés (précipitations, température, anomalies climatiques telles qu'une sécheresse exceptionnelle), afin de refléter le rôle possible du climat comme déclencheur d'événements de sécurité à court terme. Un second ensemble de données porte sur des variables qui sont directement affectées par le climat, c'est-à-dire les canaux de transmission et l'indice sécurité, et le troisième ensemble de données correspond aux variables susceptibles de modifier l'évolution de la sensibilité des canaux au climat dans le temps et selon les pays (les termes d'interaction). Le dernier ensemble consiste en des variables de contrôle qui doivent refléter les autres caractéristiques susceptibles d'agir sur l'occurrence d'événements en matière de sécurité. D'une façon générale, toutes ces séries temporelles doivent contenir le même nombre et la même fréquence d'observations<sup>7</sup>.

Au final, une spécification fondée sur ce type de structure pourrait permettre d'estimer les conséquences du climat en termes de sécurité et de tester l'importance relative de divers canaux de transmission. Des cartes de vulnérabilité pourraient utiliser ces résultats en tenant compte des pondérations estimées 1) pour les variables susceptibles de modifier la sensibilité des canaux de transmission à la variabilité climatique, 2) pour les variables agissant directement sur la relation entre variabilité du climat et sécurité et 3) pour les variables socio-économiques participant à expliquer les fragilités d'un pays en matière de sécurité.

## 4 Spécification d'un modèle avec deux canaux de transmission

Présentation d'un modèle à deux canaux où les estimations sont réalisées avec la méthode des moindres carrés en deux étapes.

### 4.1 Spécification

Nous proposons de tester les hypothèses que la variabilité du climat (qui sera capturée dans le cas présent par les précipitations) a un effet sur la croissance de la production agricole et la croissance de l'urbanisation, et que le climat, à travers son effet sur ces deux variables jouant comme des canaux de transmission, peut déclencher des événements en termes de sécurité. Ces deux canaux de transmission ont été proposés pour les raisons suivantes :

**Canal 1** – Croissance de la production agricole : cette variable est probablement plus directement liée aux évolutions climatiques que la croissance du PIB dans son ensemble telle qu'utilisée par Miguel et al. Il est certes raisonnable de dire que la variabilité du PIB dans les pays sub-sahariens est essentiellement expliquée par la prédominance du

<sup>6</sup> L'utilisation de termes d'interaction est nécessaire lors de la première étape de l'estimation afin de permettre l'estimation d'un modèle où cohabitent plusieurs canaux de transmission. Sans leur utilisation et du fait que le modèle n'utilise qu'une seule variable climatique en ce qui concerne le choc initial, la partie de chaque canal expliquée par la variable climatique aurait la même variance et donc le même contenu informationnel, d'où une incohérence lors de la deuxième étape de l'estimation. Aussi pour permettre une estimation de l'influence respective de plusieurs canaux, la sensibilité de chaque canal devrait être rendue dépendante selon le temps et les pays. Il est ici utilisé des termes d'interaction qui permettent de relier, de façon multiplicative, la variable climatique avec d'autres variables susceptibles d'affecter la sensibilité d'ensemble de la relation considérée. En outre, la technique d'estimation vient corriger pour des variances non constantes dans les résidus selon les pays (en appliquant la technique PCSE utilisant des pondérations différentes selon les pays lors de l'estimation) : les résultats ainsi produits sont statistiquement robustes mais ils impliquent également que la relation estimée est susceptible de dévier plus fortement des observations que dans le cas d'une technique d'estimation strictement linéaire.

<sup>7</sup> Selon la loi normale, plus le nombre d'observations est élevé et plus les résultats de l'estimation seront robustes.

secteur agricole, toutefois une régression en panel liant le climat au PIB devrait contrôler pour le poids du secteur agricole selon les pays, sans quoi les résultats de l'estimation indiqueraient que chaque pays aurait la même sensibilité au climat indépendamment de la taille de son secteur agricole.

**Canal 2** – Croissance de l'urbanisation : ce canal ne semble pas avoir été discuté dans la littérature empirique, aussi son rôle est ici étudié avec deux préoccupations :

- Le processus de long terme d'urbanisation a clairement été une source de paix dans les pays en développement, les pays d'Afrique de l'Ouest ayant réussi à s'adapter à une forte croissance de l'urbanisation avec un délai de 3 ans (voir WALTPS, 1998). Cependant les effets pourraient paraître plus incertains à court terme, et une instabilité pourrait être susceptible de s'installer dans les villes, notamment dans les cas où les dynamiques d'urbanisation sont causées par des aléas climatiques inattendus, induisant un déplacement de la population rurale vers les villes non motivé par des raisons économiques<sup>8</sup>. Cette explication n'est néanmoins pas évidente, car une forte mobilité de la population rurale peut également agir comme un coussin de sécurité contre l'instabilité, l'alternative de déplacer de force des populations rurales étant susceptible de conduire à des problèmes encore plus prononcés en termes de sécurité.
- D'un point de vue technique, cela permet d'illustrer la valeur ajoutée d'un modèle quantitatif à plusieurs canaux de transmission plutôt qu'à un seul canal. Barrios *et al* (2006) ont récemment documenté une relation statistique entre la croissance de l'urbanisation dans les pays d'Afrique sub-saharienne et les précipitations et de fait, si l'on utilisait la croissance de l'urbanisation comme l'unique canal liant le climat à la sécurité, cela aboutirait aux mêmes résultats que ceux de Miguel *et al* lorsqu'ils utilisent la croissance du PIB. Les sensibilités estimées étant constantes, la variance de la partie de la croissance du PIB expliquée par les précipitations est la même que celle obtenue avec la variable croissance de l'urbanisation. Afin d'éviter ce problème de régression fallacieuse lors de la deuxième étape de l'estimation, l'estimation avec des canaux multiples utilise des termes d'interaction conduisant à des sensibilités estimées dépendantes du temps et du pays, ce qui entraîne des variances différentes. Cela permet également de tester côte à côte les relatives significativités de deux canaux de transmission ensemble.

Nouvelles caractéristiques de la spécification :

- Si les précédentes études ont analysé les effets déclencheurs de la variabilité climatique sur des conflits (de type civil ou pastoral), la définition de la sécurité retenue dans le rapport Solana est plus large, puisqu'elle inclut non seulement les conflits mais aussi des mouvements migratoires, des famines, des crises sanitaires ou encore des problèmes de dépendance alimentaire. A partir des travaux réalisés sur les événements en matière de sécurité observés au Sahel entre 1969 et 2007<sup>9</sup>, une variable dépendante a été spécifiquement construite, appelée variable indicatrice de sécurité : elle inclut des événements tels l'épisode de famine au Niger en 2004–2005 ainsi que la crise sanitaire au Burkina Faso entre 2003 et 2007.
- La variable indicatrice synthétisant des événements en matière de sécurité prend la valeur 1 quand un événement débute et 0 autrement, alors que la précédente

<sup>8</sup> Les pays africains ont connu l'un des taux d'urbanisation le plus rapide jamais observé au cours des cinq dernières décennies. Au départ, ce mouvement « d'accélération » de l'urbanisation s'expliquait dans une large partie par la migration de la population rurale vers les zones urbaines. Aujourd'hui les taux d'urbanisation élevés en Afrique sont principalement naturels (c'est-à-dire qu'ils s'expliquent par les individus nés en villes). Il demeure que, en ce qui concerne la période 1970 – 2004 analysée dans cette étude, les mouvements migratoires des zones rurales vers les zones urbaines ont été significatifs.

<sup>9</sup> E. Salliot « SICCS – fiches descriptives Sahel », à venir.

littérature a donné une valeur de 1 pour chaque année de la durée d'un évènement. Ce choix illustre l'objectif de ne se concentrer que sur les effets potentiellement déclencheurs des variations climatiques en matière de sécurité. L'inconvénient est que l'information sur la durée de l'évènement en matière de sécurité est perdue, mais cela semble de second ordre puisque, une fois qu'un conflit est déclenché, il peut trouver sa propre dynamique indépendamment de la variabilité climatique.

- Plusieurs termes d'interaction ont été utilisés, en ligne avec ce qui a déjà été observé dans la littérature, et en cohérence avec les hypothèses techniques précédemment posées. Néanmoins, le rôle de ces termes d'interaction devrait être étudié plus en détails étant donnée leur importance afin de construire des cartes de vulnérabilité : les termes d'interaction peuvent être vus comme un moyen d'estimer des sensibilités différentes selon les pays sur la base de plusieurs variables explicatives. Les coefficients estimés pour chaque variable expliquant la sensibilité d'un canal de transmission au climat pourraient ainsi être utilisés afin d'illustrer sur cartes des poches de vulnérabilité.

## 4.2 Description des variables utilisées

Le rôle du climat en tant que déclencheur d'évènements en matière de sécurité en Afrique sub-saharienne est ici capturé par des séries de précipitations. Les données sont fournies par le UK Met Office Hadley Centre, et sont désagrégées sur trois sous-régions : le Sahel de l'Est, le Sahel du Centre et le Sahel de l'Ouest. L'utilisation de données sur ces trois régions uniquement, plutôt que l'utilisation de données nationales, a été décidée compte-tenu de la bonne qualité de cet ensemble (précipitations mensuelles observées entre 1901 et 2006) et les précipitations observées présentent des caractéristiques homogènes à l'intérieur de chacune de ces trois sous-régions. Afin de concentrer l'étude sur le rôle du climat en tant que déclencheur d'évènements en matière de sécurité, les données sur les précipitations sont exprimées en terme de déviations par rapport à leur moyenne de long terme observée entre 1901 et 1960, puis elles sont normalisées par leur moyenne de long terme afin d'être comparables selon les régions. Le texte fera référence dans la suite à cette variable sous le terme de « déviation des précipitations ».

La variable indicatrice de sécurité prend la valeur 1 quand un évènement en matière de sécurité surgit et 0 autrement (voir supra). La croissance de la production agricole est extraite de la base WDI de la Banque Mondiale, disponible à fréquence annuelle depuis 1970 pour la plupart des pays, alors qu'elle commence en 1982 pour l'Éthiopie, en 1993 pour l'Érythrée et en 1990 pour Djibouti. La croissance de l'urbanisation est extraite de la base de données de la FAO. Le reste des variables de contrôle, utilisées afin de distinguer les caractéristiques structurelles des pays analysés dans les régressions en panel, provient des bases de données WDI et de la FAO. Fearon et Laitin (2002) ont fourni des descriptions et des sources détaillées de l'ensemble des variables de contrôles susceptibles d'être utilisées dans la littérature économétrique sur les conflits. Enfin, un indicateur recensant les évènements de sécheresse a été construit à partir de la base de données EM-DAT sur les conflits, et l'indice d'instabilité politique a été extrait du site web de Politi IV.

Les régressions en panel pour les 12 pays de la bande du Sahel sont réalisées sur la base de 262 périodes d'observations, la période d'estimation la plus longue pour un pays étant de 1978 à 2004. L'Éthiopie, l'Érythrée et surtout Djibouti sont les pays où le nombre d'observations est le plus faible. Les résultats pour Djibouti ne sont pas présentés étant donné le très faible nombre d'observations.

## 5 Résultats

La partie suivante détaille les résultats des estimations. Le modèle estimé utilise des variables explicatives qui ont été sélectionnées pour leur significativité au sens statistique et pour leur pouvoir explicatif de l'évolution des variables dépendantes. La première étape consiste en l'estimation des effets directs des précipitations sur deux variables supposées agir comme canal de transmission : la croissance de la production agricole et la croissance de l'urbanisation. Ces effets estimés sont ensuite utilisés dans une seconde étape, comme variables explicatives des événements passés observés en matière de sécurité dans la bande du Sahel.

### 5.1 Première étape de l'estimation

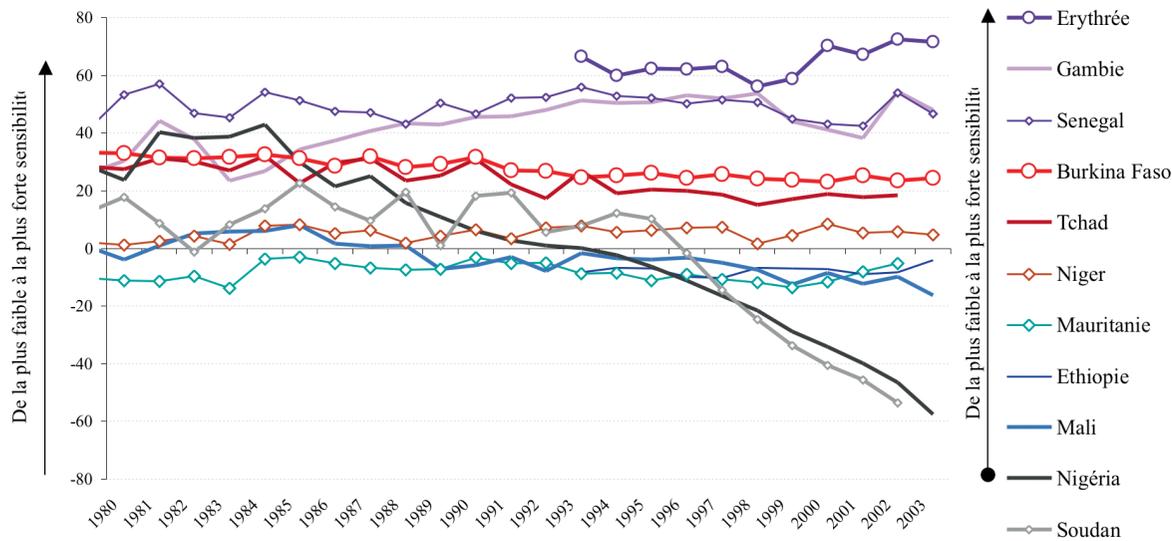
#### 5.1.1 Effets des précipitations sur la croissance de la production agricole

La meilleure spécification obtenue suggère que la croissance de la production agricole (AGR) a été sensible aux déviations des précipitations (PLUIE), et que cette sensibilité a pu se modifier selon les pays en fonction de l'évolution de la part des terres irriguées (IRR) et de la valeur ajoutée observée dans le secteur agricole par agriculteur (VA). Les productions de céréales (CER) et de bétail (BET) sont utilisées comme variables de contrôle afin de tenir compte des caractéristiques différentes selon les pays.

$$AGR = 3.5 + PLUIE * (26.8 - 0.85IRR - 0.1VA) + 0.23BET + 0.19CER$$

Le pouvoir explicatif de cette spécification demeure relativement faible (elle explique seulement 24% de la croissance de la production agricole). Néanmoins, tous les coefficients présentés sont significatifs au seuil de 10% (cf. tableau A1 en annexe), et la régression met en évidence une forte significativité des déviations des précipitations sur la croissance de la production agricole dans les pays appartenant à la bande du Sahel : une variation de -0,1 des précipitations diminue le niveau de la production agricole de 2,68 points de pourcent la même année, toutes choses égales par ailleurs. Parmi les variables qui ont ensuite été testées en interaction avec la précipitation afin de permettre à cette sensibilité de différer selon le temps et les pays, l'évolution de la part des terres irriguées ainsi que la valeur ajoutée dans le secteur agricole par agriculteur dans chaque pays apparaissent toutes deux significatives au seuil de 5% : une hausse de 1,0 point de pourcent de la part des terres irriguées dans un pays diminuerait la sensibilité de la production agricole aux précipitations de 0,85 point de pourcent, et une hausse de 100\$ de la productivité agricole abaisserait cette même sensibilité de 10 point de pourcent.

Le graphique 2 ci-après présente l'évolution de la sensibilité de la production agricole aux précipitations dans chaque pays telle que suggérée par ces estimations. Il ressort que cette sensibilité aurait été relativement stable dans le temps pour un grand nombre de pays, à l'exception notable du Nigéria et du Soudan où elle aurait fortement baissé au cours de la dernière décennie du fait de la forte progression de la valeur ajoutée du secteur agricole. D'après ces estimations, en 2004 le Nigéria et le Soudan seraient dotés du secteur agricole le moins sensible aux variations des précipitations, alors que la production agricole de l'Erythrée, de la Gambie et du Sénégal serait la plus sensible aux évolutions des précipitations.



**Graph 2**

Evolution de la sensibilité de la croissance de la production agricole aux précipitations

Ces résultats doivent être interprétés avec précaution, en particulier au regard des niveaux estimés des sensibilités pour chaque pays. D'une part, les résultats de l'estimation sont très fragiles à la spécification retenue, car ils dépendent dans une large mesure de l'intervalle de temps choisi et du nombre de pays utilisé afin de réaliser l'estimation. D'autre part, l'estimation indiquerait qu'en 2004, la croissance de la production agricole au Soudan et au Nigéria serait négativement corrélée avec les déviations des précipitations. Cette incohérence de signe est due à l'utilisation des termes d'interaction, qui aboutit à faire baisser les sensibilités en-deçà de zéro dans ces 2 pays. Au total, il convient donc de ne pas interpréter cette estimation comme une relation inverse entre précipitations et croissance de la production agricole.

### 5.1.2 Effets des déviations des précipitations sur la croissance de l'urbanisation

La meilleure spécification obtenue indiquerait que la croissance de l'urbanisation (URB) est influencée par les déviations des précipitations (PLUIE). Cette sensibilité dépendrait en outre de la variation de la densité démographique rurale (DENS) et d'une variable mesurant l'écart de revenu (ECART), ici définie comme la différence entre le PIB par tête et la valeur ajoutée par travailleur dans le secteur agricole. Trois variables de contrôle sont utilisées pour refléter des différences dans les étapes de développement selon les pays : la part de la population urbaine dans la population totale (UPART), le logarithme de la population totale (POP) et l'écart de revenu (ECART). Il apparaît en outre que les estimations statistiques de cette équation semble plus robustes lorsque toutes les variables explicatives sont retardées d'une période, ce qui suggère que, même suite à une forte variation des précipitations, la décision de se déplacer vers des zones urbaines peut prendre du temps.

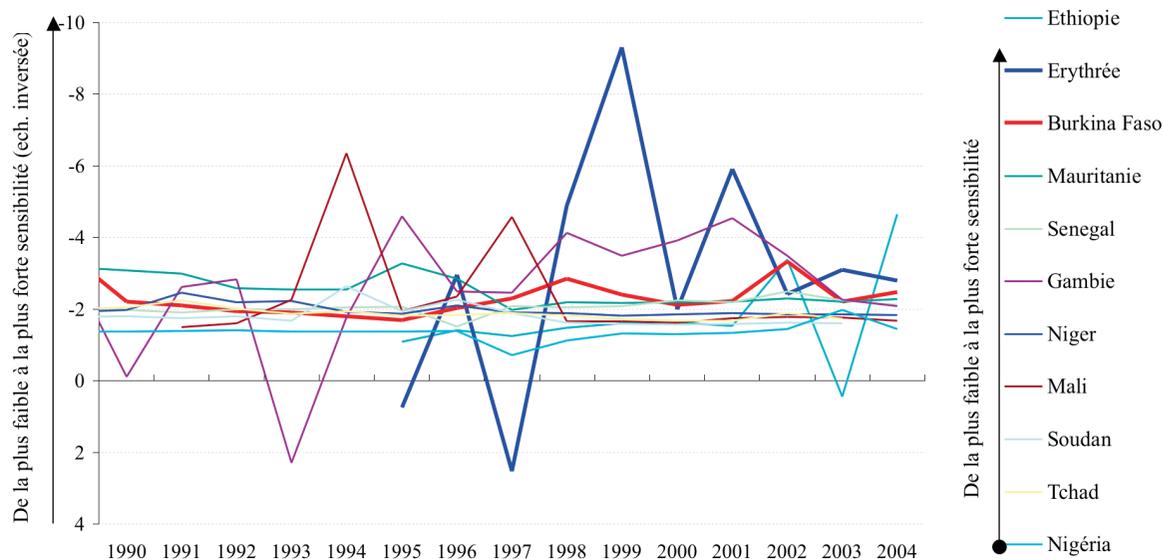
$$URB = 0.91 + PLUIE * (-1.22 - 0.17ECART + 0.04DENS) + 0.1POP + 0.03ECART - 0.03UPART$$

(toutes les variables explicatives sont retardées d'une période)

Comme lors de l'estimation de la relation entre les précipitations et la croissance de la production agricole, tous les coefficients estimés sont ici statistiquement significatifs au seuil de 10%, et les signes des coefficients apparaissent cohérents avec l'intuition (cf.

tableau 2 en annexe). Cette spécification n'explique néanmoins que 18% de la croissance de l'urbanisation, soit un pouvoir explicatif encore plus faible que lors de l'estimation précédente (cf. §5.1). La sensibilité de la croissance de l'urbanisation aux précipitations apparaît également beaucoup plus faible que celle de la production agricole, puisque selon cette équation, une déviation de  $-0,1$  des précipitations à leur moyenne de long terme conduirait à une croissance de l'urbanisation de seulement 0,12 point de pourcent. L'estimation suggère que cette sensibilité est susceptible d'augmenter avec l'écart de revenu, car plus celui-ci est élevé et plus il est possible que les individus habitant les zones rurales soient incités à les quitter lorsque les conditions deviennent difficiles. A l'inverse, il apparaît également qu'une hausse de la densité de la population en zone rurale diminuerait la sensibilité de l'urbanisation aux précipitations, l'importance de ce facteur apparaissant marginale mais statistiquement significative. Cette relation, contre-intuitive avec l'idée que la rareté des ressources conduirait à des tensions, pourrait s'expliquer si la hausse de la densité de population dans le monde rural reflète un secteur agricole plus productif. Des zones rurales à forte densité sont par exemple observées dans certaines régions péri-urbaines où les conditions d'accès aux marchés sont plus faciles, mais aussi là où les terrains sont plus fertiles ainsi que dans les régions bénéficiant d'infrastructures relativement meilleures : il en résulterait une moindre sensibilité aux conditions climatiques ainsi qu'une réduction des écarts de revenu.

Sur la base de ces estimations, le graphique 3 illustre l'évolution de la sensibilité de la croissance de l'urbanisation aux précipitations selon les pays. Il ressort que ces sensibilités auraient été relativement stables dans le temps au cours de la période d'estimation et il apparaît difficile de dégager une tendance claire de ces évolutions. En outre et à l'inverse de la précédente équation utilisant la croissance de la production agricole, ces sensibilités sont très proches selon les pays et il est difficile d'en déduire un classement. Le problème d'incohérence des signes des sensibilités reste également présent, même s'il apparaît moins prononcé que lors de l'estimation précédente.



**Graphique 3**

Evolution de la sensibilité de la croissance de l'urbanisation aux précipitations

## 5.2 Seconde étape de l'estimation : le rôle du climat comme déclencheur d'évènements en matière de sécurité

La seconde étape de l'estimation du modèle consiste à relier les résultats obtenus lors de la première étape aux évènements de sécurité observés par le passé, de telle sorte à estimer les conséquences des variations climatiques : la partie de la croissance de la production agricole et de la croissance de l'urbanisation qui a été expliquée, au cours de la première étape de l'estimation, par les déviations des précipitations, sont toutes deux utilisées comme variables susceptibles de capturer le rôle du climat en tant que déclencheur d'évènements en matière de sécurité. Une variable indicatrice de sécheresse est également utilisée afin de capturer ce rôle, sous l'hypothèse que des évènements climatiques extrêmes sont susceptibles d'accroître d'autant plus l'impact des variations climatiques sur la sécurité. L'équation estimée est enfin construite en tenant compte d'un jeu de variables socio-économiques, dans le but de contrôler pour les différentes caractéristiques entre pays et pour donner une idée du rôle des conditions non-climatiques sur la vulnérabilité d'un pays en termes de sécurité. Le tableau A3 figurant en annexe présente les résultats des estimations. Compte-tenu de la technique d'estimation utilisée, cette relation permet de décrire comment les évolutions des variables utilisées ont pu conduire à des évènements en matière de sécurité, toutefois elle ne permet pas de déduire une probabilité estimée d'observer un évènement en matière de sécurité<sup>10</sup>.

Toutes les variables explicatives ressortent statistiquement significatives au seuil de 5% et les signes de coefficients obtenus sont en ligne avec l'intuition, à l'exception de l'indicateur de sécheresse et du logarithme de la croissance de la population qui sont tous deux rejetés par les données. Le pouvoir explicatif du modèle pour retracer les évènements passés observés en matière de sécurité est très faible, avec un R<sup>2</sup> de seulement 9%.

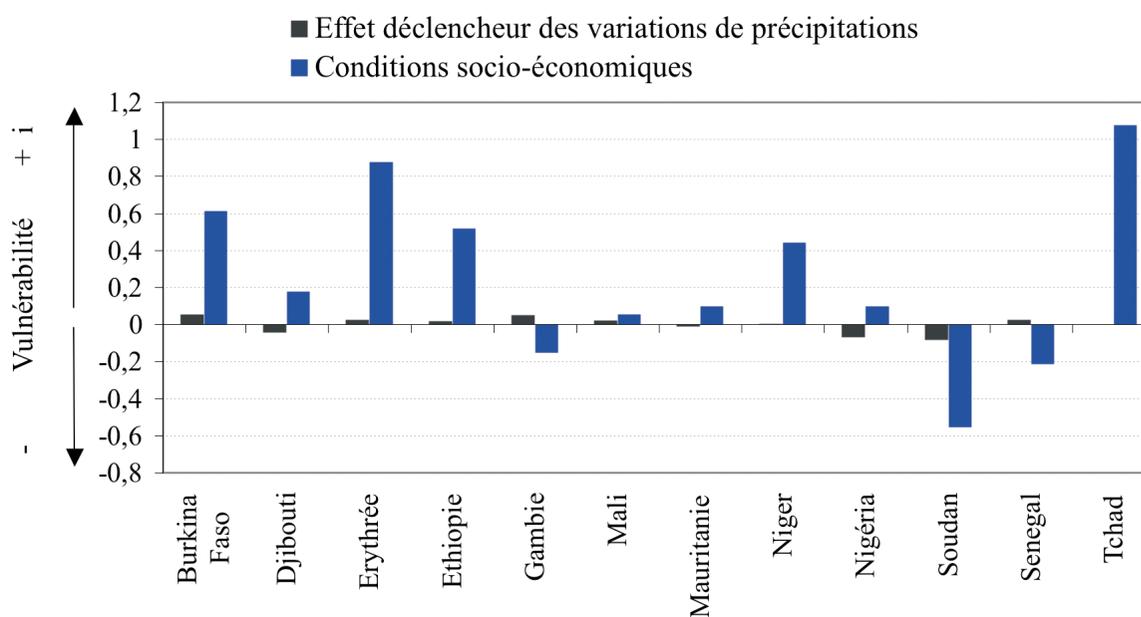
La quantification du rôle du climat en tant que déclencheur d'évènements en matière de sécurité suggère que les déviations de précipitations, via leurs effets sur la croissance de la production agricole et de l'urbanisation, expliquerait en partie la survenance d'évènements de sécurité observés deux ans plus tard, l'indicateur de sécheresse n'apparaissant pour sa part pas significative. Les coefficients estimés sont en revanche très faibles :  $-0,014$  pour la part de la croissance de la production agricole expliquée par les précipitations et  $0,022$  pour la part de la croissance de l'urbanisation expliquée par les précipitations. Toutefois, afin d'obtenir une sensibilité d'ensemble de la possible occurrence d'évènements en matière de sécurité selon la déviation des précipitations, ces coefficients doivent être multipliés par les sensibilités aux précipitations obtenues lors de la première étape de l'estimation. Il apparaît alors que la croissance de la production agricole serait un canal de transmission des précipitations vers les évènements de sécurité relativement plus important que la croissance de l'urbanisation : sous l'hypothèse que les autres sensibilités sont fixées à 0 par simplicité, la sensibilité estimée de la variable sécurité aux déviations des précipitations serait de  $0,36$  via le canal de la production agricole contre  $-0,03$  via le canal de la croissance de l'urbanisation<sup>11</sup>. Cette très faible importance du canal urbanisation vient appuyer l'idée que, même à court terme, une arrivée additionnelle de migrant des zones rurales vers les zones urbaines n'est pas génératrice d'instabilité en matière de sécurité.

<sup>10</sup> Cela est une conséquence de l'utilisation de la technique des moindres carrés ordinaires en deux étapes afin de réaliser les estimations : cette technique peut s'accommoder d'une variable dépendante binaire, sans toutefois permettre à contraindre l'estimation de cette variable dépendante à prendre des valeurs entre 0 et 1. Les modèles probit sont utilisés afin d'estimer des vraies probabilités.

<sup>11</sup> Par exemple, avec le canal de la croissance de la production agricole, en fixant à priori à 0 la part de la terre irriguée et la valeur ajoutée par travailleur, la sensibilité de la croissance de la production agricole aux précipitations serait de 26,8. En multipliant ce coefficient par la sensibilité des évènements de sécurité à ce canal de transmission (soit  $-0,014$ ), on obtient alors une estimation d'ensemble de la sensibilité des évènements de sécurité aux précipitations de  $-0,36$  via ce canal.

La plupart des coefficients estimés, concernant l'ensemble des autres variables socio-économiques, sont en ligne avec les autres études sur le sujet : ils indiquent que les pays sub-sahariens avec un PIB par tête élevé sont moins susceptibles de connaître des événements de sécurité, tout comme les pays qui sont plus ouverts commercialement et ceux qui sont plus stables politiquement. En revanche, l'éducation conduirait à une hausse de la possibilité d'occurrence d'événements en matière de sécurité, alors que la littérature a plutôt illustré l'existence d'une relation hyperbolique entre l'éducation et l'observation de conflits (cf. Collier et Hoeffler). La relation présentée ici ne capturerait donc qu'une seule partie de cette relation hyperbolique, quand les individus plus éduqués sont plus à même de comprendre les erreurs des Etats et d'exercer ainsi un contre-pouvoir, mais elle n'arrive pas à capturer la possibilité que les individus moins éduqués soient également plus susceptibles de générer des conflits. Enfin une variable plus rarement utilisée par la littérature semble donner dans cette spécification des résultats intéressants : des niveaux plus élevés d'aide par tête sont ici associés avec des possibilités plus fortes d'observer des événements en matière de sécurité.

Sur la base de ces estimations et étant données les valeurs observées en 2004 des variables socio-économiques et des déviations des précipitations à leur moyenne, le graphique 4 présente les vulnérabilités estimées en matière de sécurité pour chaque pays :



**Graphique 4**

Vulnérabilité en matière de sécurité dans chaque pays en 2004

Le graphique 4 tend à illustrer, quel que soit le pays de l'étude considéré, que les fragilités en matière de sécurité sont largement déterminées par les conditions socio-économiques, alors que les précipitations ont relativement un effet plus faible. Il convient toutefois de noter que les conditions socio-économiques, telles qu'utilisées dans cette spécification, sont plutôt le reflet de fragilités structurelles, car elles consistent en des variables à faible variance capturant des tendances longues. A l'inverse, les variations des précipitations sont des variables de court terme dotées d'une variance élevée, et leurs

évolutions sont donc plus susceptibles de déclencher un évènement en matière de sécurité quand les fragilités structurelles de long terme sont déjà importantes.

Le graphique 4 reproduit également des inconvénients majeurs de ce modèle. Parmi les deux variables supposées agir comme canal de transmission des variations climatiques sur la sécurité, l'influence dominante de la croissance de la production agricole conduit à ce que les incohérences de signes dans les sensibilités précédemment estimées (cf. §5.1) se retrouvent ici : les variations des précipitations étaient négatives et inférieures à la moyenne en 2004 au Soudan et au Nigéria, à  $-0,2$  et  $-0,4$  respectivement, ce qui aurait du en théorie accroître les vulnérabilités en matière de sécurité, quand le modèle ici spécifié indique le contraire.

### 5.3 Utilisation des résultats du modèle afin de construire des cartes de vulnérabilités

Un premier ensemble de cartes susceptible d'être construit pourrait porter sur les variables socio-économiques qui ont été utilisées pour identifier des vulnérabilités en matière de sécurité dans chaque pays. Les sensibilités estimées pourraient par exemple être utilisées comme coefficient de pondération afin de construire des cartes de vulnérabilités au regard des conditions socio-économiques. Il en résulterait un classement qui serait très proche de celui présenté dans le graphique 4, où le Tchad et l'Erythrée seraient les deux pays présentant les fragilités socio-économiques en matière de sécurité les plus prononcées parmi les pays du Sahel, avec à l'opposé le Sénégal et le Soudan. Il faut remarquer que la très faible vulnérabilité du Soudan en matière de sécurité au regard des facteurs socio-économiques est probablement biaisée, car elle reflète pour l'essentiel une hausse marquée du PIB par tête au cours de la dernière décennie (en conséquence d'une forte augmentation des revenus pétrolières).

Toutefois, au regard des insuffisances précédemment discutées des modèles quantitatifs, l'interprétation des autres estimations obtenues doit être prudente :

- Concernant la sensibilité par pays de la croissance de la production agricole aux précipitations, il aurait pu être intéressant d'agréger sur une carte à deux calques les deux variables qui ont été identifiées comme ayant une influence sur cette sensibilité (part de la terre irriguée et valeur ajoutée du secteur agricole par agriculteur). Toutefois, l'utilisation des sensibilités estimées afin de pondérer ces deux variables conduirait à une contribution très importante de la valeur ajoutée agricole alors que la part des terres irriguées aurait une influence très faible.
- Dans le même esprit, toutes les variables identifiées dans le modèle comme susceptibles d'affecter la relation entre précipitation et sécurité pourraient être utilisées dans le but de construire un indice agrégé de vulnérabilité. Toutefois la construction d'un tel indice, à partir des sensibilités précédemment estimées, conduirait à donner un poids très influent à la valeur ajoutée dans le secteur agricole par agriculteur (étant données l'importance relative du canal de la croissance de la production agricole par rapport à la croissance de l'urbanisation, et l'importance de la valeur ajoutée agricole parmi les variables utilisées dans le canal production agricole).

## 6 Conclusion

Comme lors des précédentes tentatives de modélisation quantitative, il ressort que la spécification présentée dans cette étude est dotée d'un très faible pouvoir explicatif, et que les niveaux des sensibilités estimées sont instables sur la période d'estimation. Une analyse du rôle des termes d'interaction, couramment utilisés dans la littérature empirique comme outil afin de capturer des non-linéarités, a été réalisée sur la base d'une discussion quant à la cohérence des sensibilités estimées selon les pays. Il en ressortirait que des problèmes importants d'incohérences existent dans les résultats ici présentés, ce qui suggère que l'utilisation des termes d'interaction ne correspondrait pas à une forme satisfaisante de non-linéarité dans la relation climat – sécurité.

Le modèle confirme statistiquement le rôle de la variabilité du climat comme déclencheur d'évènements en matière de sécurité. Il suggère également que c'est via son effet sur la croissance de la production agricole que le climat agit principalement sur la sécurité, alors que la croissance de l'urbanisation ressort comme un canal de transmission peu significatif. Toutefois, la possibilité d'interprétation des résultats est très limitée, du fait des incohérences dans certains des coefficients estimés et en conséquence de la prédominance d'une variable expliquant principalement la sensibilité d'ensemble de la relation estimée entre climat et sécurité. Les résultats du modèle peuvent certes être utilisés afin de produire des cartes de vulnérabilités, mais ces résultats devraient plutôt être interprétés de manière qualitative.

En termes de recherche future, des estimations plus cohérentes pourraient peut-être être obtenues en utilisant d'autres séries temporelles susceptibles d'agir sur les sensibilités des canaux de transmission existant dans la relation précipitation – sécurité, ainsi qu'en spécifiant d'autres formes de non-linéarité.

## Bibliographie

- Atlas régional de l'Afrique de l'Ouest (2009), *OECD CSAO-SWAC*.
- Barrios, S., Bertinelli, L. And Strobl, E. (2006), « Climate Change and Rural-Urban Migration: The Case of Sub-Saharan Africa », *Working Papers on International Economics and Finance*, 06 — 01.
- Collier, P. and A. Hoeffler (1998), « On the Economic Causes of Civil War », *Oxford Economic Papers* 50(4), p.563 — 573.
- Collier, P. and A. Hoeffler (2002), « On the Incidence of Civil War in Africa ». *Journal of Conflict Resolution*, 46 (1), p.13 — 28.
- Cour, J.M. and Snrech, S. (1998), « West Africa Long-Term Perspective Study », *Club du Sahel, OECD*.
- de Soysa, I. (2002), « Paradise is a Bazaar? Greed, Creed, and Governance in Civil War », *Journal of Peace Research*, 39(4), p.395 — 416.
- Esty, D., J. Goldstone, T. Gurr, B. Harff, M. Levy, G. Dabelko, P.Surko and A. Unger (1998), « State Failure Task Force Report: Phase II Findings », *Science Applications International*.
- Fearon, J. and D. Laitin (2003), « Ethnicity, Insurgency, and Civil War », *American Political Science Review*, 97 (1), p.75 — 90.
- Gbetibouo, G. And Ringler, C. (2009), « Mapping South African Farming Sector Vulnerability to Climate Change and Variability », *International Food Policy Research Institute, Discussion Paper n°00885*.
- Gleditsch, N., Theisen O. And Buhaug, H. (2008), « Implications of Climate Change for Armed Conflict », *presented to the World Bank workshop on Social Dimensions of Climate Change*.
- Hauge, W., and T. Ellingsen (1998), « Beyond Environmental Scarcity: Causal Pathways to Conflict », *Journal of Peace Research*, 35 (3), p.299 — 317.
- Hendrix, C. & S. Glaser (2007), « Trends and Triggers: Climate Change and Civil Conflict in Sub-Saharan Africa », *Political Geography*, 26(6), p.695 — 715.
- Hugon, P. (2001), « L'Economie des Conflits en Afrique », *Revue Internationale et Stratégique*, 43, p.152 — 169.
- 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 », *Cambridge University Press*.
- Jamet, S. and Corfee-Morlot, J. (2009), « Assessing the impacts of climate change: a literature review », *OECD Economics Department, Working Paper n°691*.
- Malik, A. And Temple, J. (2006), « The Geography of Output Volatility », *CEPR, DP 5516*.
- Meier, P., D. Bond & J. Bond (2007), « Environmental Influences on Pastoral Conflict in the Horn of Africa », *Political Geography*, 26(6), p.716 — 735.
- Miguel, E., S. Satyanath and E. Sergenti (2004), « Economic Shocks and Civil Conflict: An Instrumental Variables Approach », *Journal of Political Economy*, 112 (4), p.725 — 753.
- Perch-Nielsen, S. and Bättig, M. (2008), « Exploring the Link between Climate Change and Migration », *Climatic change*, 91, p.375 — 393.
- Perch-Nielsen, S. (2004), « Understanding the Effect of Climate Change on Human Migration », *Swiss Federal Institute of Technology, Diploma Thesis*.
- Raleigh, C., and H. Urdal (2006), « Climate Change, Environmental Degradation and Armed Conflict », *47 Annual Meeting of the International Studies Association, San Diego*.
- Reuveny, R. (2005), « Environmental Changes, Migration and Conflict: Theoretical Analysis and Empirical Explorations », *Workshop on Human Security and Climate Change, Asker 21 — 23 June 2005*.
- Solana (2008), « Changements Climatiques et Sécurité Internationale », *Commission européenne*.
- Stern (2006), « *Stern Review on the Economics of Climate Change*, HM Treasury
- Theisen, O. (2008), « Blood and Soil? Resource Scarcity and Internal Armed Conflict Revisited », *Journal of Peace Research*, 45(6).
- Urdal, H. (2005), « People versus Malthus: Population Pressure, Environmental Degradation, and Armed Conflict Revisited », *Journal of Peace Research*, 42, p.417 — 434.

## Annexe

### Tableau A1

Résultats de la première étape de l'estimation  
(croissance de la production agricole / précipitations)

Variable	Coefficient	Erreur-type
Précipitation	26.75***	6.28
Précipitation * % terre irriguée	-0.85*	0.46
Précipitation * valeur ajouté agricole	-0.06***	0.02
Croissance de la production de bétail	0.23***	0.08
Croissance de la production de céréales	0.19***	0.03
c	3.47***	0.84
R <sup>2</sup> aj	0.24	

Sources: WDI, FAO, UK Met Office Hadley Centre

Remarques : première étape d'une estimation par la procédure des moindres carrés ordinaires à deux étapes, corrigée pour les différences de variances selon les pays avec PCSE (Panel Corrected Standard Error)

\*\*\*,\*\*,\* indiquent respectivement la significativité des coefficients estimés aux seuils de 1%, 5% et 10%.

### Tableau A2

Résultats de la première étape (croissance de l'urbanisation / précipitations)

Variable (retard)	Coefficient	Erreur-type
Précipitation(-1)	-1.22***	0.38
Précipitation(-1) * Variation de la densité rurale(-1)	0.04**	0.02
Précipitation(-1) * Ecart de revenu (-1)	-0.17*	0.10
Population totale (log) (-1)	0.08**	0.04
Ecart de revenu(-1)	0.03***	0.01
Part de la population urbaine(-1)	-0.03***	0.00
c	0.91	0.77
R <sup>2</sup> aj	0.18	

Sources: WDI, FAO, UK Met Office Hadley Centre

Remarques : première étape d'une estimation par la procédure des moindres carrés ordinaires à deux étapes, corrigée pour les différences de variances selon les pays avec PCSE (Panel Corrected Standard Error)

\*\*\*,\*\*,\* indiquent respectivement la significativité des coefficients estimés aux seuils de 1%, 5% et 10%.

### Tableau A3

Résultats de la seconde étape (les deux canaux précédents / Evènements de sécurité)

Variable	Coefficient	Erreur-type
<b>Evènement de sécheresse</b>	0.02	0.0138
<b>Canal agriculture(-2)</b>	-0.014***	0.0039
<b>Canal urbanisation(-2)</b>	0.022*	0.0124
<b>Population totale (-2) log</b>	0.005	0.0126
<b>Aide par tête (-2) log</b>	0.024**	0.0112
<b>PIB par tête (-2) log</b>	-0.129**	0.0562
<b>Taux d'alphabétisation (constant)</b>	0.002***	0.0007
<b>Ouverture commerciale (-2)</b>	-0.001*	0.0005
<b>Stabilité politique (Polity IV)</b>	-0.002*	0.0008
<b>c</b>	0.690	0.5608
<b>R<sup>2</sup> aj</b>	0.09	

Sources: WDI, FAO, UK Met Office Hadley Centre, bases de données Polity IV et EM-DAT.

Remarques : première étape d'une estimation par la procédure des moindres carrés ordinaires à deux étapes, corrigée pour les différences de variances selon les pays avec PCSE (Panel Corrected Standard Error)

\*\*\*,\*\*,\* indiquent respectivement la significativité des coefficients estimés aux seuils de 1%, 5% et 10%.





Le Seine Saint-Germain  
12 bd des Iles  
F-92130 Issy-les-Moulineaux

**Contact** [philipp.heinrigs@oecd.org](mailto:philipp.heinrigs@oecd.org)  
**Adresse courrier** 2 rue André Pascal  
F-75775 Paris  
Cedex 16  
**Ligne directe** +33 (0)1 45 24 89 87  
**Fax** +33 (0)1 45 24 90 31  
**E-mail** [swac.contact@oecd.org](mailto:swac.contact@oecd.org)

[www.oecd.org/csao](http://www.oecd.org/csao)