

SUR LA PRÉDICIBILITÉ DES PLUIES AU NORDESTE, AU SAHEL ET AU NW DE L'INDE

Yves GALLARDO
ORSTOM/IFREMER, BREST

1. Introduction

Quand on passe des latitudes élevées aux faibles latitudes les tourbillons d'échelle moyenne, entrave à la prévision numérique, tendent à disparaître avec la diminution rapide de la composante horizontale de la force de Coriolis. D'autre part, la bande équatoriale joue un rôle de guide qui conserve longtemps une grande partie de l'énergie cinétique sous forme d'ondes piégées. Un résultat important est que la production d'anomalies thermiques se fait principalement à l'équateur, anomalies dues en partie aux fluctuations d'un champ de vents qui peut s'exercer très loin de celle des anomalies. Nos études dans la région maritime congolaise suggèrent que la variabilité thermique de la couche de surface est aussi liée à des structures du champ de vent au-dessus du golfe de Guinée.

Or, les cartes de *divergence* du vent à l'équateur, dans le golfe de Guinée (Hastenrath et Lamb, 1977) montrent une grande variation annuelle, mais aussi une analogie en hiver et en été due à l'apparition d'un maximum.

Est-ce que cette répétition des structures organisées en février et en juillet est un signe de prédictibilité des pluies d'été au Sahel ? Pour vérifier cette hypothèse nous utilisons les températures de surface (SST) d'une station côtière au sud de l'équateur susceptible de détecter une grande partie des variations de structure du vent équatorial dans le golfe de Guinée ; le résultat est probant : de 1953 à 1980 il apparaît bien une relation canonique entre les pluies d'été au Sahel, et les SST de janvier-février-mars d'une part, de juin-juillet d'autre part.

2. Philosophie de la méthode et concepts

Déjà dans l'introduction a été suggérée une prédictibilité potentielle liée à une certaine reproductibilité des structures du champ de vent (divergence) à l'équateur. Bien plus, il suffit d'examiner la cartographie planétaire (figure 1) des écarts de pluie 1970-72 à la «moyenne» 1931-60 pour se rendre à l'évidence qu'il existe une organisation spatiale et dans l'hémisphère nord et dans l'hémisphère sud :

pendant la sécheresse 1970-72 du NW de l'Inde, du Sahel, de l'Atlantique tropical nord et du sud des États Unis, il y avait une ceinture planétaire pluvieuse aux hautes latitudes de l'H.N. ; on remarquera surtout que l'océan Indien et le golfe de Guinée étaient très arrosés, alors qu'une très grande partie du continent africain, au sud de l'équateur, subissait aussi la sécheresse. Il faut noter aussi la présence de 2 structures au-dessus de l'océan Atlantique qui évoquent une interaction plausible avec la dérive N-atlantique (déficit de pluie) et avec le contre-courant équatorial (excès de pluie). Et enfin, les anticyclones de l'Atlantique paraissent bien centrés dans des déficits de pluie.

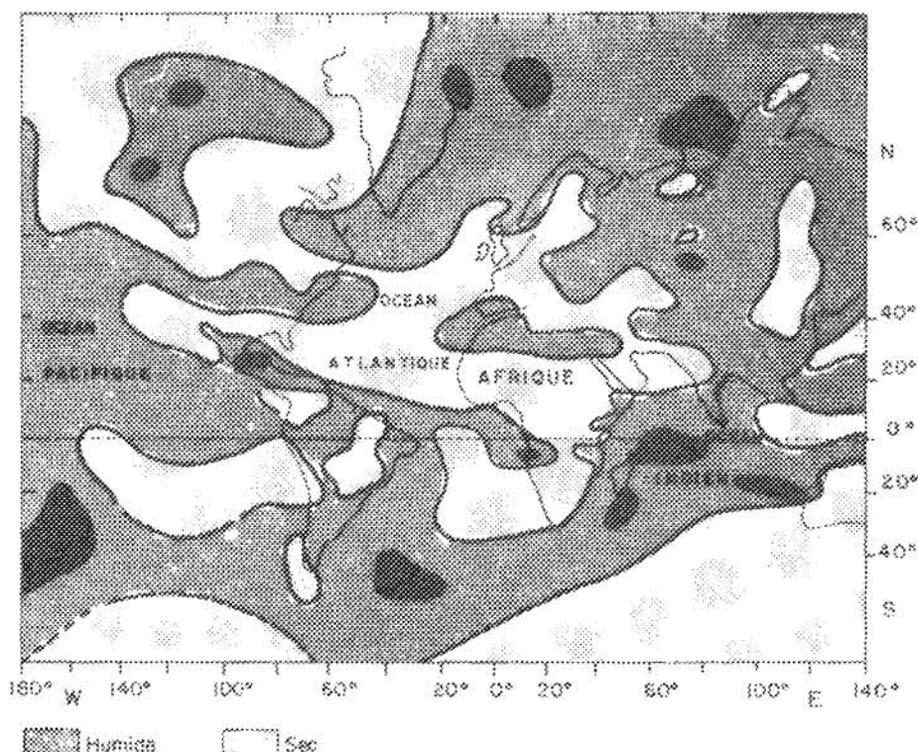


Fig. 1 - Cartographie des pluies 1970-72 rapportées aux moyennes 1931-60.
(Extrait de H.H. LAMB, Vol. II, p. 543).

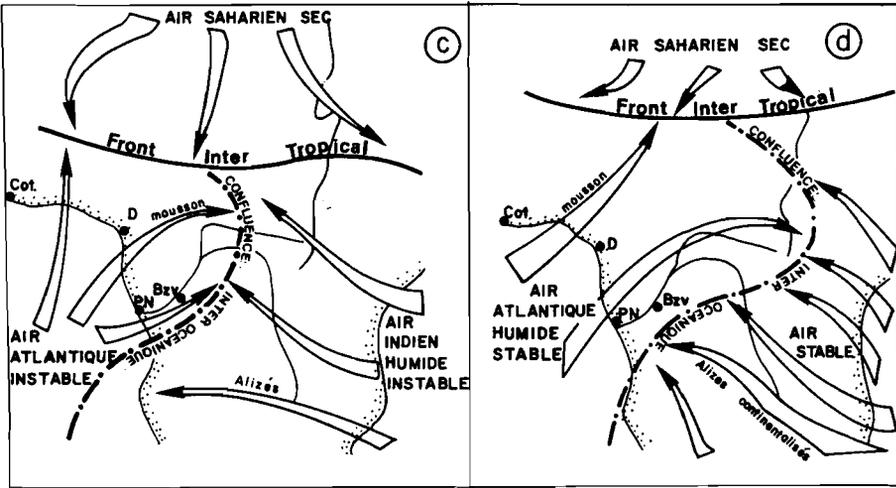


Fig. 2 - Le Front Intertropical (F.I.T.) et les confluences interocéaniques.

Situations moyennes en : Mars-Avril (c) / Juillet-Août (d)

Cot. : Cotonou – Bzv : Brazzaville – PN : Pointe-Noire.

La philosophie de la méthode est simple : utiliser l'information climatologique liée aux centres d'action de l'écéan Indien et de l'océan Atlantique puisqu'ils génèrent les différentes masses d'air venant s'affronter le long du front intertropical et des deux confluences interocéaniques (fig. 2). Un concept analogue, mais restreint à une région potentiellement prédictante au sud de l'équateur, le SW du Congo en l'occurrence, consistera à chercher des variables canoniques entre le présent et le futur, dans des séries de hauteurs de pluie de la mousson d'hiver ; ce concept s'appuie sur la nature organisée des pluies au Sahel, dont plus de 60 % est attribué à des lignes de grain très mobiles, à déplacement vers l'ouest et utilisant la convergence apportée par des ondes d'E. Les lignes de grains du sud du Congo sont moins fréquentes qu'au Sahel mais la durée très longue de la saison des pluies (8-9 mois) permettra d'extraire une information sur ces lignes de grain.

Le dernier concept cherchera à mettre en évidence l'aspect dynamique essentiel des interactions entre le champ des vitesses horizontales du vent, dont l'intensité d'évaporation E observée est un indicateur linéaire, et le champ des vitesses verticales vers le sommet des amas nuageux, assez correctement représenté par l'intensité P des précipitations. On définira un coefficient de rendement d'un système nuageux en pluie, ce coefficient diminuant avec l'intensification des subsidences associées à la divergence du vent en surface (cf. introduction). Ce coefficient de rendement, calculé sur la climatologie d'octobre à mai au Congo, sera assimilé lui aussi à une variable canonique entre le présent et le futur (pluie au Sahel).

3. Prédicants et résultats

3.1. Le premier prédicant est basé sur les déplacements et la variabilité des centres d'action formant l'environnement du Sahel. En fait, nous nous intéressons à la phase du changement saisonnier, c'est-à-dire du renversement de la circulation atmosphérique et/ou océanique, dont les effets apparaissent bien au mois de mai sur les séries thermiques dont nous disposons : températures de l'air à la côte congolaise, à l'île de la Réunion, pour les conditions au sud de l'équateur ; température de surface dans le golfe de Gascogne et température de l'air au sud de la Tunisie pour les conditions de l'hémisphère nord. Le coefficient de corrélation, calculé entre la somme algébrique des anomalies thermiques normalisées par leur écart-type et la série aj AFR 1953-79 extraite de Krauss (1977) est égal à $-0,65$.

3.2. Le deuxième prédicant, celui associé à une notion de rendement d'un système nuageux en pluie, a été calculé en décalant les deux séries d'intensité d'évaporation E et d'intensité des précipitations P avec des «pas» de 5 jours. On obtient chaque année pour des décalages -5 jours, $+ 5$ jours, 15 jours et 30 jours, des séries pluriannuelles de rendements en pluie qui constitueront par une multirégression linéaire un prédicant des hauteurs de pluie du Sahel. La prédiction s'est avérée très satisfaisante pour la forte sécheresse de 1984, seule fois où le prédicant a été mis à l'épreuve. Il nous reste beaucoup à approfondir, et physiquement et statistiquement, sur cette méthode complexe mais prometteuse.

3.3. Présentation détaillée d'un prédicant composé de hauteurs de pluie au Congo et au Bénin.

Nous exposerons en détail une méthode qui, actuellement, présente relativement aux 2 autres méthodes, l'avantage de la simplicité, d'une certaine rigueur statistique, et d'une interprétation physique tangible. Quoi qu'il en soit, il sera indispensable de contrôler les résultats de ce prédicant avec ceux des précédents, lorsqu'il sera question de faire une prévision des pluies au Sahel avec une avance de quelques mois. Simplicité, parce que l'on corrèlera des hauteurs de pluie entre elles ; une certaine rigueur statistique parce que l'on utilisera des stations éloignées (de part et d'autre de l'équateur) et aptes à fournir des régresseurs indépendants ; d'une interprétation physique tangible parce que, de par leur position géographique, certaines stations seront liées au FIT et d'autres à une confluence interocéanique ; de plus, l'examen d'une

série relativement longue de 39 années (1941-1979) permettra de mieux interpréter le rôle de l'océan équatorial sud, avec l'apparition remarquable d'une ZITC sud certaines années.

La méthode consiste à extraire une information intra-saisonnière dans des séries de pluie à Cotonou, Pointe-Noire et Brazzaville. Cette information doit fournir des variables canoniques entre le présent et le futur. Ces variables décriront à l'avance les fluctuations des différents fronts, confluences et des lignes de grain : ces dernières ne sont pas nécessairement dépendantes des discontinuités et des confluences interocéaniques car des perturbations mobiles peuvent être générées à l'intérieur d'une même masse d'air.

La construction du prédictant se fait en deux étapes :

. première sélection des régresseurs, multirégression linéaire.

On sélectionne les combinaisons linéaires simples des pluies mensuelles (D - J) et (F + M) à Brazzaville : x_2 et x_3

(S + O + N + D) à Cotonou : x_1

On contrôle que les distributions sont aléatoires par le test des «turning points» de Kendall (1975). Une multirégression linéaire est alors appliquée aux quatre vecteurs colonnes x_1 , x_2 , x_3 , y (estimateur de ajAFR).

$R^2 = 0,47$ $R = 0,69$ F (Snedecor) = 10,29

$Y = 1,44 x_1 + 2,35 x_2 + 2,24 x_3 - 129,4$

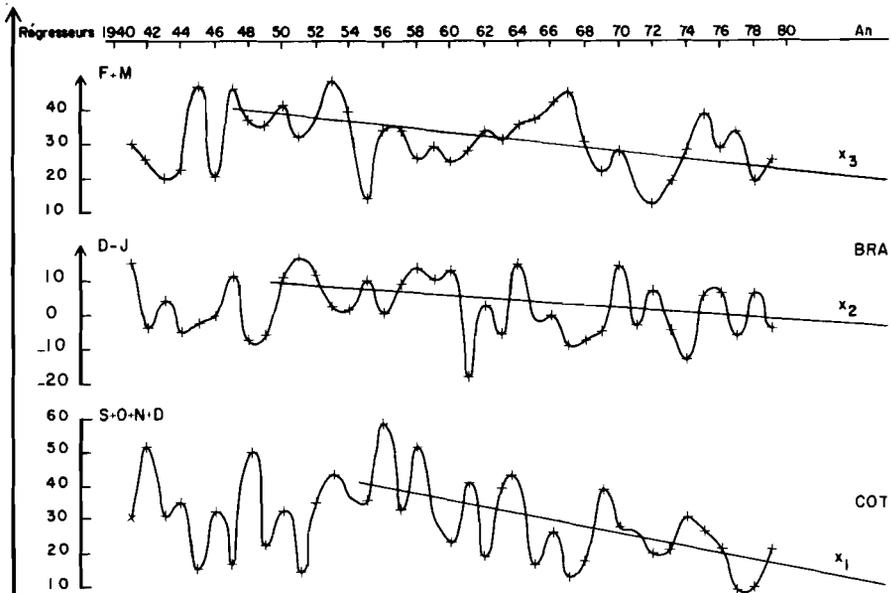


Fig. 3 - Graphe des 3 régresseurs x_1 , x_2 , x_3 constituant un prédictant ($R^2 = 0,69$) des pluies au Sahel.

Les trois séries temporelles de x_1 , x_2 , x_3 , (fig.3) entraînent les remarques suivantes :

- x_3 montre une tendance décroissante.
 - x_2 ne contient que des oscillations de 2 ou 4 ans et aucune tendance nette.
 - x_1 indique une décroissance des pluies depuis leur apogée en 1956.
- x_3 apparaît comme l'indicateur de la physique des lignes de grain associées à la dynamique des ondes d'E.
 x_1 représente les fluctuations du FIT d'altitude
 x_2 , le plus complexe, peut être un indicateur des oscillations quasi-biennales, dues à des rétroactions dans le système océan-atmosphère (BRIER, 1978)

Cette méthode est meilleure que celle de la persistance d'une année sur l'autre malgré la longueur remarquable des séquences de même signe : elle échoue 8 années sur 39 (21 % des cas) en prédisant le signe de l'anomalie de hauteur de pluie. La persistance échoue dans 28 % des cas.

4. Comparaison des séries du Sahel, du Nordeste et du NW de l'Inde

Les séries «Sahel et NW Inde» (Krauss, 1977) sont des écarts de hauteur de pluie à la moyenne 1941-75 normalisées par l'écart-type, et obtenues après pondération géographique. La série du Nordeste a été construite à partir des débits des mois de mars et d'avril des rios Jaguaribe et Quixeramorim, avec standardisation par le rapport des aires des bassins versants et enfin par le rapport de la déviation à la moyenne et de l'écart-type de la série obtenue.

– La sécheresse-persistante sur 4 années - la plus dure a été celle de 1951-1954 au Nordeste.

– les sécheresses sont moins persistantes sur le NW de l'Inde que sur le Sahel ou sur le Nordeste.

– Les sécheresses «planétaires» sont apparues en moyenne 1 fois sur 5, alors qu'il existe 8 combinaisons des 2 signes (+, -) 3 à 3.

– Les excès de pluie «planétaires» n'apparaissent que 2 fois.

– Comme les sécheresses «planétaires» tropicales ont une organisation spatiale (à l'exemple de 1971-72), on peut s'interroger sérieusement au vu du tableau I sur leur récurrence environ tous les 5-7 ans (vers 1911, 1918, 1925, 1932, 1937, 1941, 1948, 1955, 1960, 1966, 1971,...? En fait des résultats d'analyse spectrale sur les températures de l'air en Angleterre centrale, de 1660 à 1973 (GALINDO et OTAOLA, 1980) font apparaître des pics à 5,2 et 7,4 ans (qu'on peut considérer comme le troisième et le deuxième harmoniques d'un cycle d'activité solaire d'environ 22 ans).

Année	Nordeste	Sahel	NW Inde	Sécheresse «planétaire»	pluie «planétaire»	Nordeste Sahel
1941	—	—	—	oui		=
2	—	—	+			=
3	—	+	—			≠
4	—	—	+			=
5	—	+	+			≠
6	—	+	—			≠
7	+	—	—			≠
8	—	—	—	oui		=
9	—	—	—	oui		=
50	+	+	+		oui	=
1	—	+	—			≠
2	—	+	—			≠
3	—	+	—			≠
4	—	+	+			≠
5	—	—	+			=
6	—	+	+			≠
7	+	+	(—)			=
8	—	+	+			≠
9	—	+	+			≠
60	—	—	—	oui		=
1	+	—	+			≠
2	—	+	+			≠
3	+	—	—			≠
4	+	+	+		oui	=
5	+	+	—			=
6	—	—	—	oui		=
7	+	—	+			≠
8	+	—	—			≠
9	+	—	—			≠
70	—	—	+			=
1	—	—	—	oui		=
2	—	—	—	oui		=
3	+	—	+			≠
4	++	—	—			≠
5	—	(+)	+			≠

oui oui oui

Tableau I : Signes des anomalies normalisées des 3 séries

CONCLUSION

Il est possible à partir de l'information climatologique des vents (évaporation), des hauteurs de pluie et des températures de filtrer, sélectionner dans cette information des variables canoniques entre le présent et le futur. Il ne s'agit pas de faire une prévision détaillée de l'enchaînement des processus futurs mais de fournir par des méthodes statistiques connues, telle la multirégression linéaire, une climatologie moyenne avec une avance de quelques mois. La régression multiple n'est en fait qu'un cas particulier de l'analyse canonique. Nous pensons avoir fourni des arguments pour passer du savoir au savoir-faire, dont un critère d'efficacité relativement modeste résiderait à faire moins mal que le jeu de «pile ou face» et un critère d'efficacité plus probant à surpasser la règle de persistance. La mise au point de prédictants des pluies fournira un outil contribuant efficacement à une stratégie des moyens de développement.

Remerciements

Nous remercions M. SIRCOULON et M. PITON, tous deux scientifiques de l'ORSTOM, pour nous avoir fourni aimablement des séries climatiques de surface au Mali et au Congo.

BIBLIOGRAPHIE

BASS, J. 1962 : *Éléments de calcul de probabilités* MASSON et Cie 219 p.p.

BRIER, G. 1978 : The quasi-biennial oscillation and feedback Processes in the Atmosphere-Ocean-Earth System. M.W.R. 106, July, 938-946.

GALINDO et OTAOLA, 1980 : *Soleil et climat* — Journées d'études internationales CNES, CNRS, DGRST : 67,78

HASTENRATH S. et P.J. LAMB, 1977 : *Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans (97 CHARTS)*. The University of Wisconsin Press.

KENDALL (Sir Maurice), 1975 : *Time series*, Charles Griffin Co LTD, 197 p.p.

KRAUSS E.B., 1977 : *Subtropical Droughts and cross equatorial Energy transports*. M.W.R. 105, AUGUST : 1009.1018.

LAMB H.H., 1977 : *Climate, present pas and future* vol. 2 METHUEN Co LTD, LONDON. 835 p.p.