

## IDENTIFICATION DES DATES DE DEMARRAGE ET DE FIN DE SAISON DES PLUIES : APPLICATIONS A L'AFRIQUE DE L'EST ET AU SENEGAL

P. CAMBERLIN &, R. OKOOLA \*, M. DIOP<sup>(1)</sup>, P. VALIMBA <

(1) UMR 5080 CNRS Centre de Recherches de Climatologie,  
Université de Bourgogne, 6 Bd Gabriel, 21000 Dijon, France

E-mail : [camber@u-bourgogne.fr](mailto:camber@u-bourgogne.fr)

(2) Department of Meteorology, Université de Nairobi, P.O.Box 30197, Nairobi, Kenya

E-mail : [okoola@lion.meteo.go.ke](mailto:okoola@lion.meteo.go.ke)

(3) Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomatique (LERG),  
Campus de l'ESP, BP25275 Dakar-Fann, Sénégal

E-mail : [mbaydiop@ucad.sn](mailto:mbaydiop@ucad.sn)

(4) Water Resources Engineering Department, Université de Dar-es-Salaam,  
P.O.Box 35131, Dar-es-Salaam, Tanzanie

E-mail : [pvalimba@hotmail.com](mailto:pvalimba@hotmail.com)

### Résumé

En prenant les exemples du Kenya et du Sénégal, une méthode est proposée pour définir des dates de début et de fin de saison des pluies ayant une assise régionale, et permettant leur suivi inter-annuel. La méthode, à valeur climatique plus qu'agroclimatique, repose sur les scores cumulés, année par année, de la première composante principale des précipitations journalières. Sa robustesse est testée à partir d'un échantillon indépendant. Au Kenya (« long rains » de mars-mai) comme au Sénégal, la variabilité interannuelle de la fin de saison est moins prononcée que celle du début des pluies. Les corrélations entre dates de démarrage et de fin, durée de la saison et pluviométrie totale ne sont pas toutes aussi élevées qu'attendu. On note en Afrique de l'Est une relative stabilité de la durée de la saison sur le long terme. Au Sénégal en revanche, les tendances significatives des dates de démarrage et de fin témoignent d'un raccourcissement de la saison des pluies entre 1950 et 1992.

### Abstract

With Kenya and Senegal as examples, a method is proposed which defines onset and end dates of the rainy season on a regional basis, and which enables to monitor their interannual variability. The method uses the yearly cumulative scores of the leading principal component for daily precipitation. Its robustness is tested based on a sample of independent stations. In Kenya (March-May "long rains") as in Senegal, the interannual variability of the onset is greater than that of the end of the rains. Correlations between onset and end dates, duration of the rainy season and total rainfall amounts are generally significant but not as high as expected. In East Africa, there is little change in the duration of the rainy season in the long-run. On the contrary, Senegal exhibits significant trends in both the onset and end dates, reflecting a shortening of the rainy season between 1950 and 1992.

**Mots-clés** : Précipitations journalières, saison des pluies, Afrique tropicale, Analyse en Composantes Principales.

**Keywords** : Daily rainfall, rainy season, Tropical Africa, Principal Component Analysis.

### Introduction

La détermination et la prévision des dates de début et de fin de saison des pluies sont des questions cruciales dans tous les pays qui dépendent de l'agriculture pluviale, car d'elles dépendent le calendrier agricole et en grande partie les quantités récoltées. C'est le cas dans une bonne partie de l'Afrique tropicale. Les méthodes d'identification de ces dates peuvent être divisées en deux catégo-

ries : celles reposant sur la répartition des précipitations (ou intégrant le bilan hydrique) et celles prenant en compte la dynamique atmosphérique.

Dans la première catégorie figure une grande variété de méthodes, généralement applicables sur une base stationnelle et dans un but agroclimatique. La forme générale en a été donnée par Stern et al. (1981) et des applications présentées par Mhita et Nassib (1987) pour la Tanzanie, par Diop et al. (1996), Omotosho et al. (2000) ou Dodd et Jolliffe (2001) pour l'Afrique de l'Ouest. A une échelle régionale, Marengo et al. (2000) ont utilisé des moyennes spatiales, lissées sur 5 jours, pour identifier le démarrage des pluies en Amazonie. Le résultat, comme dans les approches stationnelles, reste dépendant des seuils millimétriques utilisés.

Le second groupe de méthodes est fondé sur la circulation atmosphérique d'altitude (cf. Joseph et al. (1994), Hendon et Liebmann (1990) et Omotosho (1992) pour les moussons indienne, australienne et ouest-africaine, respectivement). Elles peuvent être robustes mais nécessitent des données aérologiques pas toujours disponibles. Si on les exclut, le problème est donc d'arriver à une définition strictement pluviométrique qui soit représentative d'un grand nombre de stations. Il s'agit là d'une contrainte majeure si l'on veut espérer prévoir ultérieurement le début ou la fin de la saison des pluies. Une méthode d'identification simple, fondée sur l'Analyse en Composantes Principales (ACP), est proposée ici. Elle est appliquée à deux régions africaines aux régimes pluviométriques différents, mais où l'agriculture est très sensible à la variabilité des pluies. En Afrique de l'ouest, le Sénégal possède une saison des pluies unique (régimes unimodaux) centrée sur l'été boréal. En Afrique de l'est (Kenya et Tanzanie du nord), les régimes sont en général bimodaux. Dans les deux cas, les totaux pluviométriques sont relativement contrastés dans l'espace, avec un gradient méridien au Sénégal, et altitudinal au Kenya.

## 1. Présentation et évaluation de la méthode

### 1.1. Données et méthode

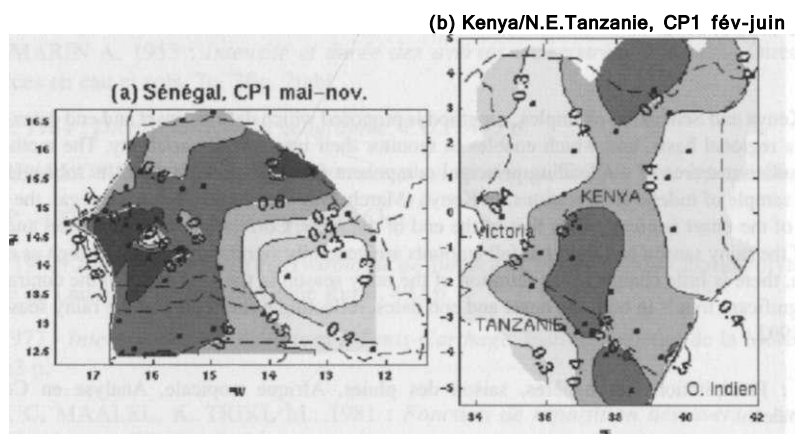


Figure 1 : Première composante principale des précipitations journalières au Sénégal (a) et au Kenya (b). Les points désignent les stations utilisées.

Pour synthétiser l'évolution des précipitations journalières, éminemment variables dans le temps et dans l'espace, nous utilisons l'ACP appliquée aux séries stationnelles journalières, sur la base de la matrice de corrélations entre les stations. L'analyse est limitée à la saison pluvieuse et aux mois encadrants, afin de n'éliminer aucun cas de démarrage précoce (ou de fin tardive). Pour le Sénégal,

34 stations sont utilisées sur la période 1950-1992, de mai à novembre (Camberlin et Diop, 2002). Pour le Kenya et le nord de la Tanzanie, 34 stations sont aussi considérées, de 1958 à 1987. Presque toutes possèdent un régime pluviométrique bimodal (pluies en mars-mai et octobre-décembre, Okoola, 1998), mais seules les "long rains" sont analysées ici, à partir des données de février à juin. La distribution des données journalières de précipitations étant fortement dissymétrique, toutes les données sont préalablement pondérées par leur racine-carrée (Barring, 1988).

Dans chacun des deux cas étudiés, la première composante principale (CP1) décrit une part importante de la variance journalière (36% au Sénégal, 21% au Kenya) et est bien représentative de l'évolution des précipitations dans une large majorité des stations (figure 1). La covariabilité qu'elle exprime recouvre à la fois le calendrier moyen des pluies, les variations intra-saisonnières et les variations interannuelles, dans la mesure où le travail s'effectue sur des données journalières pluri-annuelles non désaisonnalisées. Les régions les mieux décrites par chacune des CP1 sont le Sénégal central, et en Afrique de l'est une bande médiane incluant les "Eastern Highlands". Au-delà, les saturations positives sur quasiment l'ensemble des deux domaines témoignent d'un réel synchronisme dans les variations des pluies, en tout cas à l'échelle des événements journaliers

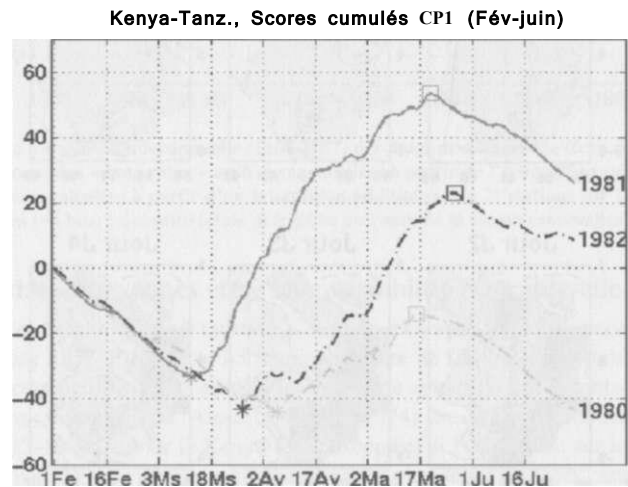
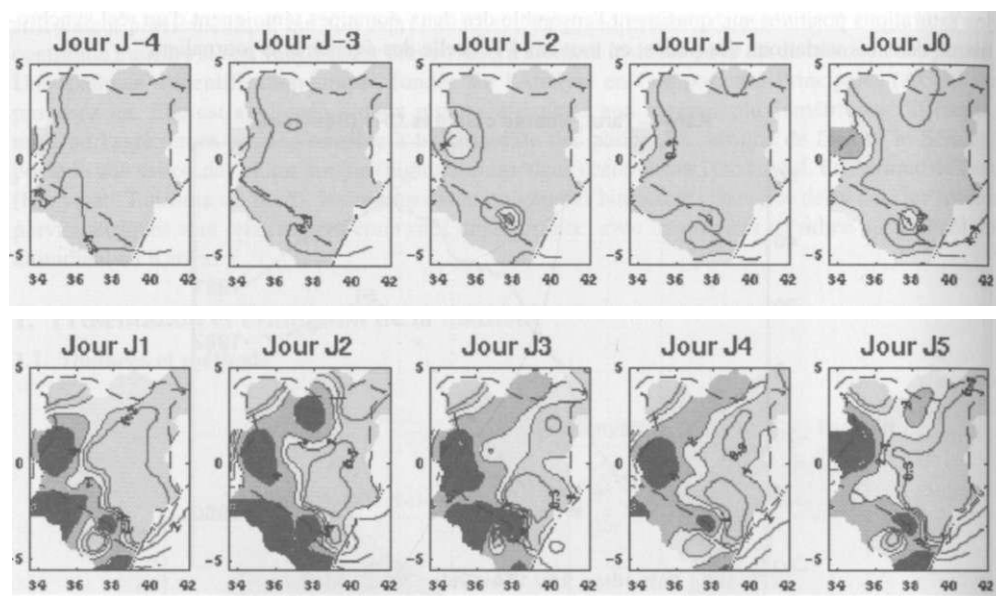


Figure 2 : Scores cumulés (année par année) de la 1<sup>re</sup> composante principale, pour 1980, 1981 et 1982 au Kenya / Tanzanie. Les symboles indiquent le démarrage et la fin des « long rains ».

La seconde étape consiste à analyser, pour chaque année séparément, la chronique temporelle normalisée (scores) de la CP1. Pour une année donnée, les scores cumulés montrent trois phases successives, décroissante, ascendante, et à nouveau descendante, matérialisant respectivement la fin de la saison sèche, la saison des pluies, et le début de la saison sèche suivante (figure 2). Les points d'inflexion (valeurs maximales et minimales des scores cumulés) sont retenus comme dates de démarrage et de fin de la saison des pluies. Une telle définition correspond en fait à la règle suivante : une date de démarrage de la saison des pluies peut être retenue si elle amorce une période où les pluies sont supérieures à la moyenne journalière, et non suivie d'une période déficitaire (c'est-à-dire entraînant un déficit cumulé supérieur à l'excédent qui précédait). On notera qu'aucun seuil quantitatif n'est utilisé, ce qui fait qu'elle s'adapte automatiquement à la quantité moyenne de pluies de la station considérée. La contrepartie en est bien sûr une moindre valeur agroclimatique "locale", dans la mesure où une plante a des besoins en eau quantitativement très précis.

## 12. Validation

Le caractère régional des dates identifiées par cette méthode semble attesté par la bonne représentativité spatiale de la CP1. Cela a été vérifié en calculant les précipitations moyennes recueillies en chaque station au cours de chacun des jours qui précèdent et qui suivent les dates obtenues. Les cartes correspondantes (figure 3) montrent par exemple pour le Kenya un contraste évident entre les 4 jours qui précèdent et les 5 jours qui suivent le début de saison. L'augmentation de la pluviométrie est soudaine et quasi généralisée. Cette installation de la saison des pluies s'effectue donc de façon plus ou moins simultanée dans de nombreuses régions du pays. Un résultat également très concluant est obtenu pour le début des pluies au Sénégal. Il indique que la date moyenne fournie chaque année, qui est certes très théorique et ne saurait avoir le même sens agroclimatique du nord au sud du pays, correspond bel et bien à un épisode pluvieux assez durable et quasi-généralisé. Pour la fin de saison, le retrait est plus irrégulier, du moins au Kenya.



**Figure 3 : Précipitations moyennes (en mm/jour) des jours précédant et suivant la date (jl) de démarrage des « long rains », au Kenya et dans le nord-est de la Tanzanie (valeurs calculées sur la période 1958-1987).  
En gris foncé : précipitations supérieures à 2 mm/jour.**

Un second aspect est la sensibilité des dates obtenues au réseau de stations analysé. Pour la tester, un second échantillon a été constitué au Kenya sur la période 1971-1987, en utilisant 21 stations en général éloignées des précédentes, mais couvrant assez bien le pays. La même méthode de détermination des bornes de la saison des pluies est employée, et les dates recueillies sont comparées aux précédentes (figure 4, cercles). L'accord entre les deux échantillons est quasiment parfait. Honnis deux cas (1971 pour le démarrage, 1977 pour la fin) les dates obtenues à partir des deux groupes de stations sont identiques ou ne diffèrent l'une de l'autre que d'un à deux jours (corrélation de 0,97 pour le début de saison, de 0,92 pour la fin). Ces résultats permettent d'utiliser avec confiance les séries pour l'étude de l'évolution interannuelle des bornes de la saison des pluies, en donnant à nos remarques une assise régionale.

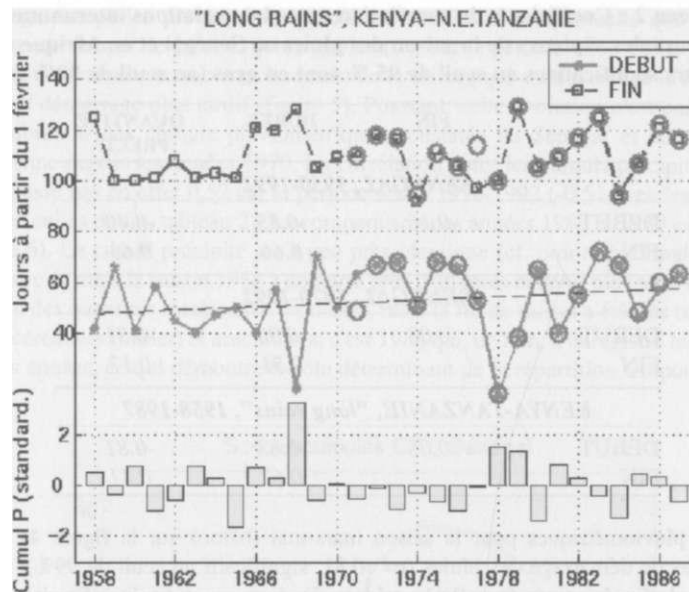


Figure 4 : Variabilité interannuelle (1958-1987) des dates de démarrage (trait plein) et de fin (tirets) des « long rains » au Kenya, calculées à partir de l'échantillon principal. Cercles : dates calculées à partir d'un échantillon additionnel de 21 stations sur 1970-1987. Barres verticales (en bas) : quantité totale précipitée au cours de la saison (anomalies normalisées).

## 2. Analyse des dates moyennes et de leur variabilité interannuelle

Pour le Kenya et l'extrême nord tanzanien, la date moyenne de démarrage des "long rains" obtenue sur la période 1958-1987 est le 25 mars, et la date de fin le 21 mai (tableau 1). Les cartes d'Asnani (1993) placent pour la région étudiée le démarrage autour de la 17<sup>e</sup> pentade (22-26 mars) ce qui est conforme avec notre travail. Alusa et Mushi (1974) ont trouvé un démarrage un peu plus précoce, autour du 12-16 mars pour le Kenya (côte exceptée) si l'on se base sur les stations utilisées dans la présente analyse. Pour le retrait, la comparaison est plus délicate car les cartes d'Asnani (1993) permettent mal de donner une date représentative à l'échelle de toute la région.

Tableau 1 : Moyennes et écarts-types (entre parenthèses, en jours) des dates de démarrage et de fin des saisons des pluies au Sénégal et en Afrique de l'Est (Kenya-N.E. de la Tanzanie).

	SENEGAL (1950-1992)	KENYA-TANZ. ("long rains", 1958-1987)
DEBUT	4 juillet (16)	25 mars (14,5)
FIN	2 octobre (11)	21 mai (10)

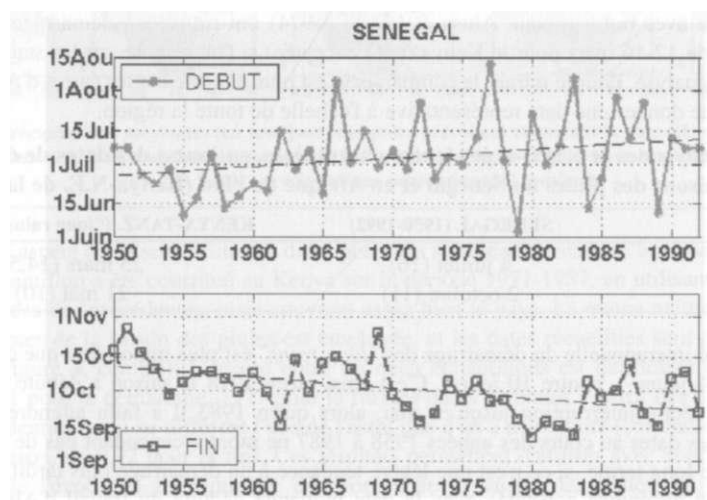
La variabilité interannuelle du démarrage des "long rains" est plus importante que celle de la fin (écart-type de 14 jours, contre 10 jours). C'est ainsi qu'en 1978 la saison a débuté le 15 février (figure 4), sans réelle interruption jusqu'en mai, alors qu'en 1983 il a fallu attendre le 13 avril. L'évolution de ces dates au cours des années 1958 à 1987 ne montre cependant pas de modification importante sur le long terme, si ce n'est une légère tendance à un démarrage plus tardif. C'est ce qui peut expliquer la différence constatée avec la date moyenne déduite du travail d'Alusa et Mushi (1974), réalisé sur une base stationnelle avec des données antérieures aux nôtres.

**Tableau 2 : Coefficients de corrélation entre les variations interannuelles de plusieurs descripteurs de la saison des pluies au Sénégal et en Afrique de l'est. Les valeurs significatives au seuil de 95 % sont en gras (au seuil de 99% en grisé).**

	FIN	DUREE	QUANTITE PRECIP.
<i>SENEGAL, 1950-1992</i>			
DEBUT	-0.16	<b>-0.85</b>	<b>-0.40</b>
FIN		<b>0.66</b>	<b>0.63</b>
<i>SENEGAL, 1970-1992</i>			
DEBUT	-0.08	<b>-0.90</b>	<b>-0.51</b>
FIN		<b>0.51</b>	0.17
<i>KENYA-TANZANIE, "longrains", 1958-1987</i>			
DEBUT	-0.08	<b>-0.83</b>	<b>-0.81</b>
FIN		0.62	0.41

Les cumuls pluviométriques pour la saison mars-mai (bâtons sur la figure 4) sont fortement corrélés aux dates de démarrage des pluies ( $r = -0.81$ , significatif au seuil de 99%), mais beaucoup moins aux dates de fin de saison ( $r = +0.41$  ; tableau 2). Autrement dit, la précocité de la saison est gage de forte pluviométrie. L'intensité journalière moyenne (quantité moyenne de pluie par jour), par comparaison, a une incidence moins décisive sur le cumul saisonnier ( $r = +0.56$ ).

Dans le cas du Sénégal, en moyenne, la durée de la saison des pluies atteint 71 jours, avec un démarrage le 4 juillet (tableau 1). Ces valeurs sont surtout représentatives de la partie centrale du pays ; dans le nord, le démarrage est plus tardif, dans le sud plus précoce, et des différences peuvent apparaître aussi avec d'autres travaux, notamment lorsque les dates sont calculées localement, sur des bases agroclimatiques (Diop et al., 1996). Cependant, la moyenne spatiale obtenue avec ces dernières (10 juillet) reste peu différente de celle déduite de l'ACP.



**Figure 5 : Variabilité interannuelle (1950-1992) des dates de démarrage (en haut) et de fin (en bas) de la saison des pluies au Sénégal.**

Le démarrage des pluies présente une plus forte variabilité interannuelle que la fin, avec des départs-types respectivement de 16 et 11 jours (tableau 1). Sur la période 1950-1992, les séries temporelles montrent une tendance au raccourcissement de la saison, qui est davantage le fait d'une fin plus précoce que d'un démarrage plus tardif (figure 5). Pourtant, cette évolution n'est pas la réplique parfaite de la diminution des cumuls pluviométriques constatée au Sénégal et dans toute la bande soudano-sahélienne depuis les années 1970. La corrélation entre les cumuls précipités et la durée de la saison ne dépasse pas en effet 0,52 sur la période sèche 1970-1992 (-0,51 avec les dates de démarrage, +0,17 avec celles de fin, tableau 2). La comparaison des années 1988 et 1989 est à cet égard très parlante (figure 6). Le cumul précipité est à peu près identique (cf. ordonnées finales des courbes à droite sur la figure 6) mais la saison 1988 a démarré près d'un mois et demi plus tard. Quant à la saison 1990, elle a reçu des quantités totales bien modestes, mais la fin de saison a été très tardive. En termes de rendements céréaliers (millet) et arachidiers, c'est 1988 qui, de loin, a enregistré les valeurs les plus faibles des trois années, ce qui démontre le rôle déterminant de la répartition temporelle des pluies.

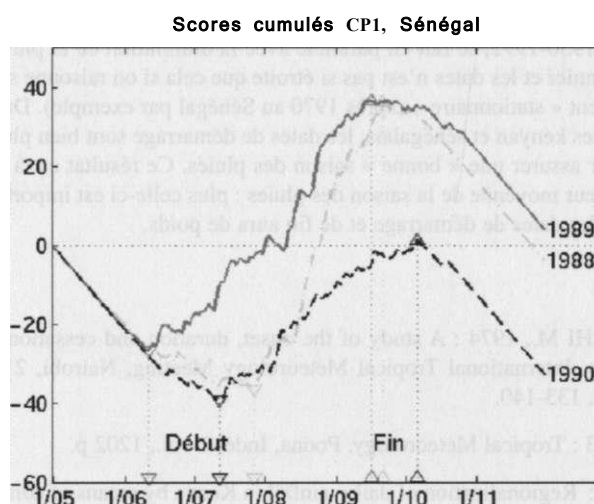


Figure 6 : Scores cumulés (par année) de la composante principale, pour les années 1988 à 1990 au Sénégal. Les triangles indiquent le démarrage et la Fin de la saison des pluies.

Un point remarquable est à noter, comme au Kenya: la date de démarrage pèse bien plus lourdement que la date de fin dans la variabilité du cumul pluviométrique (tableau 2). Dans un climat approximativement "stationnaire" (cas du Sénégal entre 1970 et 1992, ou des "long retins" au Kenya), les corrélations entre quantité précipitée, durée de la saison et date de démarrage indiquent que la "réussite" de la saison dépend tout autant de la précocité de son démarrage que de sa durée totale. Un des éléments associés à ce poids du démarrage dans le cumul saisonnier est que, dans les deux régions, les dates de début des pluies varient plus que celles de fin, à l'échelle interannuelle. Ce fait est d'importance pour l'agriculteur car, indépendamment et pour bien des plantes cultivées, c'est le début de la période végétative qui est la plus critique.

## Conclusion

L'utilisation des scores d'Analyse en Composantes Principales de données pluviométriques journalières permet une identification relativement robuste des dates de démarrage et de fin de la saison des pluies, comme le démontrent les exemples sénégalais et est-africain. Il faut cependant être conscient que la valeur agroclimatique des dates obtenues dans les deux exemples proposés est très modeste. En effet, seule la variable pluviométrique est utilisée, et les espaces étudiés, de taille importante, ont des conditions climatiques moyennes (cumuls et régimes) pas assez homogènes pour que les dates aient une valeur universelle. Cependant, elles correspondent bel et bien à des occurrences d'épisodes pluvieux ou secs assez durables et quasi-généralisés à l'échelle des espaces étudiés, positionnés aux marges de la saison des pluies. La représentativité régionale de ces dates doit permettre d'envisager leur prévisibilité, en étudiant les modifications de la circulation atmosphérique ou des champs de surface accompagnant et précédant ces événements.

La méthode permet également un suivi interannuel simple, à valeur régionale, des caractéristiques de la saison des pluies. Dans les deux cas étudiés, il apparaît que la variabilité des dates de démarrage est plus forte que celle des dates de fin. Si au Sénégal le raccourcissement général de la saison, au cours de la période 1950-1992, se fait en parallèle avec la diminution de la pluviométrie, la relation entre le cumul saisonnier et les dates n'est pas si étroite que cela si on raisonne sur des périodes où le climat est relativement « stationnaire » (après 1970 au Sénégal par exemple). Dans ce cas, comme le montrent les exemples kenyan et sénégalais, les dates de démarrage sont bien plus déterminantes que les dates de fin pour assurer une « bonne » saison des pluies. Ce résultat est à moduler bien sûr en fonction de la longueur moyenne de la saison des pluies: plus celle-ci est importante, moins la variabilité interannuelle des dates de démarrage et de fin aura de poids.

## Bibliographie

ALUSA A.L., MUSHI M., 1974 : A study of the onset, duration and cessation of the rains in East Africa. Preprints, International Tropical Meteorology Meeting, Nairobi, 21 Jan - 7 Feb 1974. AMS, Boston, p. 133-140.

ASNANI (J.C., 1993 : Tropical Meteorology. Poona, Inde, 2 vol., 1202 p.

BARRING L, 1988: Regionalization of daily rainfall in Kenya by means of common factor analysis. *Int J Climatol* 8 : p. 371-389.

CAMBERLIN P., DIOP M., 2002 : Application of daily rainfall PCA to the assessment of the rainy season characteristics in Senegal. accepté dans *Climate Research*.

DIOP M, HOUNDENOU C., RICHARD Y., 1996 : Variabilité des dates de début et de fin de l'hivernage au Sénégal. *Publ. de l'A/C*, 9, p. 430-436.

DODD DES, JOLLIFFE IT, 2001 : Early detection of the start of the wet season in semiarid tropical climates of western Africa. *Int J Climatol* 21 : p. 1251-1262.

HENDON HH, LIEBMANN B, 1990 : A composite study of onset of the Australian summer monsoon. *J Atmos Sci* 47 : p. 2227-2240

JOSEPH PV, EISCHEID JK, PYLE RJ, 1994 : Interannual variability of the onset of the Indian Summer monsoon and its association with atmospheric features, El Niño, and sea surface temperatures. *J Clim* 7: p. 81-105.

MARENGO JE, LIEBMANN B, KOUSKY VE, FILIZOLA NP, WAINER IC, 2001 : Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. *J. Clim* 14: p. 833-849.



- MHITAMS, NASSIB IR, 1987 : The onset and end of rains in Tanzania. In : *Proceedings, 1<sup>st</sup> Techn. Conf. on Meteor. Research in Eastern and Southern Africa*. KMD, Nairobi, p. 33-37.
- OKOOLAR., 1998 : Spatial evolutions of the active convective patterns across the Equatorial Eastern Africa region during northern hemisphere spring season using Outgoing Longwave Radiation records. *Met. Atm. Phys.*, 66, 1-2, p. 51-63.
- OMOTOSHO JB, 1992 : Long-range prediction of the onset and end of the rainy season in the West African Sahel. *Int J Climatol* 12, p. 369-382.
- OMOTOSHO JB, BALOGUNAA, OGUNJOBI K, 2000: Predicting monthly and seasonal rainfall, onset and cessation of the rainy season in West Africa using only surface data. *Int J Climatol* 20, p. 865-880.
- STERN RD, DENNETT MD, GARBUTT DJ, 1981: The start of the rains in West Africa. / *Climatol* 1, p. 59-68.