

UNE MÉTHODE DE CARACTÉRISATION DES FLUCTUATIONS PLUVIOMÉTRIQUES INTERANNUELLES DU SAHEL - L'EXEMPLE DU BURKINA-FASO

L. LE BARBÉ¹, D. TAPSOBA²

INTRODUCTION

L'essentiel des pluies de la zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'ouest, résulte de l'activité des lignes de grains. Ce sont de vastes systèmes convectifs pouvant s'étaler sur plusieurs centaines de kilomètres et se déplaçant d'est en ouest à près de 50 km/h. Leur structure peut être schématisée de la façon suivante : sur le bord ouest, une partie convective étroite, suivie à l'est d'une partie stratiforme plus étendue. La partie convective est constituée d'une juxtaposition de cellules élémentaires à la fois brèves (quelques dizaines de minutes), peu étendues (une ou deux dizaines de kilomètres) et très pluvieuses (les intensités sont en moyenne d'environ 50 mm/h). Les pluies générées par la partie stratiforme sont beaucoup plus faibles (inférieures à 5 mm/h) mais mieux réparties dans le temps comme dans l'espace.

De cette structure des lignes de grains découle directement celle des champs pluviométriques qui leur sont associés. L'étroitesse de la partie convective, responsable de l'essentiel de la pluie, et la fugacité des cellules, peuvent entraîner des variations considérables de la pluviométrie entre deux postes même très proches selon le nombre de cellules qui les auront touchés. L'expérience Epsat-Niger (LEBEL *et al.*, 1991, 1992) a permis de mettre en évidence des distances de décorrélation inter-postes très faibles, 10 à 30 km. Ce caractère erratique persiste dans les champs des cumuls saisonniers. Au cours de chacune des quatre années

¹Chargé de recherche à l'Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier.

²Allocataire de recherche à l'Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier.

de l'expérience, ont été observés des écarts de 1 à 2 entre les cumuls relevés à des stations distantes de quelques kilomètres seulement. L'organisation latitudinale de la pluviométrie ne commence à apparaître qu'à partir de la superposition des quatre années d'observations.

Les champs de pluie de la zone soudano-sahélienne se caractérisent donc par trois niveaux de variabilité :

- le premier est *intracellulaire* et est lié à la répartition des intensités au cours de la vie d'une cellule ;
- le second est *intra-événementiel* et résulte de la répartition spatio-temporelle des cellules au sein d'une ligne de grains ;
- le troisième est *événementiel* et dépend de celle des lignes des grains elles mêmes.

La quantification de ces trois niveaux de variabilité est indispensable dès que l'on souhaite modéliser le cycle hydrologique à mésoéchelle que ce soit à des fins d'analyses climatiques ou que ce soit à des fins d'inventaire ou de gestion des ressources en eaux. Les processus à l'origine de la redistribution des eaux de pluies, vers l'atmosphère, vers les nappes ou vers les rivières, sont en effet tous non linéaires et sont pour la plupart soumis à des effets de seuil.

Pour pouvoir quantifier, il faut observer. On dispose pour cela, de quatre moyens complémentaires : les satellites, les radars, les réseaux denses expérimentaux et les réseaux nationaux.

Les satellites : eux seuls peuvent permettre une vision complète des lignes de grains durant toute leur durée de vie. Mais leurs résolutions spatiale et temporelle ne sont pas toujours en rapport avec la variabilité intra-événementielle, et il n'y a que rarement un lien direct entre ce que mesure le satellite et la pluie qui tombe au sol. Par ailleurs il s'agit d'une technique récente. Les chroniques de données sont trop courtes pour une analyse des fluctuations climatologiques.

Les radars météorologiques : ils permettent une observation quasi continue des champs pluviométriques dans l'espace comme dans le temps avec des résolutions satisfaisantes sur des zones circulaires d'environ 150 kilomètres. Un réseau de radar constituerait certainement le meilleur outil de suivi de la pluviométrie de l'Afrique de l'ouest. Malheureusement un tel réseau n'existe pas. Et ce n'est qu'au cours d'expérience comme Epsat-Niger, que des radars ont été utilisés de façon quantitative conjointement avec des réseaux denses de pluviographes.

Les réseaux denses de pluviographes : c'est le moyen privilégié pour observer à petite échelle les répartition des intensités.

La résolution du réseau d'Epsat-Niger paraissait *a priori* très fine (environ 100 postes sur 10 000 km²). Malgré cela, les analyses géostatistiques (THAUVIN, 1992) ont montré qu'elle n'était qu'à peine suffisante pour interpoler les cumuls ou les intensités entre deux postes. Par ailleurs ils ne permettent qu'une vision partielle des champs.

Vu le coût d'installation et d'exploitation de tels réseaux, il ne peut se concevoir que pour des expériences limitées dans le temps.

Les réseaux nationaux de pluviomètres : ils ont en Afrique de l'ouest une faible résolution spatiale, environ un poste pour 2 à 3 000 km². Il paraît donc illusoire d'espérer appréhender par simple interpolation la structure des champs pluviométriques. Par ailleurs ne sont mesurés que des cumuls journaliers. Les données collectées sur ces réseaux ne permettent donc pas d'accéder directement aux paramètres utiles : la date, la durée et la hauteurs de chacun des événements pluvieux. Malgré cela, elles constituent une information de base essentielle à cause de la longueur de leurs chroniques et parce qu'elles concernent l'ensemble de la sous-région.

Si on se réfère au trois niveaux de variabilité présentés plus haut, on constate :

- que les satellites permettront surtout de quantifier la variabilité événementielle, dans une moindre mesure la variabilité intra-événementielle, et pas la variabilité intracellulaire ;
- que les radars seront surtout utiles pour appréhender le niveau intra-événementiel, mais pourront contribuer à la connaissance des deux autres niveaux ;
- que les réseaux denses seront indispensables pour préciser la variabilité intracellulaire, et, en association avec les radars, ils seront aussi utiles à la quantification de la variabilité intra-événementielle. Ils seront en revanche peu efficaces en ce qui concerne la variabilité événementielle ;
- que les réseaux nationaux ne permettent pas d'observations directes d'aucun des trois niveaux de variabilité. Leurs données serviront surtout à la validation et à l'extrapolation des modèles de répartition spatiale des pluies qui pourraient être mis au point à partir des moyens précédents. Cela ne pourra se faire que par confrontation des distributions ponctuelles observées à celles déduites des modèles spatiaux.

L'analyse statistique des données sol doit donc permettre de préciser en terme de distributions l'agencement temporel des averses en un point et leur importance. C'est l'objet de cette communication. Nous allons d'abord présenter notre démarche et nous l'illustrerons par une application aux données du Burkina Faso.

PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE

LE CHOIX D'UN MODÈLE STOCHASTIQUE DES CUMULS PONCTUELS

Un cumul pluviométrique sur une période donnée n'est que la somme des hauteurs de pluies tombées au cours des événements survenus au cours de cette période. La distribution des cumuls se déduit donc des deux distributions, celle des hauteurs par événements et celle du nombre d'événements. Si celles-ci sont indépendantes, et si $P(n, T)$ est la probabilité qu'il y ait n événements au cours d'une durée T , et si $f(h)$ est la densité de la hauteur de pluie tombée au cours d'un événement, la densité $d(c, T)$ du cumul c au cours de la période, on a en effet :

$$d(c, T) = \sum_i P(i, T) \cdot f^{*i}(c)$$

f^{*i} représentant la $i^{\text{ème}}$ puissance de convolution de f .

Les espérances et les variances de ces trois distributions sont reliées par les relations suivantes :

$$E(c) = E(h) \cdot E(n)$$

et

$$V(c) = V(n) \cdot E^2(h) + V(h) \cdot E(n)$$

La distribution de n résulte de celle des durées interévénements.

On peut résumer le problème posé par la figure 1 (DR. Cox et Isham), où les jours sont représentés par des traits épais bornés par deux flèches et les événements par des rectangles dont la largeur représente la durée et la longueur la hauteur de pluie. X_0 est la durée entre la première averse et l'origine des temps et X_i la durée entre les débuts d'événements successifs :

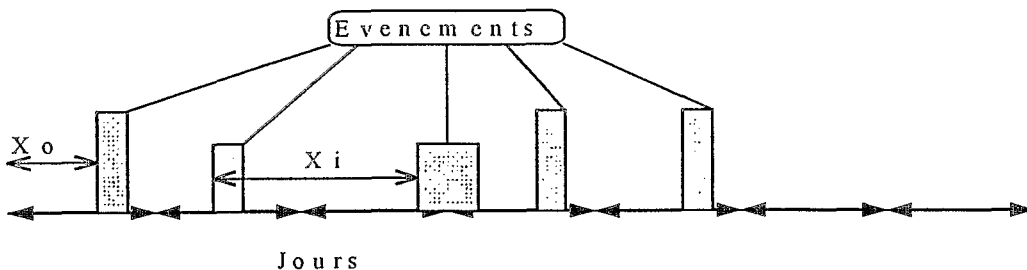


Figure 1

- si $g(X_i)$ est la densité de probabilité de X_i et $E(X_i)$, sa moyenne on peut montrer que :
- si $h(X_0)$ est la densité de X_0 , on a :

$$h(X_0) = \frac{\int_0^{\infty} g(x) \cdot dx}{E(x_i)}$$

- si $P(n, T)$ est la probabilité qu'il y ait n événements au cours d'une période T quelconque, on a :

$$P(n, T) = \int_0^T h(u) \cdot (g^{*n-1}(T-u) - g^{*n}(T-u)) \cdot du$$

g^{*k} représentant la puissance k de $g(x)$ au sens du produit de convolution.

La définition du modèle se résume donc au choix de deux lois de probabilité, celle des durées interévénements et celle des hauteurs de pluies associées à chacun d'entre eux.

DISTRIBUTION DES DURÉES INTERÉVÉNEMENTS

Nous avons retenu deux lois :

- la loi exponentielle ;
- la loi exponentielle avec un temps de latence après chaque événement.

— La loi exponentielle

Ce cas est bien connu. Le choix d'une loi exponentielle de moyenne Xm , pour les durées interévénements, revient à admettre que $P(n, T)$ suit une loi de Poisson de paramètre T/Xm .

— La loi exponentielle avec temps de latence

Le choix d'une loi exponentielle pour les durées entre deux événements peut paraître irréaliste dans la mesure où deux événements successifs peuvent être selon ce modèle simultanés. Or dans la réalité, il paraît difficilement envisageable qu'une ligne de grains puisse avoir lieu immédiatement après une autre. Le passage d'un système convectif stabilise l'atmosphère et rend impossible l'apparition d'un nouveau système.

Pour tenir compte de cela, on peut introduire dans le modèle exponentiel la notion de temps de latence. Après le passage d'un événement, s'écoulerait un temps, D , durant lequel, il serait impossible d'en observer un autre. Et c'est la durée entre la fin de cette latence et l'apparition d'un nouvel événement qui suivrait une loi exponentielle.

Selon ces hypothèses, $P(n, T)$ suit alors la loi suivante :

— si $N > T/D$

$$P(n, T) = 0.$$

— si $T/D - 1 < N < T/D$

$$P(n, T) = \left[\int_0^{\frac{T-ND}{X_m}} \frac{x^{n-1} e^{-x} dx}{(n-1)!} \right] \frac{X_m}{X_m + D}$$

— si $N < T/D - 1$

$$P(n, T) = \left[\int_{\frac{T-(n+1)D}{X_m}}^{\frac{T-ND}{X_m}} \frac{x^{n-1} e^{-x} dx}{n-1!} \right] \frac{X_m}{X_m + D}$$

DISTRIBUTION DES HAUTEURS DE PLUIE ASSOCIÉES À UN ÉVÉNEMENT

Nous n'avons retenu pour l'instant que la loi exponentielle. Il est en effet admis par tout le monde que cette loi décrit convenablement les distributions des hauteurs d'averses. On pourrait cependant sans grande difficulté utiliser d'autres lois.

On pourrait, par exemple, associer à chaque événement une probabilité, p , qu'il pleuve en un point.

On pourrait aussi admettre une loi exponentielle pour les hauteurs de pluies par cellule et en déduire la loi applicable aux hauteurs par événement si l'on connaissait la distribution du nombre de cellules touchant un point au cours d'un événement.

LE CHOIX D'UNE MÉTHODE DE CALAGE

CHOIX DES DOMAINES DE STATIONNARITÉ

Lorsqu'on souhaite ajuster une loi de distribution, on est soumis à deux contraintes contradictoires. D'une part, il faut, pour que l'ajustement soit probant, disposer d'un maximum d'observations, ce qui pousse à prendre un domaine de calage le plus grand possible. Mais d'autre part, il faut aussi qu'on puisse admettre la stationnarité des distributions dans le domaine choisi ce qui pousse à le restreindre.

Pour s'affranchir des effets saisonniers, mais aussi par commodité, nous avons décidé *a priori* de travailler à l'échelle mensuelle. Il restait à définir pour chacune des distributions les intervalles de temps et d'espace permettant le meilleur compromis entre les deux contraintes citées plus haut.

Les lignes de grains ont une grande extension spatiale. Sur une même zone, la corrélation entre le nombre d'événements en chaque point doit être relativement forte. Dans ces conditions, il faudrait prendre des zones très étendues dans

l'espace pour avoir un nombre important de réalisations indépendantes. Le risque de non-stationnarité serait alors très grand. Nous avons choisi pour les distributions des durées interévénements, de les déterminer ponctuellement. Nous supposons donc qu'il est possible de les considérer comme stationnaires sur des périodes de plusieurs années.

En ce qui concerne la distribution des hauteurs par événement, nous avons vu plus haut que les distances de décorrélation étaient bien inférieures à la maille des réseaux. Par ailleurs, une analyse de la pluviographie en plusieurs stations de l'Afrique (NDOYE, 1988) a montré une quasi-égalité des distributions des hauteurs d'averses entre 9°N et 16°N. Le calage de cette distribution peut donc s'appuyer sur des observations faites simultanément en différents points de l'espace. Il est donc possible de définir des zones suffisamment étendues pour avoir, au cours d'un mois, un nombre suffisant de réalisations pour caler le modèle. L'ajustement se fait donc année par année.

LA DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES DU MODÈLE

DISTRIBUTION DES DURÉES INTERÉVÉNEMENTS

L'estimation de la distribution des durées inter-événements se fait pour chacun des postes, à partir de la fréquence des séquences de jours secs.

Un événement survenant au jour j , peut s'étaler sur les jours suivants. Si on appelle R , le rapport de la durée d'un événement à celle d'un jour, Δ , et si on le suppose constant et inférieur à 1, la probabilité qu'un événement ne déborde pas d'un jour sur l'autre s'écrit :

$$P_{ndb} = \frac{P(0, R, \Delta)}{1 - P(0, \Delta)} \cdot \sum_{i=1}^{inf} P(i, \Delta) \cdot (1 - R)$$

On peut donc exprimer les probabilités $P_j(0, i, \Delta)$ que i jours soient secs :

$$P_j(0, 1, \Delta) = P_{ndb} \cdot (1 - P(0, \Delta)) \cdot P'(0, \Delta) + P^2(0, \Delta)$$

et

$$P_j(0, i, \Delta) = P_j(0, 1, \Delta) \cdot P^{i-1}(0, \Delta)$$

Où $P'(0, \Delta)$ représente la probabilité conditionnelle qu'un jour soit sec sachant que le précédent a connu un début d'événement. Cette probabilité est différente de $P(0, \Delta)$ dans le cas d'un processus avec un temps de latence que l'on suppose inférieur à la journée.

Les séquences de jours secs et pluvieux suivent donc une chaîne de Markov d'ordre un et leur analyse permet d'en déduire les paramètres de la loi de distribution des durées interaverses.

Dans le cas le plus simple, c'est-à-dire en négligeant le temps de latence et avec une loi exponentielle pour les intervalles interaverses, on obtient :

$$P_j(0, 1, \Delta) = \text{Exp}(-\Delta/Tia \cdot (R+1))$$

et

$$P_j(0, i, \Delta) = P_j(0, 1, \Delta) \cdot \text{Exp}(-(\Delta/Tia) \cdot (i-1))$$

Où Tia représente la durée moyenne d'un intervalle, paramètre de la loi cherchée.

DISTRIBUTION DES HAUTEURS PAR ÉVÉNEMENT

Pour chaque mois de chaque année, on veut déterminer la moyenne des hauteurs par événements qui est le paramètre de la loi choisie pour représenter leur distribution. On considère pour cela les cumuls observés sur des zones soit fixes, soit glissantes. Pour chaque poste de la zone retenue, on estime l'espérance du nombre d'événements en sachant le nombre de jours pluvieux observés. La hauteur moyenne par événement est alors estimée par le rapport des sommes des cumuls et des espérances du nombre d'événements. Il faut donc pouvoir exprimer la distribution du nombre d'événements sachant le nombre de jours de pluies. Nous ne traiterons ici que du cas sans temps de latence.

La probabilité, P'' , qu'un jour pluvieux reçoive au moins une averse s'écrit alors :

$$P'' = 1 - \text{EXP}(-\Delta / Tia) \cdot \frac{1 - \text{EXP}(\Delta \cdot R / Tia)}{1 - \text{EXP}(-\Delta / Tia)}$$

La probabilité qu'il y ait K averses au cours d'un jour pluvieux s'écrit alors :

$$P_j p(K) = \frac{1}{1 - \text{EXP}(-\Delta / Tia)} \cdot P'' \cdot \text{Poisson}(K, \Delta / Tia)$$

S'il y a N_j jours pluvieux, la loi de probabilité du nombre d'événements s'obtient en convolant n fois la loi précédente, on obtient alors si $P_c(K | N_j)$ est la probabilité de K événements sachant N_j :

$$P_c(K/N_j) = \left(\frac{1 - \alpha \cdot \text{EXP}(-D/Tia)}{1 - \text{EXP}(-D/Tia)} \right)^{N_j} \cdot \text{Poisson}(K, N_j D/Tia) \cdot \sum_{i=0}^{N_j} (i/N_j)^K \cdot (\alpha-1)^{N_j-i} \cdot \frac{N_j!}{i! \cdot (N_j-i)!}$$

avec,

$$\alpha = \frac{1 - \text{EXP}(-\Delta \cdot R/Tia)}{1 - \text{EXP}(-\Delta/Tia)}$$

L'espérance de K sachant N_j , est :

$$E(K/N_j) = \frac{P'' \cdot N_j}{1 - \text{EXP}(-\Delta/Tia)}$$

LES INFÉRENCES : DISTRIBUTIONS DES CUMULS ET DES DIFFÉRENTS DESCRIPTEURS DES RÉGIMES PLUVIOMÉTRIQUES

L'application de la démarche proposée permet d'obtenir une description très riche et cohérente des régimes pluviométriques ponctuels. Elle permet en effet, pour chaque mois (ou tout autre période) et pour chaque année d'observation,

de définir de façon probabiliste la succession temporelle des événements, leurs importances et d'estimer leurs durées. À partir de ces résultats, il est possible de générer des chroniques réalistes de n'importe quel descripteur des régimes, classiquement utilisé : cumuls sur différents pas de temps, pluies extrêmes, etc.

Dans le cas le plus simple, celui où les deux distributions initiales sont exponentielles et en négligeant la durée des événements, il est par exemple possible d'en déduire directement les expressions des distributions suivantes :

- cumuls et nombre d'événements sur des pas de temps allant du jour au mois (lois des fuites et loi de Poisson) ;
- durées interévénements ;
- pluies extrêmes de chaque mois (loi de Gumbel) ;
- nombres de jours de pluie (loi binomiale, si $R=0$, chaîne de Markov, sinon) ;
- cumuls sur un nombre fixé d'événements (lois Gamma) ;
- cumuls et nombres d'averses pour un nombre fixé de jours pluvieux.

L'intérêt opérationnel de la démarche est donc évident. Elle permet en outre à partir des observations faites sur les réseaux, d'estimer les fluctuations interannuelles des caractéristiques des phénomènes météorologiques responsables des pluies. La méthode proposée est donc aussi un moyen d'analyse climatologique.

APPLICATION À L'ÉTUDE DES PLUIES DU BURKINA FASO

SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

Le Burkina Faso est situé en Afrique de l'ouest dans la boucle du Niger et s'étend sur une superficie de 274 200 km². Il est compris entre 9°20' et 15°5' de latitude nord et 2°20' est et 5°3' ouest de longitude.

Le climat du Burkina, de type soudanien, est déterminé par la confrontation de deux masses d'air principales :

- une masse d'air sèche de nord est à est, provenant des hautes pressions sahariennes, c'est l'harmattan ;
- une masse d'air humide de sud ouest à sud, provenant des hautes pressions océaniques de l'hémisphère sud, c'est la mousson.

La zone de contact entre ces deux masses d'air correspond au Front Intertropical (FIT). Il oscille au cours de l'année entre les parallèles 4°N et 25°N.

On distingue 3 grandes zones climatiques qui se répartissent du sud au nord :

- la zone sud soudanienne caractérisée par une pluviométrie annuelle supérieure à 1 000 mm, une saison des pluies qui dure de 6 à 7 mois, et des amplitudes thermiques modérées ;

- la zone nord soudanienne avec une pluviométrie moyenne annuelle inférieure comprise entre 1 000 et 600 mm. La saison de pluies s'étale sur 4 à 5 mois ;
- la zone sahélienne où la pluviométrie est inférieure à 600 mm par an, avec de fortes irrégularités interannuelles, caractérisées par une saison des pluies très courte (3 à 4 mois), une forte évapotranspiration et des amplitudes thermiques journalières et saisonnières très fortes.

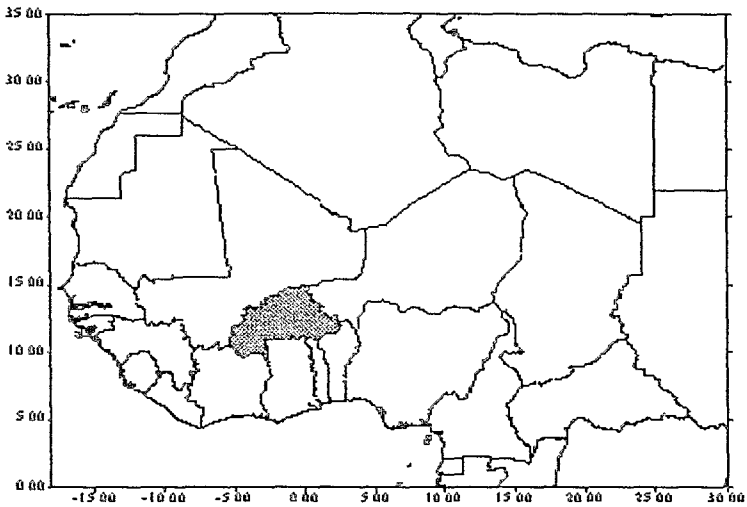


Figure 2 :
Situation géographique du Burkina Faso.

LES DONNÉES

Les données qui ont été utilisées dans cette étude, proviennent d'une part de la banque Pluviom de l'Orstom (période 1950-1980) et d'autre part de l'Agrhymet (période 1980-1990).

PÉRIODE D'ÉTUDE ET STATIONS DE RÉFÉRENCE

Le choix des stations de référence et d'une période de référence répond à deux exigences fondamentales :

- celle de disposer de chronique suffisamment longue et aussi complète que possible ;
- celle de disposer d'un réseau de stations d'extension optimale.

Une critique des données basée essentiellement sur un inventaire des lacunes et l'analyse de l'évolution de la densité du réseau, nous ont conduit à ne retenir que la période 1950-1990 et les stations de la figure 3 :

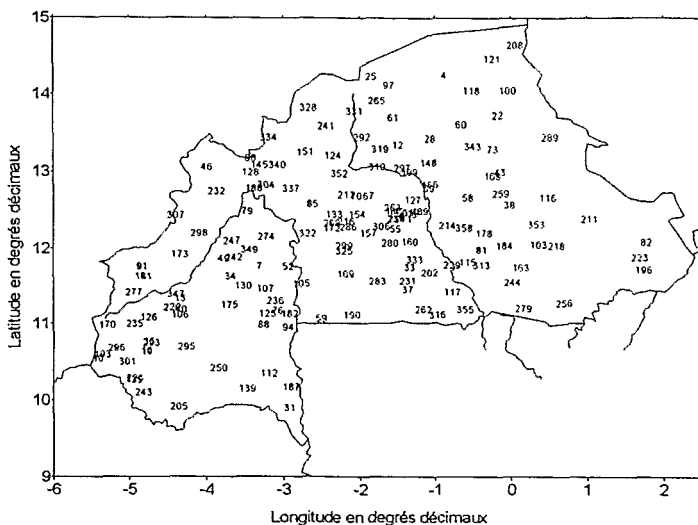


Figure 3 :
Les stations de référence.

LES PRODUITS OBTENUS

Nous avons appliqué la démarche exposée plus haut dans sa forme la plus simple (les deux distributions initiales exponentielles, et durée des événements négligeable). Notre travail a porté sur les mois de la saison des pluies : mai à octobre. Nous avons pour la détermination des distributions annuelles des hauteurs par événement, utilisé le découpage en zone fixe de la figure 4 mais nous avons également travaillé en voisinages glissants sur des rectangles d'un degré de latitude et de deux degrés de longitude.

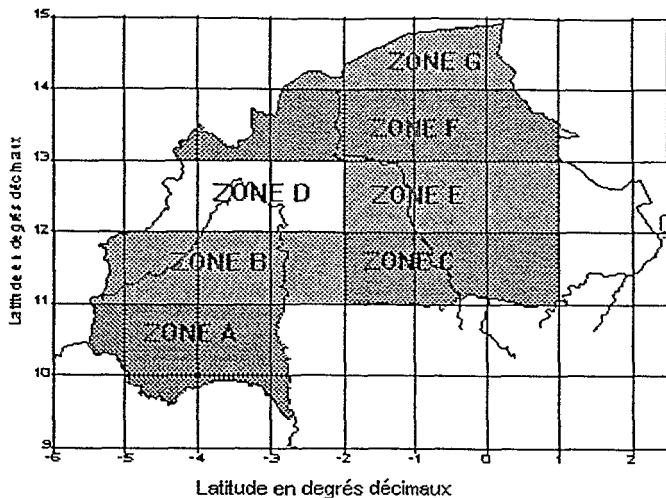


Figure 4 :
Découpage en zones fixes.

Une première analyse de la distribution des nombres événements, a mis en évidence une rupture très nette de la distribution vers l'année 1970. Nous avons donc, en ce qui concerne cette distribution, considéré deux périodes 1950-1970 et 1970-1990.

Les produits obtenus, synthétisant l'information, sont les suivants :

— *découpage en zones fixes :*

- cartes mensuelles du nombre moyen d'événements pour chacune des périodes,
- cartes mensuelles pour chaque année, des espérances des nombres d'événements,
- pour chaque zones, les vecteurs mensuels des hauteurs moyennes par événement ;

— *zones glissantes :*

- cartes mensuelles du nombre moyen d'événements pour chacune des périodes ;
- cartes mensuelles pour chaque année, des espérances des nombres d'événement ;
- cartes mensuelles pour chaque année, des hauteurs mensuelles par événements ;

RÉSULTATS

Les résultats peuvent être analysés sous deux angles :

- climatique ;
- opérationnel.

LES RÉSULTATS CLIMATIQUES

UNE CHUTE DU NOMBRE D'ÉVÉNEMENTS APRÈS 1970

Sur la figure 5, est représentée l'évolution interannuelle du nombre d'événements à six stations synoptiques du Burkina. À toutes ces stations, on constate une chute brusque du nombre d'événements à partir de 1970. Ce phénomène est général sur l'ensemble du pays. Pour les quatre principaux mois de l'hivernage, le nombre moyen d'événements après 1970 ne représente plus que 80 % de celui observé avant (figure 6).

Cette rupture avait été déjà mise en évidence (CARBONNEL et HUBERT, 1992) à partir d'une analyse statistique des séries chronologiques des cumuls. La démarche que nous avons suivie permet de faire la part entre l'effet du nombre et celui de l'abondance.

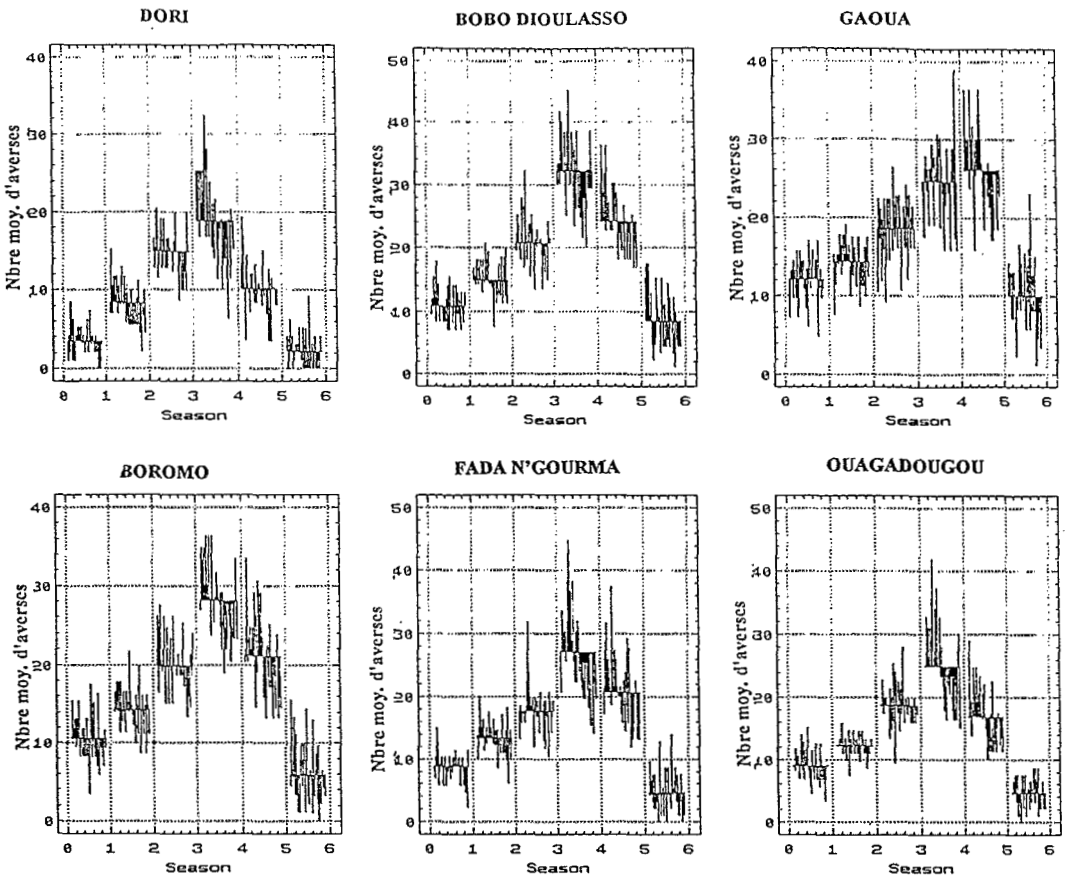


Figure 5 :
Évolution des profils des nombres d'événements pour quelques stations du Burkina au cours d'une saison moyenne.

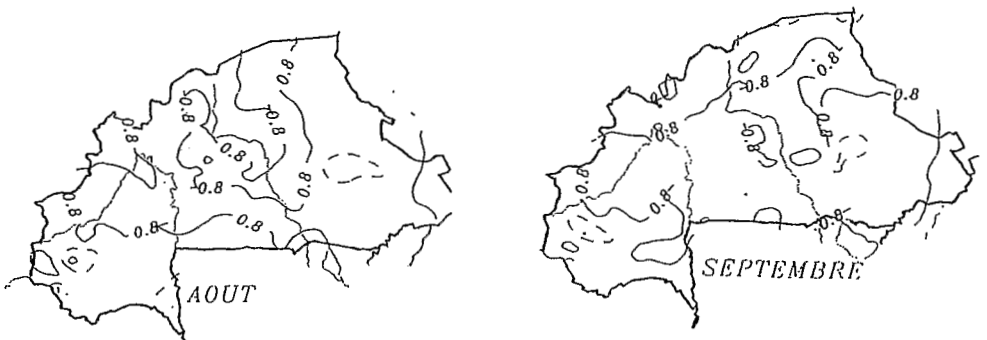


Figure 6 :
Nombres d'averses avant 70-90 / nombres d'averses avant 50-70.

UNE STATIONNARITÉ DES HAUTEURS MOYENNES PAR ÉVÈNEMENT

Sur la figure 7, sont représentés les vecteurs annuels des hauteurs moyennes sur les différentes zones retenues. Il n'apparaît pas dans ces séries d'organisation interannuelle nette. Les cartes de la figure 8, obtenues à partir de l'étude en voisinage glissant, ne montre pas de différences réellement significatives de ce paramètre entre les années antérieures et postérieures à 1970.

Les moyennes et les écarts types mensuels de ce paramètres sont résumés dans le tableau 1 :

Tableau 1
Moyennes et écart type (mm) des hauteurs moyennes par événements

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Zone A	12.1	11.5	12.7	12.5	10.6	9.3
	2.5	2.6	2.1	2.2	1.8	3.3
Zone B	10.5	10.1	11.8	10.7	9.5	7.5
	2.5	1.8	2	1.4	1	1.9
Zone C	11.8	11.4	13	12.5	10.3	9.3
	2.3	1.7	2.2	2.1	1.6	2.9
Zone D	9.5	10.5	12.2	11.5	10.1	8.2
	2.6	2.4	2.9	2	2	3
Zone E	9.8	10.5	12.2	11.2	9.7	7.6
	2.1	2	1.6	1.7	1.7	2.9
Zone F	8	10.3	12.4	11.8	9.9	7.1
	2.6	2.2	2.3	2	2.3	2.5
Zone G	7.2	9.5	11.6	11.8	9.4	8.2
	3.5	3.6	2.6	2.3	2.4	2.3

Pour les mois situés au centre de la saison des pluies, les hauteurs par événement varient peu suivant les zones et sont comprises entre 12 et 13 mm avec un écart type voisin de 2,5 mm. Pour les mois de transition, les différences zonales sont plus marquées et les coefficients de variation sont partout plus élevés.

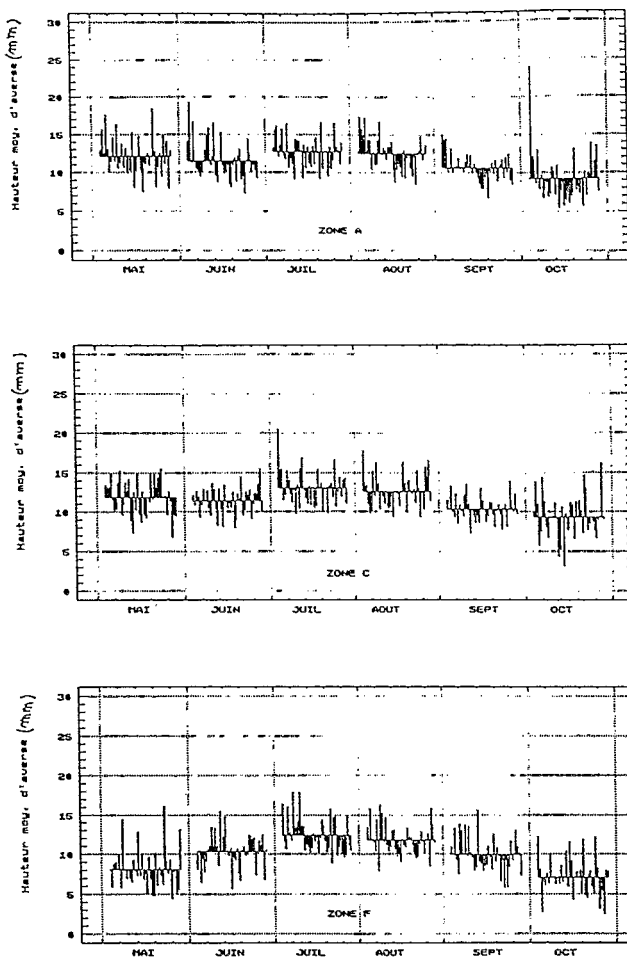


Figure 7 :
Évolution des vecteurs sur quelques zones.

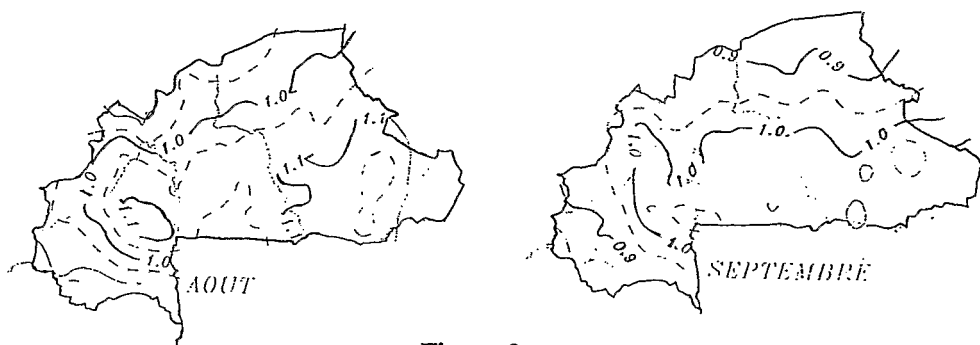


Figure 8 :
 $H. \text{ moy } (70-90) / H. \text{ moy } (50-70)$.

LES RÉSULTATS OPÉRATIONNELS

Ce sont, pour le Burkina, ceux que nous évoquons au paragraphe « les inférences : distributions des cumuls et des différents descripteurs des régimes pluviométriques ». Les résultats de cette étude faite au pas de temps mensuel, permettent de fournir aux aménageurs la quasi-totalité des paramètres pluviométriques qu'ils utilisent classiquement.

CONCLUSION

La démarche que nous avons présentée permet une description cohérente et efficace des régimes pluviométriques ponctuels. Elle permet aussi à partir des données journalières collectées sur les réseaux nationaux de remonter aux distributions caractérisant la succession temporelle et l'importance des événements pluvieux. Elle devrait donc faciliter le calage des modèles de répartition spatiale des pluies dès que ceux-ci auront été mis au point.

BIBLIOGRAPHIE

- BABUZIAUX C., 1969. Étude statistique de la loi des fuites. Thèse 3^e cycle.
- CARBONNEL J.-P., HUBERT P., 1992. Pluviométrie Afrique de l'ouest soudano-sahélienne. Remise en cause de la stationnarité des séries — in *Aridité une contrainte au développement*, Orstom, Paris : 37-51.
- ELGUERO É., LE BARBÉ L., 1992. Une approche probabiliste du Vecteur régional (Note interne) Orstom, Montpellier.
- LE BARBÉ L., 1988. Réflexions sur les méthodes des totaux annuels cumulés et du Vecteur régional appliquées au Sahel — (Note interne) — Orstom, Montpellier.
- LE BARBÉ L., 1993. Précipitations — Loi des fuites et estimations satellitaires (Note interne) Orstom, Montpellier.
- LEBEL T., SAUVAGEOT H., HOEPFFNER M., DESBOIS M., GUILLOT B., HUBERT P., 1992. Rainfall estimation in the Sahel : the Epsat-Niger experiment. *Hydrol. Sci. J. Sci. Hydrol.*, 37(3) : 201-215.
- NDOYE I.D., 1988. Étude fréquentielle comparative de quelques caractéristiques des averses en Afrique de l'ouest — Mémoire d'ingénieur de l'Eitarc.
- RIBSTEIN P., 1983. Loi des fuites - *Cah. Orstom, sér. Hydrol.*, XX, 2 : 117-145.
- TAPSOBA D., 1993. Contribution à l'étude des variations spatio-temporelles des précipitations au Burkina Faso à partir du modèle de la loi des fuites — mémoire de DEA-Université Paris XI Orsay.
- TAUPIN J.D., LEBEL T., CAZENAVE F., GREARD M., KONG J., LECOQ J., ADAMSON M., d'AMATO N., BEN MOHAMED A., 1991. Epsat-Niger Campagne 1992 Orstom et DMN.
- THAUVIN V., 1992. Étude de la répartition spatiale des précipitations en milieu sahélien à l'aide du réseau dense de pluviographes de l'expérience Epsat-Niger. Thèse Univ. Montpellier II.