

Programme des Zones Arides

DOSSIER



Programme Sahel de l'UICN

La Pluviométrie dans le Sahel

IIED

INTERNATIONAL
INSTITUTE FOR
ENVIRONMENT AND
DEVELOPMENT

Document No. 10

Septembre 1989

LA PLUVIOMETRIE DANS LE SAHEL

1. Introduction

Cette étude porte sur les variations pluviométriques dans dix pays subsahariens pouvant être classés comme appartenant à la région du Sahel: le Sénégal, la Mauritanie, le Burkina Faso, le Niger, le Tchad, le Soudan, l'Ethiopie, Djibouti, et la Somalie.

Le Sahel, région semi-aride au sud du Sahara, connaît une anomalie climatique très prononcée depuis une vingtaine d'années, avec une pluviométrie générale inférieure à la normale. Dans la moitié ouest de la bande de latitude, tous les totaux pluviométriques ont été inférieurs à la normale depuis 1968. Dès lors, il est difficile de savoir ce qu'est la "normale". Dans la présente étude, la période de référence est la période internationale normalisée de 30 ans de 1931 à 1960, ou celle, similaire, de 1941 à 1970.

Tout déficit de l'eau, ressource primaire, a un effet immédiat et potentiellement dangereux sur cette région déjà marginalisée de par sa pluviosité, son agriculture et son élevage.

Par exemple, 22 pays africains connaissent une situation de pénurie et d'insuffisance alimentaires depuis octobre 1984 (OMM, 1985), en corrélation évidente avec l'extrême sécheresse de 1984. On estime à 250 millions le nombre de personnes touchées. La totalité de la bande saharienne étudiée ici, mais aussi quelques régions semi-arides, ont été affectées par cette anomalie climatique. Nous verrons que plusieurs pays ont connu des déficits répétés ces vingt dernières années.

Pour comprendre les mécanismes climatiques qui sont à l'origine des variations pluviométriques récentes, et surtout pour les utiliser en prévision météorologique, il faut assembler les données et résultats obtenus par les nombreux observateurs, les services météorologiques nationaux, et les chercheurs. Le présent document est une introduction à cette tâche.

2. Variations temporelles à l'échelle régionale

2.1 Source des données

De nombreuses études sur les données climatologiques historiques (voire, paléo-climatologiques) ou contemporaines ont été consacrées à la pluviométrie du Sahel. On peut citer Farmer et Wigley (1985). Nous nous limiterons ici à la période de mesure par instruments, notamment les vingt dernières années, en les replaçant dans le contexte des variations relevées depuis la fin du dix-neuvième siècle.

Les données pluviométriques mensuelles présentées ici proviennent de quatre sources principales. (Note 1) Les deux autres grandes sources de données se situent au Sahel.

Il s'agit du centre Agrhymet du CILSS, à Niamey, et des services de météorologie nationaux qui ont aimablement fourni des données permettant de mettre à jour les séries SEN et NWR. Les séries SEN se terminent généralement vers 1973, pour des raisons de calendrier de son doctorat.

2.2. Fiabilité des données

Compte tenu de la diversité des sources, il convient d'abord de s'assurer que les données utilisées sont fiables et que les séries pluviométriques sont bien homogènes.

On relève dans la plupart des banques de données des exemples des différents types d'erreurs mentionnés ci-dessus. Il est malheureusement pratiquement impossible de détecter et corriger ces erreurs, sauf dans les cas les plus extrêmes (et donc les plus importants). Dès lors, on peut se demander si l'on doit se fier aux résultats des analyses. La réponse est "oui". Comme ces erreurs ont tendance à être aléatoires dans le sens positif ou négatif, et à se produire au hasard dans le temps et dans l'espace, l'établissement de moyennes spatiales (utilisées ici) permet d'en minimiser les effets.

(1) Les World Weather Records (WWR) - centre de données compilées par le Centre national de recherches atmosphériques (NCAR) de Boulder, Colorado (E.U.) - constitue la première source. Ils couvrent le monde entier; pour l'Afrique, le réseau est grandement amélioré par les travaux de S.E. Nicholson (SEN).

2.3 Méthode d'analyse

Voyons comment les graphiques des séries de données temporelles ont été dérivés. Ayant défini une région et une saison données (mai à octobre par exemple), la série de données pluviométriques saisonnières de chaque station sur une longue durée est d'abord normalisée. (Note n°2) Ayant normalisé chaque station pour la même période de référence, on trouve l'anomalie moyenne spatiale en faisant la moyenne des valeurs pour toutes les stations ayant des données.

2.4 Le Sahel occidental et central

Des séries de données chronologiques régionales ont été dérivées pour le Sahel occidental (fig.1) et le Sahel central (fig.2). La saison des pluies choisie va de mai à octobre; les limites géographiques se situent entre 10° et 15° de latitude nord pour les deux régions, et 20°O à 10°E pour le Sahel occidental, et 10°E à 40°E pour le Sahel central. Comme indiqué plus haut, les régions d'Ethiopie, de Somalie et de Djibouti situées à l'est de 40°E ne peuvent pas être classées dans la région du Sahel central car leur saison des pluies a lieu à une époque différente.

Examinons d'abord le Sahel occidental (fig.1). Le train d'années déficitaires apparaît clairement depuis 1968. Il faut remarquer que les années 50 ont été généralement plus humides que la moyenne de 1941-70. Ce fut également une période de croissance pour les populations humaines et le bétail. Le début du vingtième siècle fut également une période relativement sèche, avec deux années seulement (1906 et 1909) au dessus de la période normale en 21 ans. Cet épisode de sécheresse est pratiquement comparable à la période qui s'est écoulée depuis 1968.

(2) En retranchant la moyenne saisonnière sur une longue durée de chaque valeur et en divisant la différence par l'écart type saisonnier sur une longue durée. La période de référence sur laquelle sont fondés la moyenne et l'écart type est celle de 1941-1970; cette période a été choisie parce que c'est elle qui, dans un passé récent a la plus large distribution géographique de points de données disponibles. La normalisation donne des séries plus faciles à comparer puisque chaque série a alors une moyenne proche de zéro et un écart type proche de un.

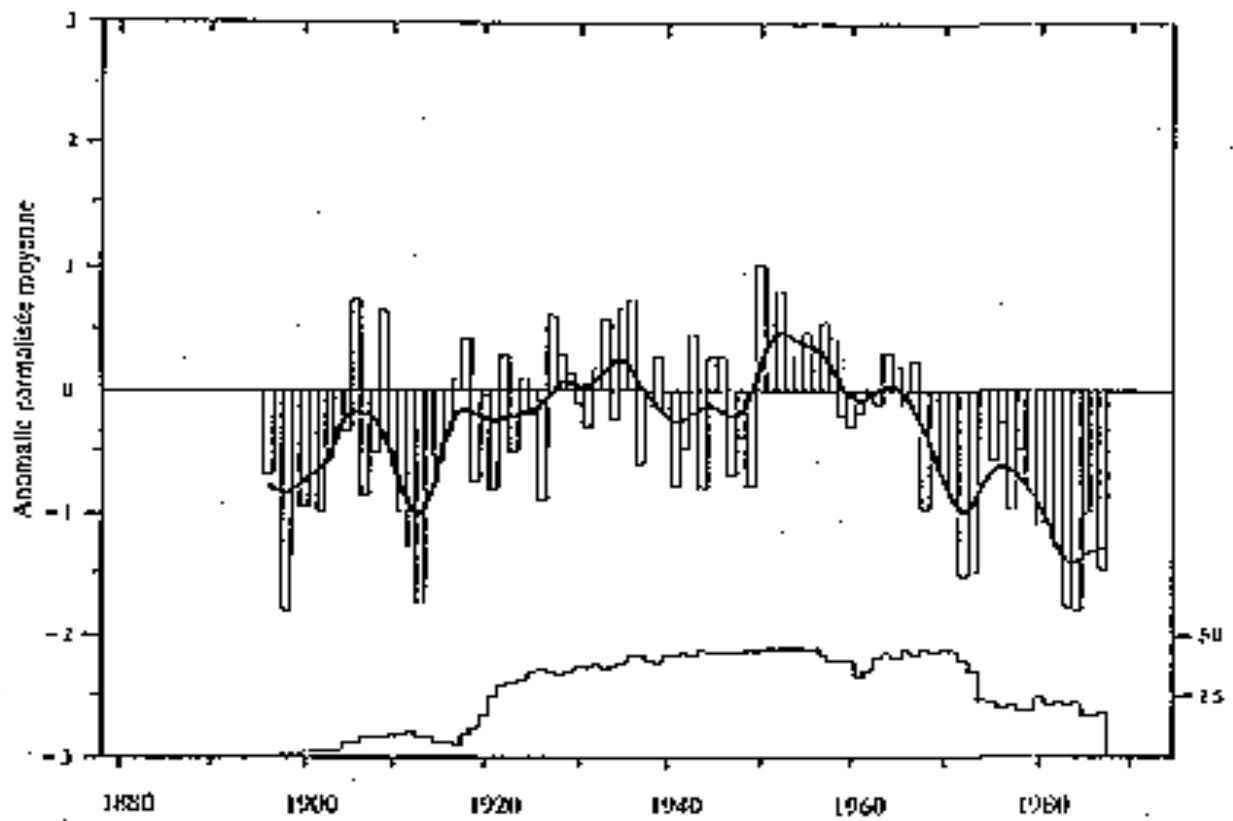


Fig. 1: Série de données temporelles régionales pour l'ouest du Sahel; les limites géographiques sont indiquées dans le texte. Le trait plein indique l'évolution des variations de fond, plus lentes (obtenues en utilisant un filtre linéaire). Le graphique indique le nombre de stations incluses dans la moyenne de chaque année.

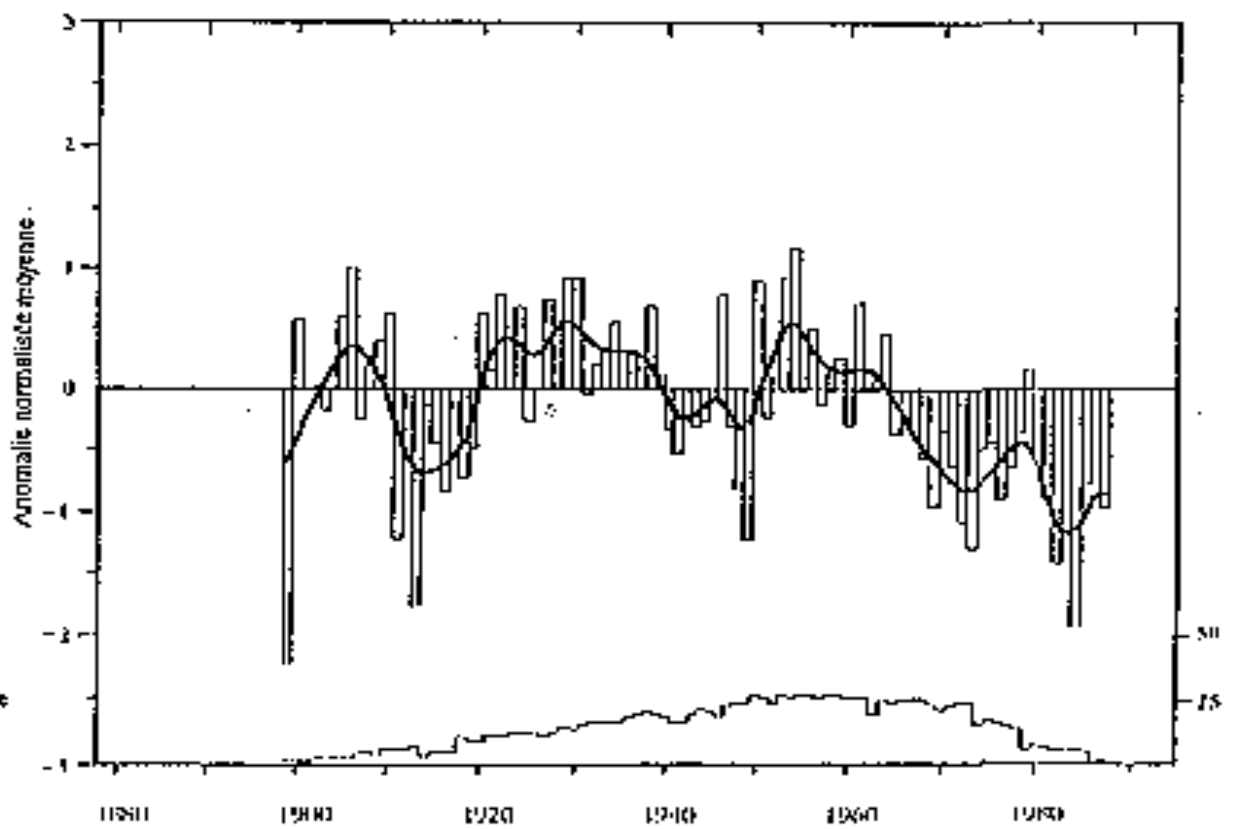


Fig. 2: Mêmes séries qu'à la figure 1, mais relatives au Sahel central jusqu'à la frontière éthiopienne.

Il ressort de la figure 1 ce qui semble être des fluctuations quasi périodiques dans le Sahel occidental, sur une période de 50 ans. Toutefois une périodicité de 40-50 ans dans une série portant sur 67 ans seulement est, certes, caractéristique de cette série particulière, mais n'a absolument aucune portée générale ni valeur pratique. Pour pouvoir utiliser une périodicité en prévision météorologique, il faudrait disposer d'au moins cinq ou six cycles complets pour être sûr qu'il ne s'agit pas d'un simple phénomène éphémère.

Le Sahel central (fig.2) présente également un épisode de sécheresse au début du vingtième siècle, autour de 1913, mais pour une période bien plus courte que dans le Sahel occidental. (Remarquez que la sécheresse des années 1910 fut bien réelle et sur une large échelle). Les années 1950 n'ont pas été aussi humides que dans l'ouest. La récente sécheresse a commencé plus tôt dans la région centrale, en 1965, mais n'a pas été aussi grave que dans l'ouest. Les totaux sont supérieurs à la moyenne pour une seule année, 1978.

2.5 Le choix de la période moyenne

Les graphiques des fig.1 et 2 prennent les années 1941-1970 comme période de référence pour la normalisation. Toutefois, la méthode analytique utilisée peut se baser sur n'importe quelle période. Les graphiques représentent des différences relatives d'une année à l'autre; celles-ci sont pratiquement les mêmes quelque soit la période de référence utilisée. Il est malgré tout intéressant de refaire les calculs en prenant comme base une période plus récente, plus sèche; pour la fig.3, une période plus courte, 1968-1987 (la période la plus sèche). Avec la période de référence encore plus sèche de 1968-1987, il y a encore plus de valeurs positives. Les périodes de sécheresse extrême autour de 1913, 1972 et les années 1980 ressortent plus clairement. Bien que n'affectant pas les hauteurs réelles de précipitations, le choix de la période de référence peut - on le constate ici - donner un éclairage très différent aux périodes anormales.

3. Variations pluviométriques intrasaisonniers et intrarégionales

Réduisons maintenant les échelles spatiales et chronologiques. On note des variations spatiales marquées dans le modèle de variabilité pluviométrique; on les étudiera ici en utilisant les séries de données nationales.

En réduisant l'échelle temporelle, on sait bien que le déclin des totaux saisonniers (mai à octobre) est concentré sur certains mois, bien qu'il y ait là encore des variations spatiales. La combinaison des fluctuations spatiales et temporelles donne en outre une information plus précise sur les conséquences éventuelles des variations de la pluviométrie.

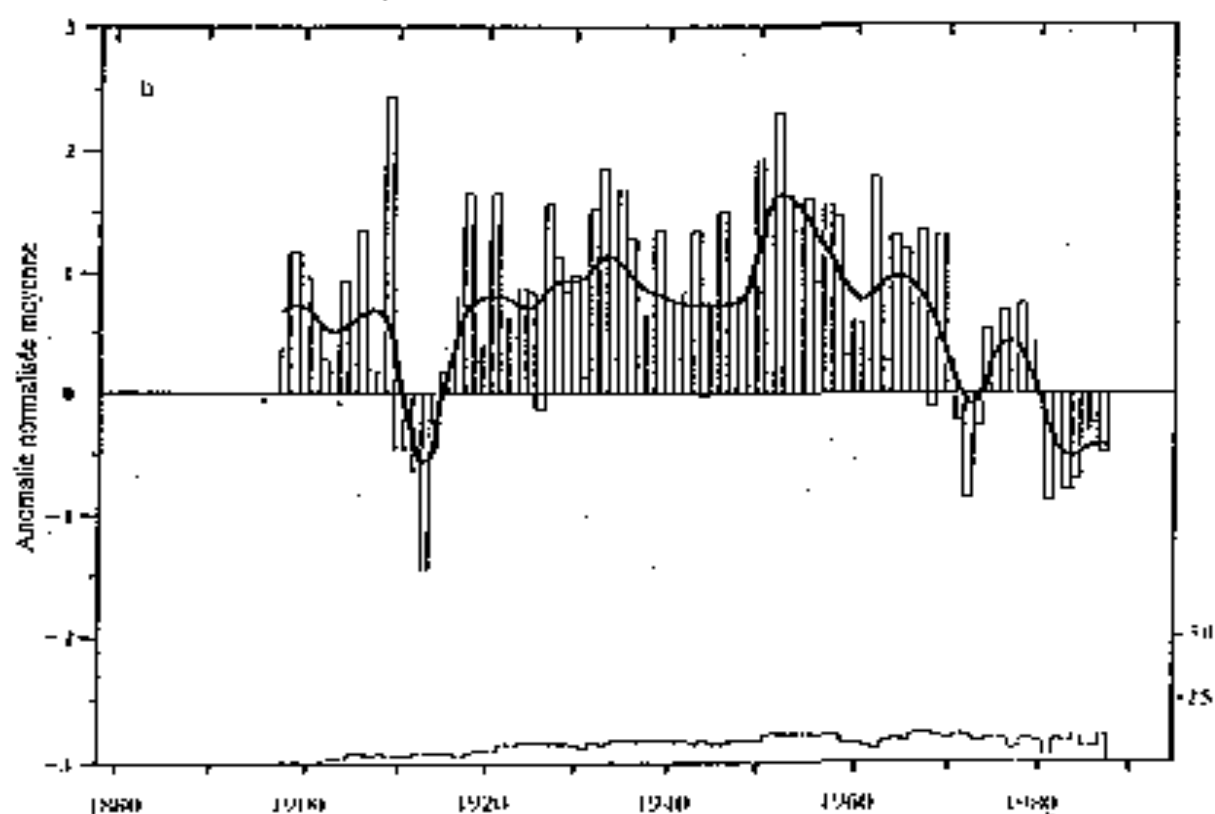
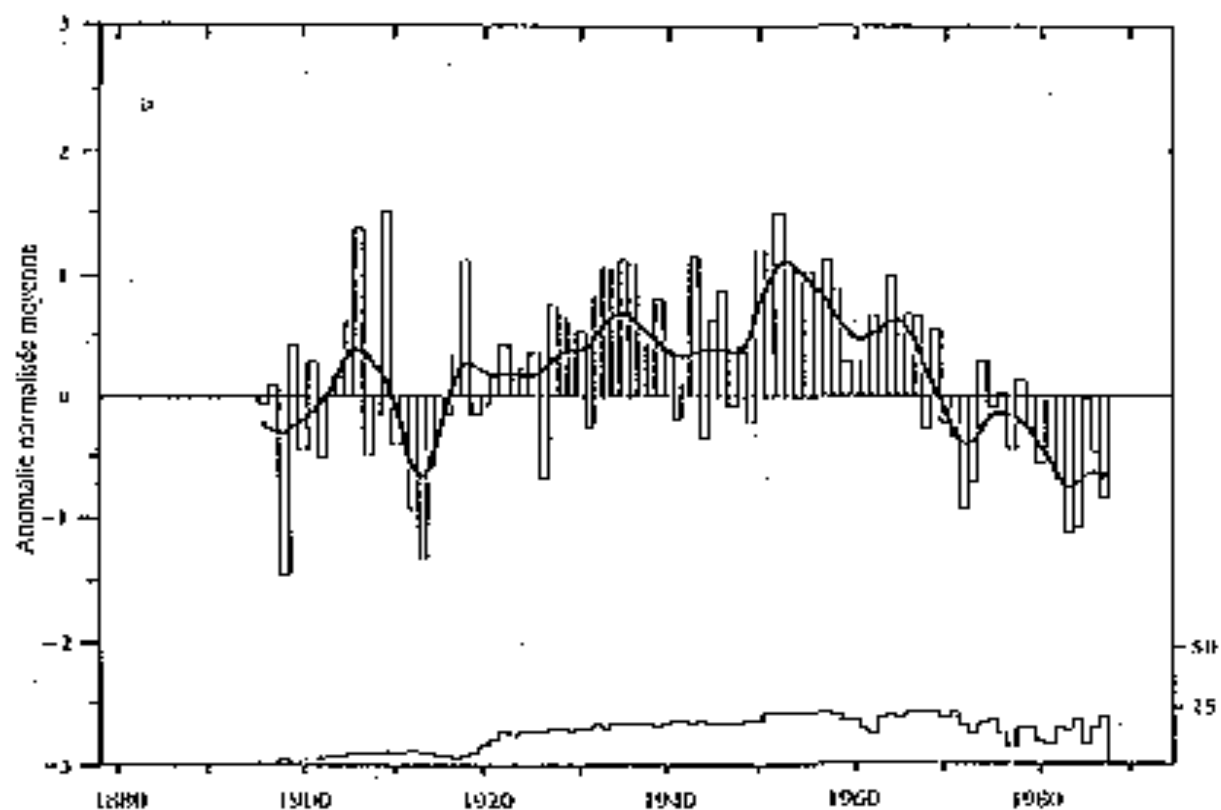


Fig.3: Conséquence du choix d'une année période de référence dans le calcul des moyennes sur une longue durée pour le Sahel occidental. Alors que l'impact visuel des déficits de ces dernières années est réduit, la période de 1920 à 1970 apparaît comme anormalement humide.

3.1 Les séries de données nationales

La figure 4 donne les séries de données pluviométriques pour les six pays les plus à l'ouest (du Sénégal au Tchad). Des six, c'est le Sénégal qui présente les déficits les plus élevés pour ces dernières années (la période déficitaire récente commençant autour des années 1960). On observe un point de départ similaire dans la courbe pour la Mauritanie. Le Burkina Faso et le Niger présentent un important déficit autour de 1973, dont l'ampleur égale celle de leurs déficits récents. Les années déficitaires qui ont commencé au début des années 60 se retrouvent également dans les séries du Mali. La série relative au Soudan suit le même modèle que celle des pays plus à l'ouest.

Dans les deux séries récentes sur l'Éthiopie, les premières pluies, ou Belg, contrastent avec la principale saison des pluies, le Kiremt. Certes, les totaux du Kiremt reflètent de façon quelque peu atténuée les déficits enregistrés dans le Sahel, mais depuis le milieu des années 60, les pluies du Belg ont été favorables. Le coefficient de corrélation (r) entre les séries Belg et Kiremt sur la période de 1961-1987, est de $-0,08$, ce qui ne permet pas de rattacher la première saison à la saison principale, ni de faire des prévisions à partir de la première pour la seconde. En Somalie, aucune des deux saisons humides ne présente des déficits persistants rencontrés couramment plus à l'ouest.

3.2 Analyse des mois individuels

On a pu constater essentiellement dans le Sahel occidental, que le déficit des totaux saisonniers n'est pas également réparti sur toute la saison des pluies. Août, le mois le plus humide connaît le pourcentage de déclin le plus important; septembre présente lui-aussi un déclin marqué. En Gambie, c'est août, puis juillet qui présentent les déficits relatifs les plus importants. Sur la base de séries de données régionales qui remontent à 1900, Farmer et Wigley (1985) montrent que lors des sécheresses des années 1910 et 1940, la baisse en juin et en juillet a été bien plus marquée que lors des déficits récents.

Les variations spatiales des déficits récents ont été analysées. On constate une variation spatiale considérable dans les résultats. On observe une prépondérance de déclins pour chacun des quatre mois dans la partie occidentale de la région, tandis que les régions à l'est ne présentent des déclins marqués et généralisés qu'en août et septembre. Dans l'ensemble, les déclins sont plus importants en août. À l'extrémité occidentale, il y a une région homogène qui présente partout un fort déficit en août.

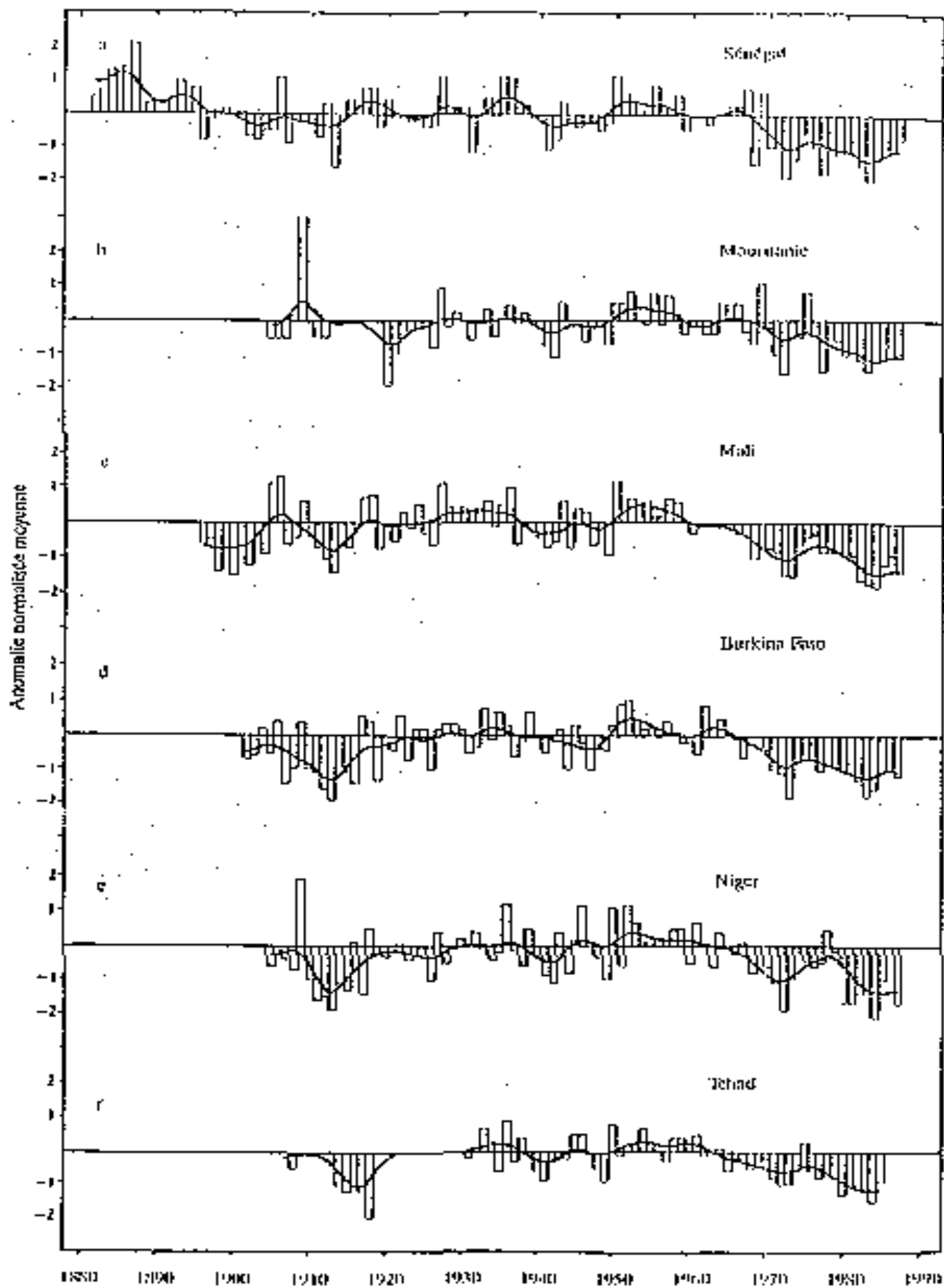


Fig. 4.1 Les séries de données normalisées, de Sénégal au Tchad.

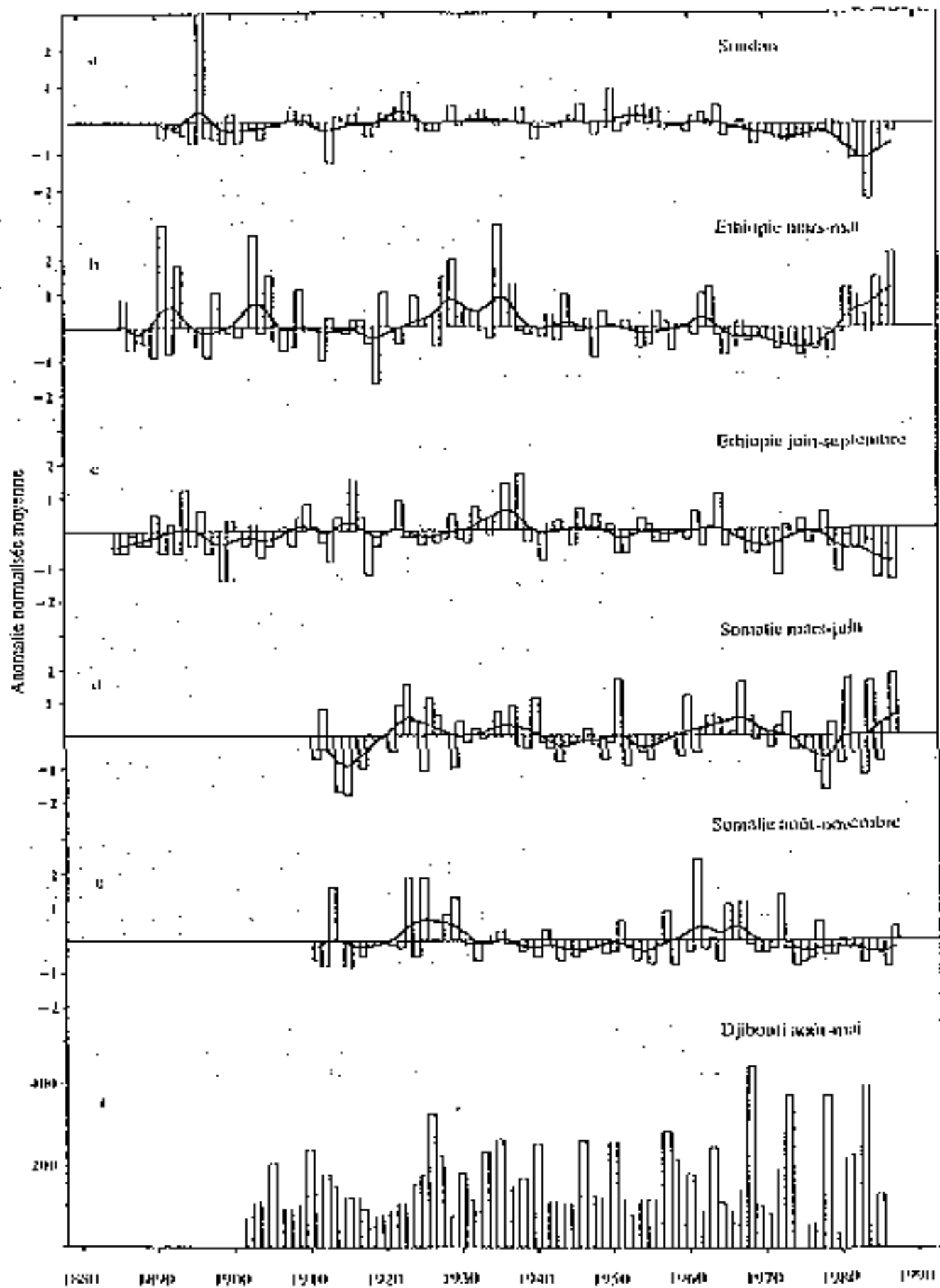


Fig. 5: Séries de données mensuelles du Soudan à la Somalie.

4. Implication des modifications à l'intérieur des saisons

Après vingt années de valeurs toutes inférieures à la "normale" (moyennes de 1931-60), la signification du terme "normal" devient contestable. La persistance de faibles hauteurs de précipitations a amené certains auteurs à se demander si l'on a à faire à une réelle modification du climat, ou à une anomalie inhabituellement longue dans le cours d'une fluctuation naturelle. Par "modification" on entend une différence statistiquement significative des valeurs moyennes de deux périodes, on assiste effectivement à une modification du climat. Si l'on compare la moyenne de 1931-60 à celle de 1968-87 pour le Sahel occidental et central, les différences sont statistiquement significatives dans les deux cas. On peut donc dire que les séries de données pluviométriques pour les deux périodes couvrent deux populations statistiques différentes.

Ce changement a des incidences non négligeables. En planification, on se sert de statistiques moyennes pour évaluer des facteurs tels que le climat. Les moyennes pour 1931-60 donnent une idée trop optimiste de la pluviométrie du Sahel. Une planification prudente s'appuiera plutôt sur des moyennes fondées sur les vingt dernières années que sur une période antérieure plus humide.

Pour illustrer les conséquences du choix d'une période de référence plus humide ou plus sèche, voyons le calcul effectué par la FAO pour évaluer la durée de la période de croissance (DPC). La DPC est un élément important du concept de zone agro-écologique (ZAE), qui est lui-même un élément de base permettant d'évaluer la capacité de charge potentielle en population humaine. La FAO définit la DPC comme la durée (en jours) pendant laquelle les précipitations sont supérieures à la moitié de l'évaporation potentielle (ETP); à laquelle on ajoute environ 20 jours en fin de saison pour prendre en compte l'évapotranspiration supplémentaire de l'humidité emmagasinée dans le sol. Les calculs de DPC en vue de la définition des ZAE sont faits sur la base des moyennes pluviométriques de 1931-60.

Certes, la classification sur une base agricole choisie par la FAO pour les ZAE présente un grand intérêt pratique. Cependant la période de référence choisie, 1931-60, donne une idée trop optimiste de la capacité de charge de bien des zones du Sahel.

Quand on calcule la capacité de charge potentielle d'une région en population humaine, il faut d'abord s'appuyer sur la DPC pour déterminer les cultures possibles. Une DPC trop optimiste (comparée à la période récente) peut suggérer une culture non viable entraînant une estimation du taux de population acceptable totalement erronée. Comme la région étudiée ici est semi-aride marginales, une réduction de la DPC peut amener à retirer certaines zones des régions à potentiel agricole.

On peut conclure que la démarche et la méthodologie utilisées pour les ZAE, pour intéressantes qu'elles soient quant au fond, incitent malgré tout à la plus grande prudence sur les conséquences à tirer des données pour 1931-60.

La signification agricole des modèles changeants de la pluviométrie de ces dernières années, reste à étudier; les facteurs faciles à analyser sont notamment le nombre de jours pluvieux dans une saison, la hauteur moyenne des précipitations par jour de pluie, la fréquence et la durée des épisodes secs et humides au cours d'une saison humide.

5. Causes des déficits pluviométriques

De nombreuses hypothèses ont été avancées pour expliquer cette série prolongée d'années sèches. Cependant, aucune n'a été corroborée de façon conclusive. La raison immédiate en est évidemment le déficit pluviométrique, mais celui-ci est imputable à un ou plusieurs facteurs: absence d'humidité disponible dans l'atmosphère, subsidence à grande échelle (qui supprime l'activité convective), circulation divergente dans la basse troposphère, baisse de la stabilité atmosphérique, et absence de vapeur d'eau ou de noyaux de condensation. Des modifications de ces facteurs impliquent des modifications des systèmes météorologiques à l'échelle locale ou planétaire. L'organigramme de la figure 5 explique certains mécanismes possibles. On les aborde ici à des échelles spatiales croissantes.

Les causes locales évoquées pour expliquer les conditions de sécheresse persistantes, sont essentiellement des changements dans l'albédo (réflectivité) de la surface du sol ou dans l'humidité du sol (ou les deux); on suppose que les changements résultent de la disparition de la végétation par suite du surpâturage et de la coupe de la végétation ligneuse. On pense qu'il s'agit de mécanismes biogéophysiques auto-entretenus qui, lorsque le processus est engagé, perpétuent les conditions propices à la sécheresse.

Dans le cas de l'albédo, la disparition de la végétation augmente l'albédo, ce qui modifie le bilan thermique du système surface-atmosphère. Les changements à grande échelle dans les sources et les puits de chaleur aboutissent à une divergence accrue dans la basse atmosphère et à une remontée réduite dans la région à plus forte albédo. Une remontée réduite implique moins de pluie, et donc moins de végétation, et le cycle se répète.

Déficit pluviométrique

Systèmes météo. locaux
 et/ou régionaux

Changements régionaux/
 à grande échelle dans
 la circulation générale

Forçage à l'échelle
 planétaire ou à l'échelle
 régionale ou à distance

Forçage local:
 Perturbations à l'échelle
 régionale dans les sources
 et puits de chaleur et
 d'humidité

Figure 5: schéma illustrant les causes possibles du déficit pluviométrique dans le Sahel (Tiré de Farmer et Wigley, 1985)

L'explication est la même pour l'humidité du sol - moins d'humidité donne moins d'évaporation. Le changement qui en résulte dans le compartimentage des contributions de chaleur latente et perceptible dans le bilan énergétique de la surface entraîne une réduction nette de l'ascendance, réduisant l'activité convective. Cela entraîne une pluviométrie moindre, qui réduit encore davantage les niveaux d'humidité du sol, ce qui renforce la cause initiale.

Les mécanismes décrits dans les deux hypothèses albédo et humidité du sol, sont liés puisqu'ils résultent tous deux des changements dans le bilan radiatif de la surface. Les deux hypothèses ont été testées à plusieurs reprises sur ordinateur.

Dans ces modèles expérimentaux, on modifie l'albédo ou l'humidité du sol, et on étudie les variations qui en résultent dans la pluviométrie. On observe alors effectivement des changements pluviométriques dans le sens attendu, mais le stimulus imposé est généralement plus important que dans la réalité.

Ainsi la réalité physique des mécanismes de l'albédo et de l'humidité du sol est bien établie, mais on ignore la nature exacte de leur rôle dans la persistance de la sécheresse.

Des mécanismes de forçage à distance ont également été proposés. Les deux plus importants sont le déboisement et les fluctuations de la température de la surface de la mer. On a envisagé le déboisement de la côte guinéenne (l'un des plus rapides qui soient) comme mécanisme d'accentuation de la sécheresse dans le Sahel. Quand il pleut sur une forêt, un certain pourcentage de l'humidité retourne à l'atmosphère par évapotranspiration. En Afrique de l'ouest, le flux de la mousson transporte cette humidité plus au nord. Le processus peut se répéter plusieurs fois avant que l'humidité restante nette atteigne le Sahel. Si la forêt disparaît, il y a une diminution de la quantité d'humidité renvoyée dans l'atmosphère et transportée vers le nord. Cette hypothèse pourrait - et devrait - être vérifiée par une analyse transversale des isohyètes de précipitations de l'Atlantique au Sahel.

À l'échelle spatiale suivante, la source de causes possibles se trouve dans l'océan atlantique. De façon générale, l'Atlantique sud a été constamment et anormalement plus chaud que l'Atlantique nord depuis 1970. Plusieurs chercheurs, sur une base statistique, ont fait une corrélation entre les températures de la surface de la mer (TSM) dans l'Atlantique et les variations de la pluviométrie du Sahel. La corrélation statistique est importante, mais le mécanisme physique est moins facile à cerner.

Le lien entre les TSM dans l'Atlantique et les pluies dans le Sahel se situe peut-être au niveau d'une circulation zonale au-dessus de l'Atlantique - l'oscillation australe. Autre solution: les changements dans le flux des courants océaniques pourraient affaiblir le flux de la mousson d'été. Une autre possibilité serait que le gradient de température réduit entre le Sahara et le golfe de Guinée (plus chaud qu'avant), influence la position du jet d'est africain et à sa suite les lignes de grains. Ainsi, on constate bien l'existence d'un lien entre les variations des TSM et la pluviométrie du Sahel, mais on est encore loin d'en comprendre parfaitement les mécanismes.

Le phénomène quasi périodique du Niño\Oscillation australe (ENSO), est une autre cause possible encore plus éloignée des déficits pluviométriques sahéliens. Bien que l'ENSO lui-même soit limité à l'océan Pacifique, il a donné lieu à des phénomènes extrêmes, comme ceux de 1982/83, qui ont été rattachés à des anomalies climatiques dans d'autres parties du globe.

La plus large échelle spatiale des phénomènes influant sur la pluviométrie du Sahel est la planète. Une des causes envisageables ici est l'évolution des climats mondiaux par suite de l'augmentation du taux de dioxyde de carbone et autres gaz produisant un effet de serre. Ces taux ont augmenté régulièrement depuis la Révolution industrielle, de même que les températures à l'échelle mondiale. Cependant, cela n'a pas encore été démontré de manière incontestable car il faut tenir compte des fluctuations naturelles à long terme, et de la difficulté de distinguer le "signal" lié à l'effet de serre du "bruit" naturel. Il est donc actuellement impossible de démontrer un effet de serre à l'échelle régionale (sur la pluviométrie du Sahel par exemple). On peut malgré tout s'attendre à ce que l'effet de serre influence la pluviométrie du Sahel (tout comme, d'ailleurs, les conditions climatiques mondiales), aussi importe-t-il de poursuivre l'étude de ce phénomène.

Référence: Farmer, G and Wigley TML (1985). Climatic Trends for Tropical Africa. ODA Research Report. Climatic Research Unit, Norwich, Royaume-Uni.