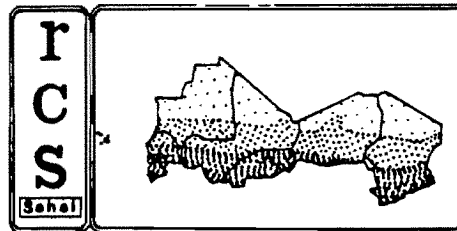


ORSTOM



Atelier de Formation aux Techniques d'Etude de l'eau dans le système Sol - Plante - Atmosphère

Mbour, 30 Novembre - 10 Décembre 1992

Cours d'hydrologie n°2

GENESE ET METHODES D'ANALYSE DES PRECIPITATIONS AU SAHEL

Par Honoré DACOSTA

GENESE ET METHODES D'ANALYSE DES PRECIPITATIONS AU SAHEL

Honoré DACOSTA

Assistant Dépt. Géographie, Univ. Cheikh Anta Diop

Chercheur associé, U.R. 2B, D.E.C. ORSTOM

Les précipitations représentent une réalité physique complexe, en raison des divers processus qu'elles mettent en jeu dans leur formation et leur répartition dans l'espace et le temps. Sous sa forme la plus courante, surtout liquide dans le Sahel, la pluie constitue un phénomène météorologique très banal qui ne suscite guère d'interrogations dans l'esprit du profane qu'en cas de déficit. Pour le physicien, elles expriment un stade, éphémère, du cycle de l'eau, celui de son retour au sol après un séjour atmosphérique plus ou moins long et aventureux. La formation de la pluie résulte de l'interaction de processus très divers et complexes dont certains demeurent imparfaitement compris. Il s'y ajoute la difficulté de son appréciation quantitative, problème météorologique lié à la mesure de toute grandeur physique. Il sera question dans cet article, non pas de la pluviogenèse, stricto sensu, clairement expliquée par Bergeron (1933), mais des facteurs contribuant à créer les conditions favorables pour les précipitations. On évoquera le problème d'échelle dans l'étude des précipitations.

I Les facteurs pluviogéniques au Sahel

1.1 Les grands traits de la circulation de l'atmosphère dans le domaine tropical

Les facteurs pluviogéniques au Sahel sont liés aux centres d'action qui rythment la circulation de l'atmosphère dans le domaine tropical. Elle dépend à la fois des Hautes Pressions Tropicales et de l'Equateur Météorologique dont les migrations saisonnières déterminent les caractéristiques des flux d'air et les types de temps résultants (fig.1).

1.1.1 En hiver boréal

L'Equateur météorologique, sous l'influence puissante de l'anticyclone des Açores et de la cellule maghrébine, migre vers le sud (4° nord). Se mettent alors en place deux circulations d'alizé, aux caractères différents, impulsées par les deux anticyclones et qui vont déterminer des temps différents sur le Sahel:

- l'alizé maritime, issu de l'anticyclone des Açores, de direction nord à nord-ouest, humide, frais et parfois froid, avec une faible amplitude diurne des températures. Ce flux intéresse particulièrement la côte. Malgré son humidité, il est inapte à engendrer des précipitations, du fait de la position trop basse de l'inversion d'alizé, due à la subsidence de l'air supérieur interne au flux. Cette inversion d'alizé sépare, sur les océans une strate inférieure d'air humide turbulent d'une strate supérieure d'air sec, stable et subsident qui tout en empêchant la déperdition de l'humidité dans la troposphère supérieure, s'oppose à la formation de nuages à grand développement vertical du type cumulonimbus (Leborgne J., 1988). Cet alizé est responsable de l'humidité, déposée la nuit, sous forme de rosée. Le domaine intéressé par cet alizé s'étend du sud marocain à la Grande Côte du Sénégal englobant l'archipel du Cap Vert.

- l'Harmattan, de direction Est dominante, est l'alizé continental saharien. Il se caractérise par une grande sécheresse, des amplitudes thermiques très accusées - frais la nuit, chaud ou torride le jour - et la "brume sèche" et les lithométéores. Sa sécheresse (humidité relative inférieure à 20% pendant la majeure partie de l'année) s'accompagne d'une très grande capacité évaporatoire. Ce flux intéresse l'ensemble du Sahel à l'exception de la frange côtière.

1.1.2 En été boréal

Le réchauffement de l'hémisphère nord, consécutif au mouvement zénithal du soleil, entraîne la mise

FIGURE 1: Schéma de la circulation générale de l'atmosphère

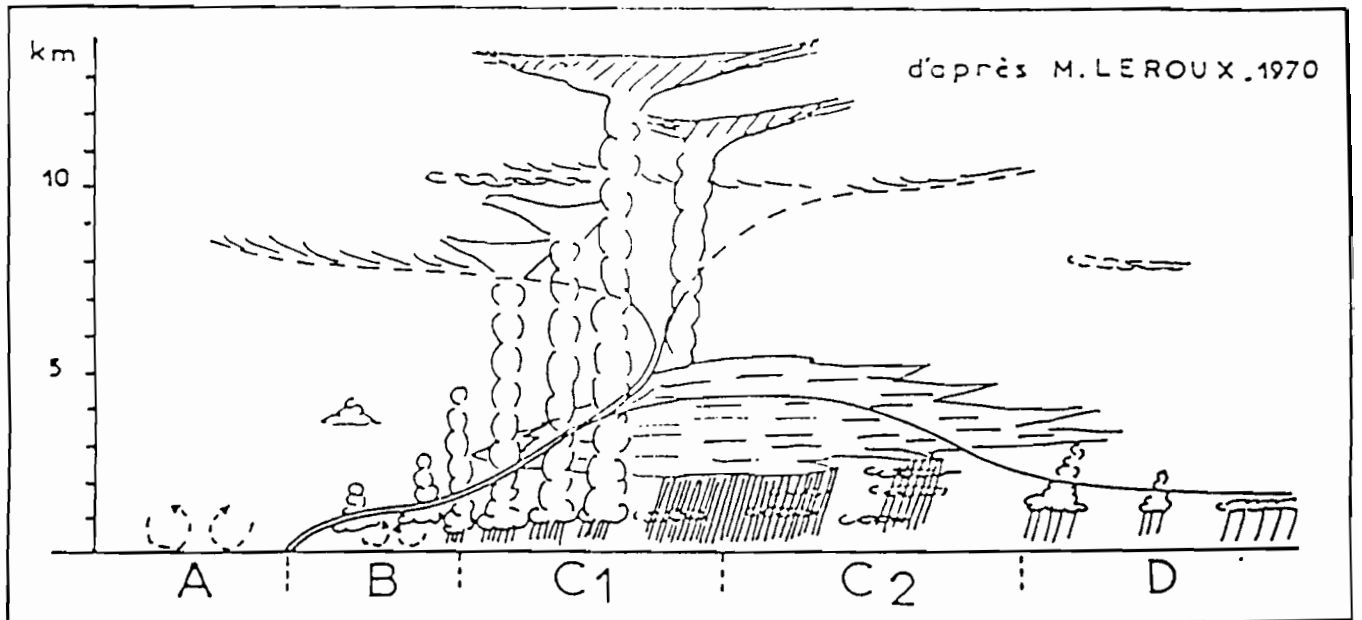
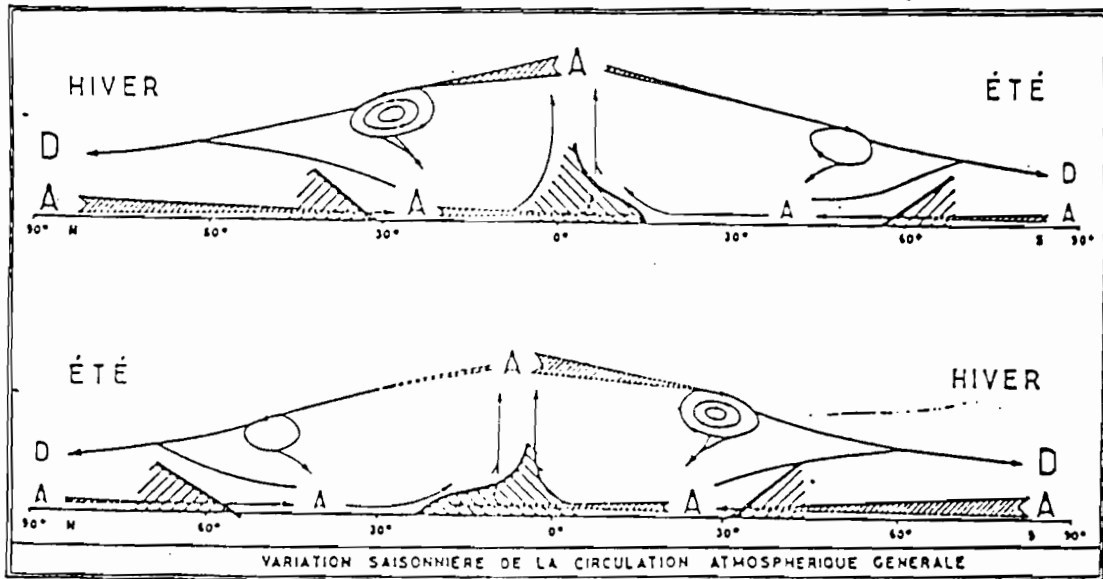
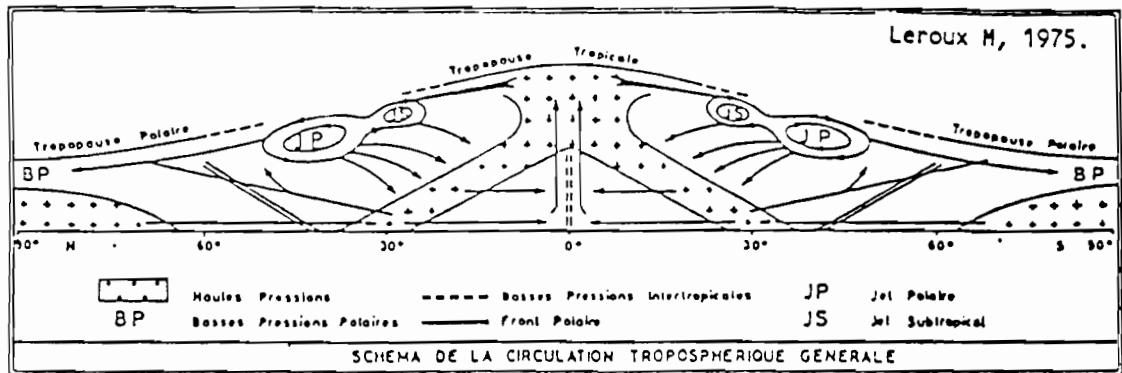


FIGURE 2: Coupe méridienne schématique de la troposphère

en place d'une dépression thermique très creuse au Sahara avec l'affaiblissement de l'anticyclone des Açores qui occupe une position septentrionale très marquée. Pendant ce temps l'anticyclone de Sainte Hélène, dont la puissance s'est beaucoup accrue du fait de la vigueur de l'hiver austral, opère une migration vers le nord entraînant celle du Front Intertropical (F.I.T) vers sa position extrême (20° N) en Août. La circulation des vents, jusque-là de direction nord, s'inverse et prend une direction sud-ouest avec le flux de mousson. Ce flux de mousson résulte en fait de l'alizé issu de l'anticyclone de Sainte Hélène et dévié en traversant l'Equateur. Son parcours maritime l'a chargé d'un grand potentiel d'eau précipitable. L'installation progressive du flux de mousson, son épaisseur et les perturbations qu'elle subit détermine les types de précipitations que connaît le Sahel.

Le sahel se trouve donc être un vaste domaine où se combattent la continentalité propagée par l'harmattan et l'océanité advectée par la mousson. Dans son déplacement vers le sud l'harmattan voit sa siccité atténuée par l'effet plus ou moins durable des précipitations et le maintien plus ou moins prolongé du couvert végétal. L'invasion du continent par la mousson s'accompagne inversement d'une continentalisation progressive en direction du nord. Ces gradients de décroissance de l'humidité expliquent la diminution des précipitations au fur et à mesure que l'on remonte vers le nord.

Cependant la nature et le type de flux ne renseignent pas sur la quantité des précipitations puisque les flux ne sont que des vecteurs d'eau précipitable. La connaissance des caractères et de la structure verticale des flux, en informant sur les prédispositions générales, ne rend que partiellement compte de la structure d'ensemble de la troposphère, et par conséquent de la distribution des conditions pluvio-géniques.

Le potentiel d'eau précipitable est encore conditionné par l'épaisseur de la tranche de l'atmosphère dans laquelle est emmagasinée la vapeur d'eau. Cette épaisseur dépend d'une manière générale de la stratification aérologique qui, en interdisant la dispersion vers le haut, favorise la concentration dans les basses couches; elle dépend aussi de l'intervention sur le continent de l'altitude de commandement du relief qui réduit d'autant l'épaisseur de la tranche humide advectée. Cette épaisseur, qui est fonction aussi de conditions stables comme le relief, est également soumise à une variation annuelle liée à la translation des centres d'action et de l'aire d'extension des flux vecteurs, en même temps qu'à une modification des conditions structurales qui favorisent ou contrarient l'utilisation du potentiel advecté.

1.2 Les types de pluies

A l'exception des pluies de "Heug" ou pluies des mangues dont les origines sont extratropicales (Seck A., 1962;) et qui sont insignifiantes dans le bilan hydrologique, on distingue essentiellement trois types de pluies en fonction à la progression du flux de mousson sur l'Afrique Occidentale (Fig. 2).

- la zone B se caractérise par des orages isolés qui se manifestent en avril-mai. Si leur existence ne peut être mise en doute, en revanche leur genèse reste un point de divergence entre météorologues et climatologues (Leroux M., 1983; Sagna P., 1988).

- la zone C₁ marquée par des orages organisés, appelés lignes de grains dont la formation et l'entretien sont liés aux noyaux anticycloniques mobiles polaires (flux d'Est) qui en sont le moteur et le flux de mousson (Leroux M., 1983; Sagna P., 1988). Le processus de formation des lignes de grains a été étudié dans le détail par Leroux M. et Sagna P.. Le passage d'une ligne de grains se manifeste par une accélération de la vitesse du vent (soulèvement de poussière et de sable), responsable souvent des dommages importants. L'importance climatique des lignes de grains n'est plus à démontrer puisqu'elles sont responsables de la plupart des pluies enregistrées au le Sahel. Le tableau 1 montre qu'à l'exception des stations littorales comme Dakar les lignes de grains représentent plus de 50 % des perturbations enregistrées. Bien entendu la formation d'une ligne de grain n'est pas forcément suivi de précipitations. Un relevé trihoraire effectué entre 1989 et 1992 a montré que les lignes de grains naissent entre 12 et 15 heures (concentration maximale à 15 heures) et disparaissent pendant la nuit, avec une durée de vie maximale se situant entre 13-18 heures.

Tableau 1: Pourcentage des averses orageuses pour quelques stations sahéniennes (Leroux M., 1980)

	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE
DAKAR	20	21	22	24	43	29
KAYES	50	82	65	52	51	50
GAO	50	67	81	68	45	67
ZINDER	68	77	75	55	65	50

- la zone C₂ dispense des pluies essentiellement non orageuses liées à la Zone Intertropicale de Confluence (Z.I.C.) de l'Equateur Météorologique qui représente à la fois "l'axe des Basses Pressions Intertropicales, l'axe de confluence des circulations issues des deux hémisphères, l'axe vers lequel s'annulent les mouvements subsidents et l'axe de concentration de la vapeur d'eau advectée sous les inversions (Leroux M., 1983). Les conditions dynamiques et énergétiques les plus favorables y sont réunies pour que se développent sans entrave les mouvements ascendants permettant la formation de nuages à grande extension verticale du type cumulonimbus. Mais la densité des formations nuageuses et l'activité pluviogénique dépendent directement de l'intensité des pulsations qui animent les flux.

Les pluies associées à cette partie active de l'Equateur Météorologique (F.I.T actif et Z.I.C) sont généralement continues et non orageuses. La densité de la couverture, la réduction de l'insolation et l'abondance des précipitations affectent fortement les températures. C'est ce rafraîchissement notoire, caractérisant cette période de la saison des pluies, qui associe dans le langage courant la notion "d'hivernage" qui évoque l'hiver dans sa signification thermique et non cosmique du fait de la sensation de bien-être qui accompagne le temps.

1.3 Variabilité des pluies dans le temps et dans l'espace

Le volume d'eau précipitée peut varier considérablement sur de faibles distances (de l'ordre de quelques kilomètres. Cefait d'observation soulève la question de la représentativité des mesures faites sur un site précis. A quel espace celles-ci peuvent-elles encore s'appliquer valablement? L'utilisation des donnée stationnelles conduit plus d'une fois à des généralisations abusives, d'autant plus imprudentes que la région estdu point de vue morphologie très contrastée. Les principaux facteurs qui conditionnent la répartition du volume précipité sont:

- Le potentiel hygrométrique de la masse d'air qui dépend de l'origine de celle-ci, de la trajectoire empruntée et de sa température.

- les conditions d'instabilité mettant en valeur ce potentiel. Ce sont essentiellement les divers mécanismes d'ascendance peuvent intervenir simultanément en renforçant les effets.

ces différents processus se manifestent sur des étendues allant de quelques milliers de kilomètres carrés à quelques centaines de milliers de kilomètres carrés . Au cours de leur déplacement leslignes de grains, par exemple, balaient des bandes étendues de largeur inégale. L'instabilité liée au passage des fronts dépend essentiellement de leur structure dont le cisaillement et des caractéristiques thermodynamiques des masses d'air en présence. Mais à l'échelle annuelle on a au Sahel une distribution très zonale des précipitations. Les figures 3 et 4 montrent la disposition des isohyètes annuelles et de la pluie décennale journalière.

FIGURE 3: Isohyètes interannuelles sur l'Afrique de l'Ouest (Leroux M., 1983).

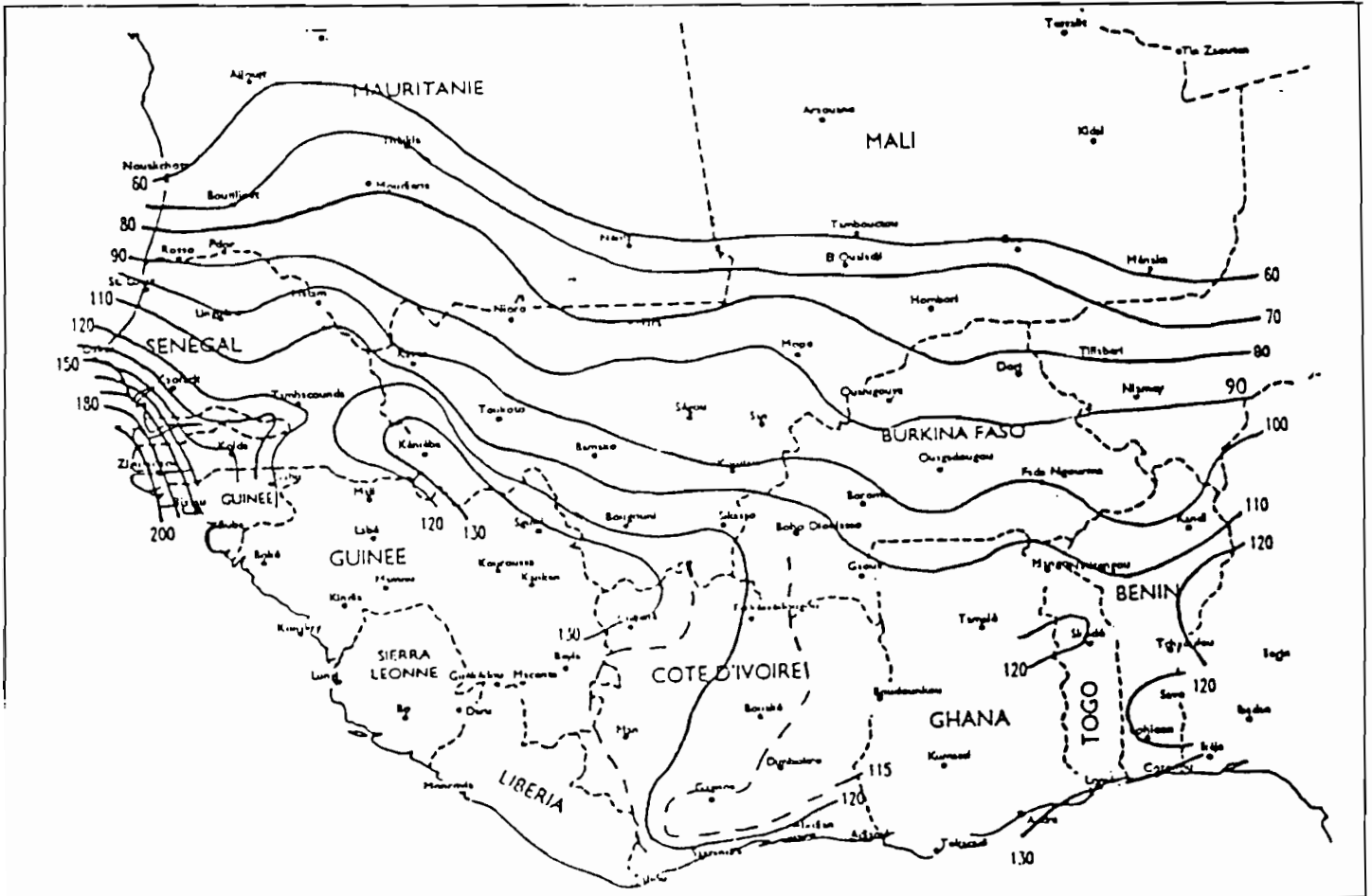
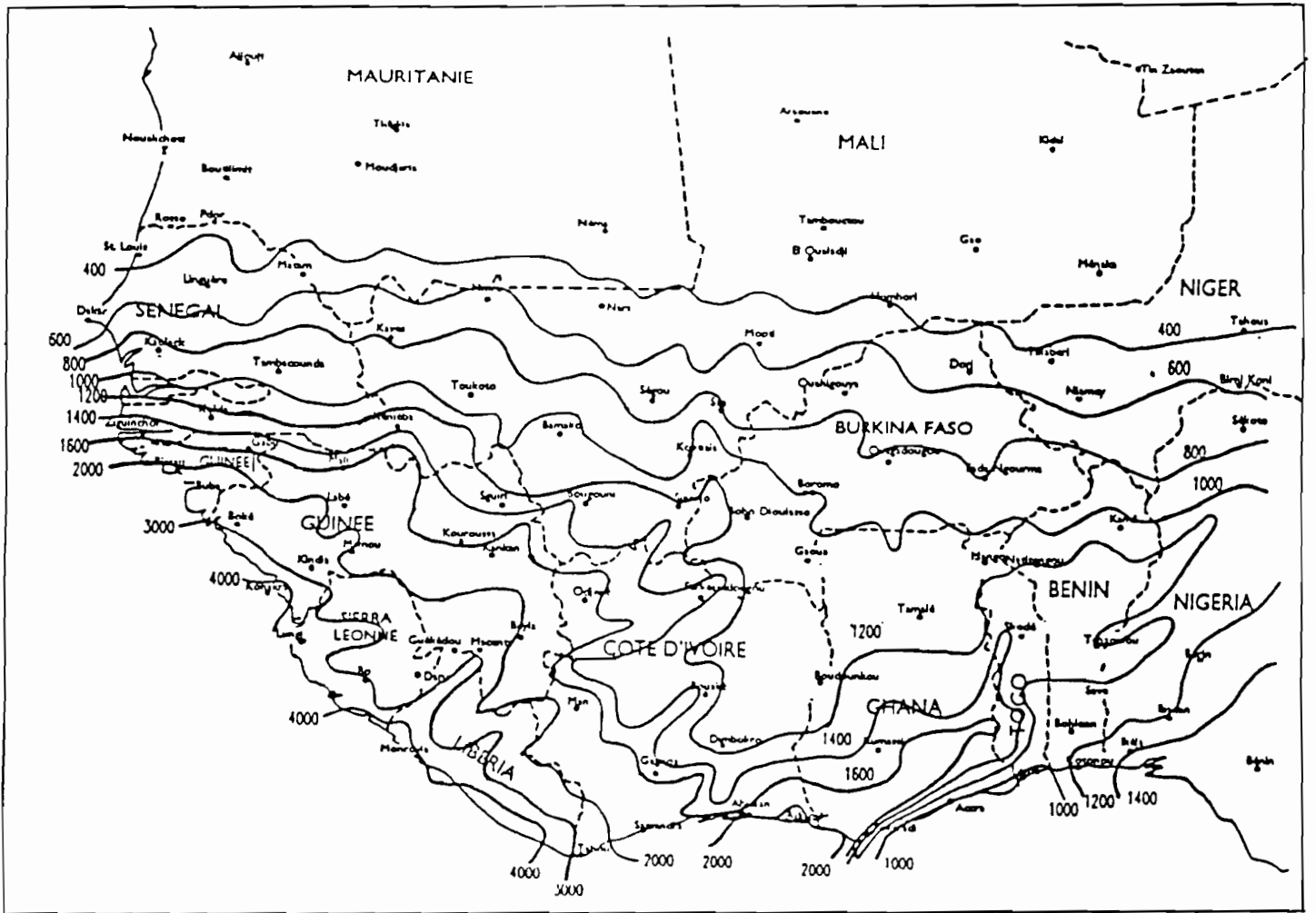


FIGURE 4: Isohyètes de la pluie décennale journalière en Afrique de l'Ouest (CIEH, 1985).

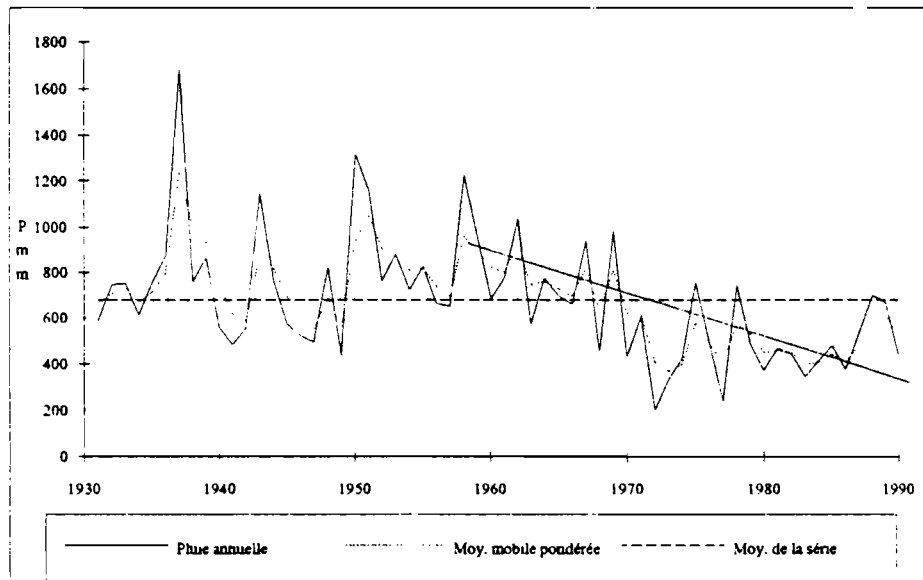
2. Etude de la pluviométrie: problème d'échelle

L'étude des précipitations peut se faire à diverse échelles: annuelle, mensuelle, décadaire, journalière et à l'échelle de l'averse. Nous considérerons tour à tour chacune de ces échelles en gardant présent à l'esprit que le choix d'une échelle est fonction du type d'étude envisagée et du niveau de précision recherché.

2.1 pluviométrie annuelle

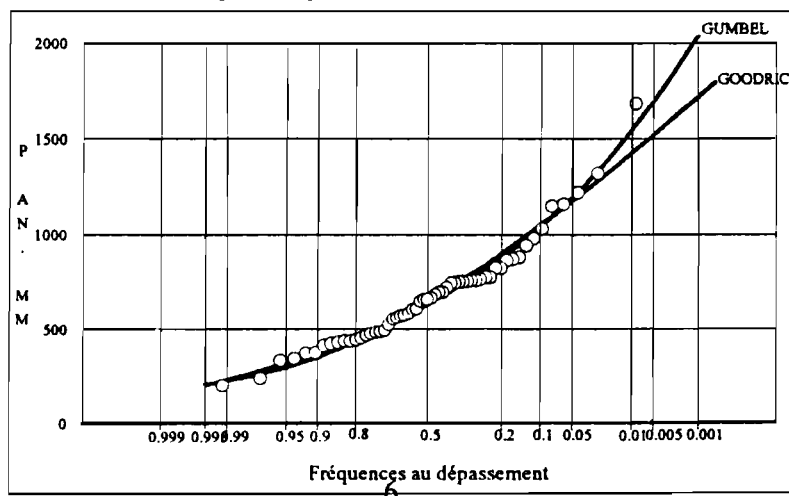
L'étude peut avoir pour but une simple description de la variabilité des pluies annuelles à une station et sa tendance dans le temps. Une représentation de la série chronologique peut généralement suffire. Nous donnons en exemple la variation de la pluviométrie annuelle observée à la station de Mbour depuis 1931 (fig. 5). On y distingue les grandes tendances de la pluviométrie durant les six dernières décennies et particulièrement la baisse systématique constatée depuis 1960. Il est possible de représenter autrement cette évolution en évaluant les écarts annuels par rapport à la moyenne en calculant la différence normalisée. On évalue ainsi en pourcentage les écarts à la moyenne interannuelle ce qui permet de mieux saisir l'importance de l'excédent ou du déficit pluviométrique enregistré au cours d'une année donnée.

FIGURE 5 - Variation de la pluviométrie annuelle à la station de Mbour de 1931 à 1990.



Mais une telle analyse peut paraître sommaire parce que l'on veut connaître en terme de fréquence ou de période de retour la distribution des précipitations d'une station. On procède dans ce cas à une étude statistique de la série chronologique observée. Il s'agira d'ajuster plusieurs lois statistiques à l'échantillon de pluies annuelles observées et à l'aide de tests d'adéquation (tests de Brunet-Moret, χ^2) retenir la meilleure loi.

FIGURE 6- Distribution statistique des pluies annuelles de Mbour (1931-1990)



Mais il est évident que l'on prêtera attention à la loi qui, le plus, prendra en compte les valeurs extrêmes, faibles ou fortes, de l'échantillon puisque ce sont en fait ces valeurs de fréquence rare que l'on cherche à connaître dans une étude de prévision. La figure 6 présente la distribution statistique des pluies annuelles de la station de Mbour. On a représenté deux lois ajustées à l'échantillon. Le tableau 2 donne les valeurs fréquentielles retenues (loi de Gumbel).

Tableau 2 - Valeurs fréquentielles de la pluviométrie annuelle de Mbour.

Fréquence	0.01	0.02	0.05	0.1	0.5	Moy.	E. T.	0.1	0.95	0.96	0.98	0.99
Période de retour	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	2 ans			10 ans	20 ans	25 ans	50 ans	100 ans
P. annuelles(mm)	228	263	320	377	634	678.1	274.4	1039	1193	1242	1393	1543

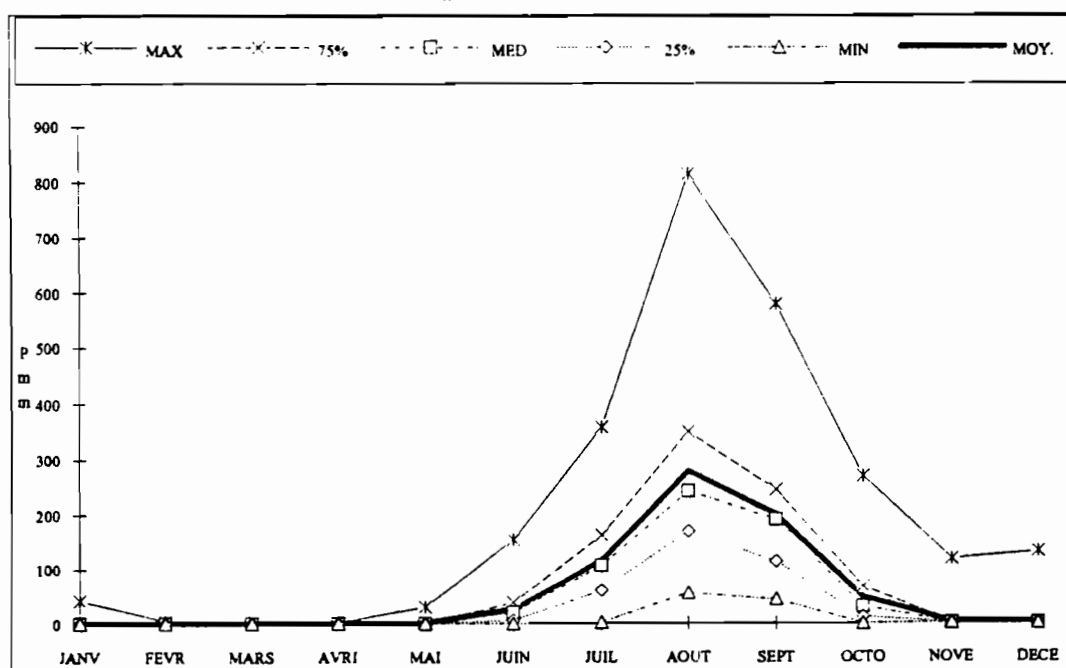
2.2 Pluviométrie mensuelle

L'analyse de la pluviométrie mensuelle se limite souvent à la détermination de la moyenne mensuelle interannuelle et au tracé des profils moyens résultants. Mais ce profil moyen cache toujours les disparités de la distribution mensuelle des précipitations d'une année à une autre. C'est pourquoi il est important de pousser cette analyse jusqu'à la détermination des quartiles (75 %, 50%, 25 %) en plus des valeurs maximale et minimale (Fig. 7). Bien sûr pour plus de précision on peut procéder à l'analyse statistique des pluies mensuelles des mois les plus importants (juillet, août et septembre) dans le cas d'études spécifiques. Le tableau 3 donne ces valeurs caractéristiques pour la station de Mbour.

Tableau 3 - Station de Mbour: quartiles ds pluies mensuelles.

	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
MAX	42.8	4.7	1	2.4	30.4	155	358	814	580	269	119	132
75%	0	0	0	0	0	38.85	163	350	245	68.3	0	0
MED	0	0	0	0	0	19.8	107	242	191	30.6	0	0
MOY.	1.0	0.3	0.0	0.1	1.1	26.5	116.3	278.4	200.3	48.0	2.9	3.4
25%	0	0	0	0	0	6.25	61	170	113.5	11.55	0	0
MIN	0	0	0	0	0	0	2.2	56.5	44.3	0	0	0

FIGURE 7 - Station de Mbour: distribution mensuelle des pluies.



2.3 Pluviométrie décadaire

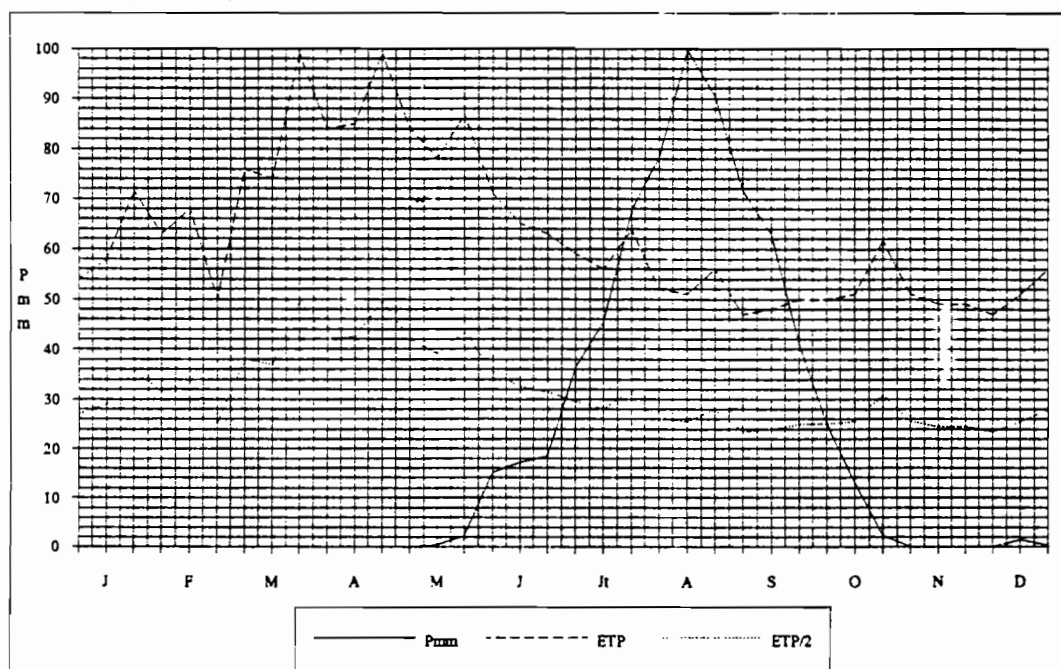
La pluviométrie décadaire est très utilisée dans les études agroclimatiques pour estimer la production des espèces végétales (HIERNAUX P., 1984). En effet il s'agit d'une échelle assez fine pour suivre le développement des espèces végétales. La comparaison de l'évolution de la pluviométrie décadaire et de l'évapotranspiration, calculée à la même échelle, permet de définir avec une bonne précision la longueur de la période durant laquelle les besoins en eau des plantes sont satisfaits et partant de déterminer les espèces végétales dont la longueur du cycle est comparable.

En prenant comme exemple la station climatologique de Nioro du Rip (Mbour est une simple station pluviométrique où les paramètres climatiques servant au calcul du bilan hydrique ne sont pas observés), on a comparé l'évolution de la pluviométrie moyenne décadaire (1970-1990) à celles de l'ETP et ETP/2. En effet divers auteurs (CORNET A., 1981; DOORENBOS J., KASSAM A. H., 1979) ont montré que la croissance de la strate herbacée est arrêtée ou ralentie quand l'évapotranspiration réelle (ETR) est inférieure au tiers de l'évapotranspiration potentielle (ETP). La figure 8 et le tableau 5 présentent les résultats d'une analyse.

Tableau 8 - Pluviométrie décadaire (mm) et évapotranspiration potentielle à la station de Mbour.

	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	TOTAL
P mm													
Décade 1	0	0	0	0	0.1	15.1	36.5	78.4	71.7	25.1	0	0	226.8
Décade 2	0	0	0	0	0.5	17.2	45.5	59.7	62.9	13.1	0	1.4	200.3
Décade 3	0	0	0	0	2.2	18.5	67.7	90.4	41.1	2.2	0	0.3	222.3
Total	0	0	0	0	2.7	50.8	149.7	228.5	175.7	40.3	0	1.8	649.5
ETP	183	186	254	258	248	198	180	158	144	161	150	155	2275
ETP/2	91.5	93	127	129	124	99	90	79	72	80.5	75	77.5	

Figure 8 - Variations moyennes décadaires de la pluviosité et de l'évapotranspiration potentielle (Penman).



La figure 8 montre que la saison des pluies peut être divisée, en termes de satisfaction des besoins en eau des plantes, en diverses phases:

- Phase 1 : P est inférieure à $ETP/2$: période défavorable aux végétaux, surtout en début d'hivernage (mois de juin - 5 juillet),

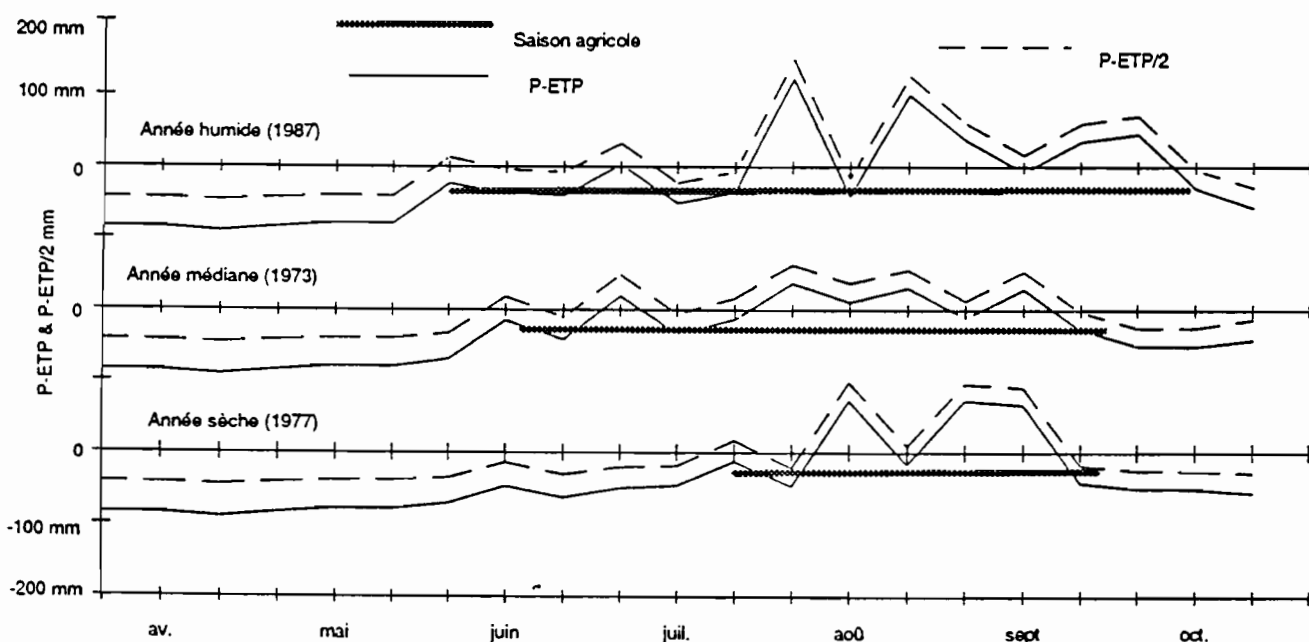
- Phase 2 : $ETP < P < ETP$: période "semi-humide" dite saison culturale (FRANQUIN P. *et al.*, 1988) allant du 6 au 26 juillet soit 20 jours),

- Phase 3 : $P > ETP$: période "humide" durant laquelle les végétaux ne subissent plus de contraintes hydriques (du 27 juillet au 26 septembre soit 61 jours).

Au-delà du 26 septembre le déficit hydrique est compensé par les réserves du sol. Cette période coïncide avec la maturation des cultures. A l'intérieur des phases 2 et 3 les interruptions longues des pluies peuvent avoir des conséquences catastrophiques pour les cultures comme cela a été constaté au Sine Saloum en 1984 (DACOSTA H., 1992).

Il est possible aussi d'étudier la durée de la saison des pluies et la caractériser en termes de fréquences et déterminer pour des périodes de retour particulières sa longueur. On obtient pour la station de Nioro du Rip 70 jours en année décennale sèche, 110 jours en année médiane et 160 jours en année décennale humide (Fig.9).

FIGURE 9 - Définition de la saison agricole dans le Sine Saloum (Station de Nioro du Rip).



2.4 Pluviométrie journalière

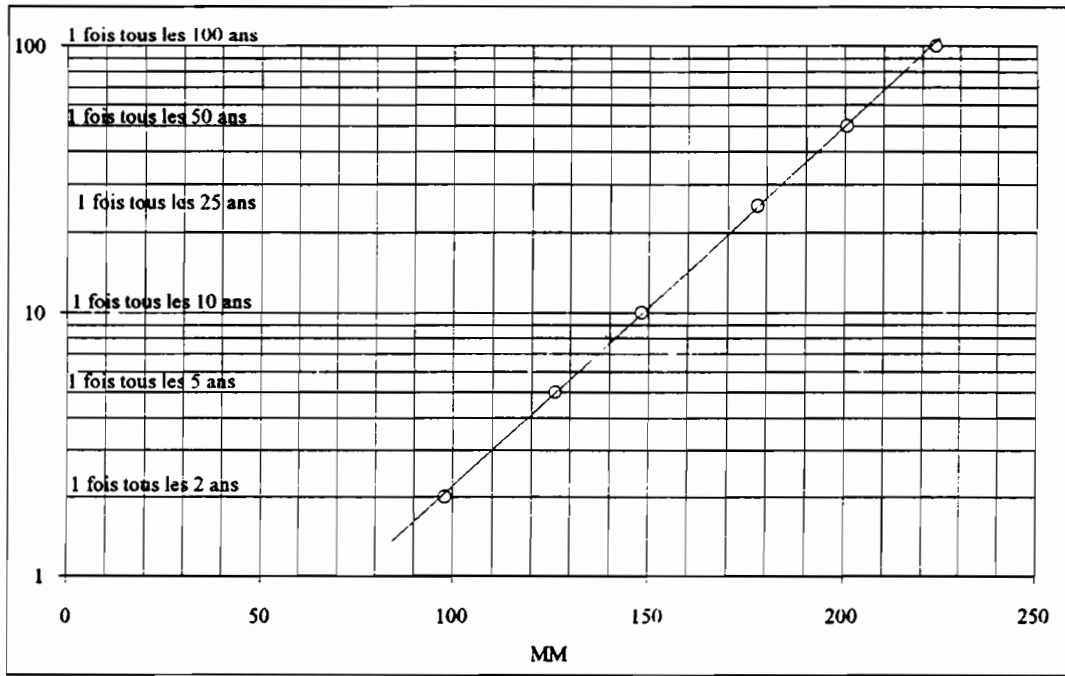
La pluie journalière est le pas de temps habituel des relevés pluviométriques (exception faite des pluviomètres totalisateurs installés dans des endroits d'accès difficile). Il en résulte des chroniques journalières dont l'étude est d'un grand intérêt dans la conception des ouvrages d'art (ponts routiers, barrages, digues en microhydraulique rurale) mais aussi en hydrologie urbaine.

On procède généralement à une analyse statistique de ces pluies journalières en leur ajustant la loi de Pearson III tronquée. On obtient des hauteurs récurrentielles journalières allant de l'averse de fréquence médiane à l'averse de récurrence centennale. Nous donnons en exemple les résultats de l'analyse statistique des pluies journalières de la station de Mbour (tableau 4). Il est possible d'obtenir un ajustement graphique de ces valeurs récurrentielles sur un graphique bi-logarithmique (fig.10).

Tableau 4 - Station de Mbour: hauteurs récurrentielles des pluies journalières.

Période de retour	2 ans	5 ans	10 ans	25 ans	50 ans	100 ans
Hauteur mm	98	126.1	148.1	177.7	200.5	223.5

FIGURE 10 - Station de Mbour: Distribution statistique des pluies journalières.



Si une telle étude permet de connaître les valeurs prédites pour une période de retour donnée, elle ne nous renseigne pas sur la structure même de l'averse c'est-à-dire la variation de son intensité dans le temps, donnée extrêmement importante dans le dimensionnement des réseaux d'assainissement urbain et des ouvrages hydrauliques. Une telle information est extrêmement importante en matière d'agronomie car l'intensité de la pluie conditionne l'infiltration de l'eau dans le sol, tout en étant un facteur déterminant dans le déclenchement du processus de l'érosion, comme en témoigne la place qu'on occupe ce paramètre dans le calcul des indices d'érodibilité de Wischmeier.

Les enregistrements pluviographiques permettent d'avoir la variation des intensités de la pluie en fonction du temps selon un pas de temps bien défini en fonction des objectifs de l'étude. La figure 11 présente les hyétogrammes des averses du 2 juillet et 24 août 1983 à la station de Ndianguène, sur le bassin versant expérimental de Thyssé Kaymor. Ces hyétogrammes montrent comment la structure des averses peuvent aller du plus simple au plus compliqué.

FIGURE 11a - Station de Ndianguène: Hyétogramme de l'averse du 2 Juillet 1983.

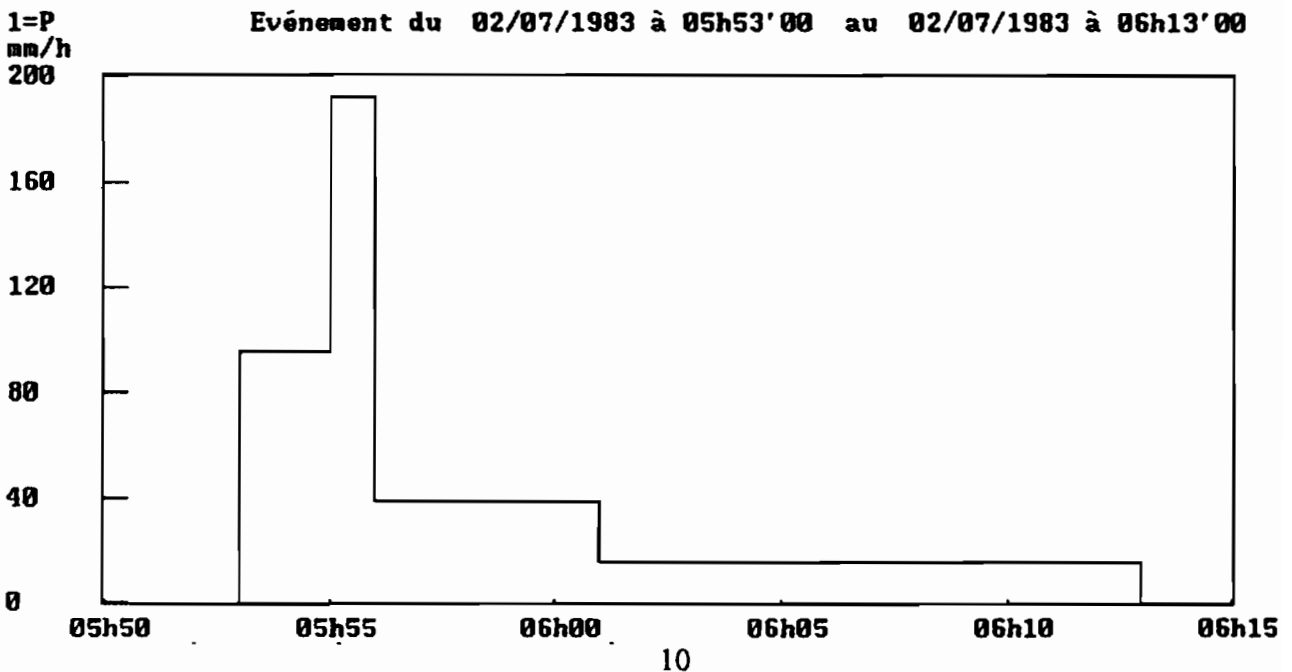
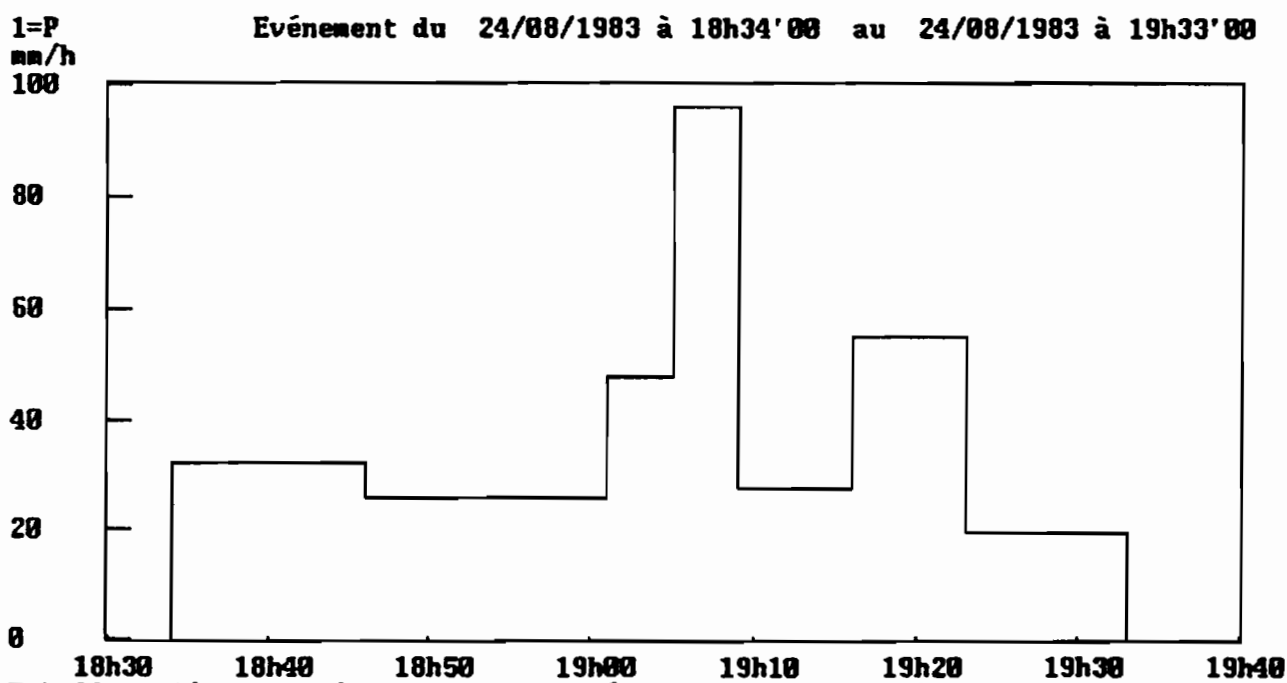


FIGURE 11b - Station de Ndianguène: Hyétogramme de l'averse du 24 Août 1983



Une étude détaillée portant sur les intensités des averses en Afrique de l'Ouest a été faite par BRUNET-MORET qui a établi des courbes intensités-durées-fréquences pour la plupart des pays du Sahel.

CONCLUSION

Les méthodes d'analyse des précipitations sont fonction des préoccupations de l'utilisateur de l'information pluviométrique. Aussi cette communication est loin d'avoir recensé toutes les démarches susceptibles d'être utilisées pour étudier aussi bien les mécanismes, les modalités de la distribution spatiale que les caractéristiques centrales des précipitations au Sahel. Elle met en évidence des méthodes simples, faciles à mettre en oeuvre pour évaluer, à la fois l'importance, la variabilité des précipitations, et rechercher les valeurs fréquentielles des précipitations.

BIBLIOGRAPHIE

- BERGERON T., 1933 - on the physics of clouds and precipitation. Proc. 5th Assembly, U.G.G.I., Lisbonne.
- CORNET A., 1981 - Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal. Thèse de Docteur-Ingénieur, Univ. Sciences et Techniques du Languedoc, 353 p.
- DACOSTA H., 1989 - Précipitations et Ecoulements sur le bassin de la Casamance. Thèse de doctorat 3ème cycle, Fac. Lettres et Sc. Humaines, Univ. Cheikh Anta Diop Dakar, 278 p.
- DACOSTA H., 1992 - Economie de l'Eau - DRS sur les bassins versants de Thyssé Kaymor. Synthèse hydrologique 1983 - 1988. Rapport ORSTOM Dakar-Hann, 126 p.
- DOORENBOS J., KASSAM A.A., 1979 - Yeld responses to water; Irrigation and drainage paper, n° 33, FAO, Rome, 193 p.

- FRANQUIN P., DIZIAN R. et al, 1988 - Agroclimatologie de la Centrafrique. Edit. ORSTOM, IDT n° 71, 522 p., Paris.
- HIERNAUX P., 1984 - Distribution des pluies et production herbacée au Sahel: une méthode empirique pour caractériser la distribution des précipitations journalières et ses effets sur la production herbacée. Premiers résultats acquis dans le sahel malien. CIPEA, Bamako, rapport mult., 46 p.
- LEBORGNE J., 1988 - La pluviométrie au Sénégal et Gambie. Laboratoire de Climatologie, Dépt. Géographie, Fac. Lettres et Sc. Humaines, Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, 94 p.
- LEROUX M., 1983 - Le climat de l'Afrique Tropicale. 2 vol., 650 p., 351 fig., + atlas 250 cartes, Edit. Champion, Paris.
- SAGNA P., 1988 - Etude des lignes de grains au Sénégal. Thèse de 3ème cycle de géographie, Fac. Lettres et Sc. Humaines, Univ. Cheikh Anta Diop Dakar, 2 tomes, 440 p.
- SECK A., 1962 - Le "Heug" ou pluie de saison sèche au Sénégal. Ann. de Géographie, n° 385, pp. 225-246.

HAUTEURS DE PLUIE MENSUELLE

STATION 138 00181 00	MBOUR					SENEGAL								TOTAL
	ANNEE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	
1931	-	-	-	-	-	-	56.1	135.5	83	289	22	0	0	-585.6
1932	0	0	0	0	0	0	74	59	415	183	14	-	-	-745
1933	0	0	0	0	0	0	47.3	130	271.3	114.5	68.5	119	0	750.6
1934	0	0	0	0	0	0	21	90.5	274	212	13	0	0	610.5
1935	10	0	0	0	0	0	39	193	338.5	118	55	0	0	753.5
1936	0	0	0	0	0	0	82.5	118.5	355	280	27	6	0	869
1937	0	0	0	0	0	0	4	107	814	538	218	0	0	1681
1938	0	0	0	0	0	0	0	141.1	255.3	235.3	125.3	0	0	757
1939	0	0	0	0	0	3.5	9.2	178.6	420.3	171.1	81.7	0	0	864.4
1940	0	0	0	0	0	0	21.8	65.4	309.3	85.8	78.7	0	0	561
1941	0	0	0	0	0	1.7	3.6	28.7	56.5	381.7	13.3	0	0	485.5
1942	0	3.7	0	0	0	0	17.8	39.8	398.1	64	29	2.3	0	554.7
1943	0	4.2	0	0	0	19.3	23	270.7	358.7	233.4	104.6	0	131.7	1145.6
1944	0	0	0	0	2.4	0	5.5	38.2	338.4	338.8	39.4	0	1.1	763.8
1945	0	0	0	0	0	0	19.8	116.2	138.2	245	54.5	0	0	573.7
1946	0	0	0	0	0	0	0.6	94.6	224.2	130.6	74	-	-	-524
1947	0	0	0	0	0	0	0	68.1	127.8	247.5	51.6	0	0	495
1948	0	0	0	0	0	0	60.7	185.3	496.7	44.3	34.9	0	0	821.9
1949	0	0	0	0	0	0	3.8	104.6	202.5	98.8	20.8	0	6.7	437.2
1950	0	0	0	0	0	0	15.7	106.9	584.4	579.7	30.6	0	0	1317.3
1951	0	0	0	0	0	0	12.8	124.9	376	367.9	269.3	6.5	0	1157.4
1952	0	0	0	0	0	30.4	64	134.7	207	244.6	79.4	0	0	760.1
1953	0	0	0	0	0	0	10.8	153.1	242.4	349	126.6	0	0	881.9
1954	0	4.4	0	0	0	0	25.5	184.9	344.5	162	0	0.7	0	722
1955	0	0	0	0	0	0.8	35.6	257.9	295.9	229.5	4.8	0	0	824.5
1956	0	0	0	0	0	0	58.5	168.2	171.5	201.8	32.2	0	29.2	661.4
1957	0	0	0	0	0	0	56.7	88.5	169	244.5	81.1	0	9	648.8
1958	0	0	0	0	0	0	30.4	157.2	617.9	215.3	196.7	6.4	0	1223.9
1959	0.3	0	0	0	0	5.5	-	72.6	204.2	97.3	0	-	-	-379.9
1960	0	0	0	0	0	0	12.3	158.7	287.4	217	8.3	0	0	683.7
1961	0	0	0	0	0	-	37.8	285.1	241.6	208.8	1.7	0	0	-775
1962	0	0	0	0	0	0	24.4	64.1	791.2	86.9	68.1	0	0	1034.7
1963	0	0	0	0	0	0	17.6	84.7	182.8	200.6	86.9	0	0	572.6
1964	1.4	0	0	0	0	0	7	358.1	253.2	154.2	0	0	0	773.9
1965	0	0	0	0	0	0	18.4	109.7	303.2	258.2	8.4	0.5	0	698.4
1966	0	0	0	0	0	0	47.7	2.2	212.9	290.5	98.9	0	7	659.2
1967	0	0	0	0	0	0	16.5	115.9	447	296.9	64.9	0	0	941.2
1968	0	4.7	0	0	0	0	12.9	171	69.9	159.3	33.9	0	0	451.7
1969	0	0	0	0	0	0	0	215.7	360	343.9	60.4	0	0	980
1970	0	0	0	0	0	0	21.3	57.1	240.9	98.7	11.8	0.4	0.2	430.4
1971	0	0	0	0	0	0	25.6	143.3	232.9	191.1	12.8	0	0	605.7
1972	0.2	0	0	0	0	0.2	31.4	8.4	96.4	50.7	10.7	0	0.3	198.3
1973	0	0	0	0	0	0	38.7	63	128.8	75.1	28.4	0	0	334
1974	0	0	0	0	0	0	0	78.1	239.5	79.1	27.1	0	0	423.8
1975	0	0	0	0	0	3	0	237.9	311.3	165.9	36.7	0	0	754.8
1976	0	0	0	0	0	0	5.1	29	228.3	195.2	-	0.9	2.2	-460.7
1977	0	0	0	0	0	0	2.7	17.2	74.2	133	6	0	4.1	237.2
1978	0	0	0	0	0	0	14.3	166.8	280.1	226.4	33	23.1	0.2	743.9
1979	42.8	0	0	0	0.9	0.3	155.1	31.7	167.6	77.9	10.5	0	0	486.8
1980	0	0.7	0	0	0	2.8	0.1	48.4	116	197.4	5.9	0	0.4	371.7
1981	0	0	0	0	0	0.4	23.7	90	235.9	109.3	8.1	0	0	467.4
1982	0	0	0	0	0	0	0.2	118.6	189.7	111.6	22	0	0	442.1
1983	0	0	1	0	0	0	43.5	13.4	191.1	94.9	0	0	0	343.9
1984	0	0	0	0	0	0	42.9	74.6	112.2	172	12.3	0	0	414
1985	1.2	0	0.1	0	0	0	30.8	81	170.8	174.8	13.9	0.2	5.7	478.5
1986	0	0.2	0.1	0	0	0.1	0	16.3	104.9	216.1	36.4	0	0	374.1
1988	0.8	1.5	0	0	0	4.7	19.7	24.7	473	167	5.8	0	0	697.2
1989	0	0	0	0	0	0	52	201.4	311.1	91.7	11.3	0	0	667.5
1990	2	0	0.8	0	0	0	7.8	46.6	156.4	158.1	65.3	0	0	437
MOY.	1	0.3	0	0.1	1.3	26	114	276.3	198.4	47.2	3	3.5	671.1	
N.ANNEES	58	58	58	58	57	58	59	59	59	58	56	56		