

1

The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987). IAHS Publ. no. 168, 1987.

Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface — Application aux petits bassins du Burkina Faso

Jean Albergel
Hydrologue UR B12
ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie
Miniparc Bât.2, Rue de la Croix Verte
34100 Montpellier, France

RESUME L'étude des conséquences de la sécheresse sur les écoulements des petits bassins versants d'Afrique soudano-sahélienne nécessite la constitution de chroniques de ruissellement. A cet effet, un modèle pluie-lame ruisselée a été mis au point et appliqué sur deux bassins de quelques dizaines de km². Ce modèle est basé sur la cartographie des états de surface qui ont évolué sous l'effet conjugué de la modification climatique et de l'extension des surfaces cultivées. Les séries ainsi obtenues pour la période humide 1950-1968 et la période sèche 1969-1984 ont pu être comparées. Il en ressort que les conditions de ruissellement favorisées par une dégradation des bassins dans la seconde période compensent globalement le déficit pluviométrique. Ponctuellement un événement pluviométrique fort qui a la même probabilité d'occurrence avant et après 1969 engendre une crue plus forte dans la période actuelle.

Mots clefs:

Sahel, Bassin Versant Experimental, sécheresse, états de surface, ruissellement.

ABSTRACT A chronological succession of runoff events was built in order to study the effect of the drought on the runoff of small watersheds in sahelian Africa. To fulfill that aim, a specific rainfall-runoff model was derived. This model is based on the mapping of superficial soil features and on the related rainfall-runoff relationships derived from rainfall simulation experiments. It was applied to two small catchments (22 and 54 sq.km) in Burkina Faso. Superficial soil features have evolved along with natural climatic changes and also with changes in land use. The runoff time series obtained for the humid period 1950-1968 and for the dry period 1969-1984 were compared. In the dry period, more favorable conditions for runoff make up for the rainfall deficit, so that globally the runoff distribution remains unchanged. A strong rainfall which has the same probability to occur in the two periods, produces a larger flood at the present time.

ORSTOM Fonds Documentaire

19 JUIN 1989 N° : 26.482.261 355

Cote : B M P172

Key Words

Sahel, experimental catchment, drought, superficial soil features, runoff.

Introduction

Les très forts déficits pluviométriques des années 1983 et 1984 sur l'ensemble de la zone sud sahélienne de l'Afrique ont révélé qu'après les sécheresses de 1972-1973 la région soudano-sahélienne n'a pas retrouvé la pluviosité qu'elle connaissait dans les années antérieures. De nombreuses études concordent pour dire que la période 1969-1984 se caractérise par un affaiblissement des totaux pluviométriques jamais encore observés, tant par son intensité, sa persistance et son extension géographique (Nicholson 1984, Albergel *et al.* 1984, Snidjers, 1986). Les saisons des pluies 1985, 1986 "normales" pour une majorité des stations ont été déficitaires dans de vastes régions et ne permettent pas d'affirmer le retour à une période plus clémente.

Les conséquences sur les grands systèmes hydrologiques ont été impressionnantes et relatées tant par des scientifiques que par les médias:

- Effondrement des débits des grands fleuves comme le Senegal (Olivry, 1983), le Niger (Billon, 1985) ou l'ensemble des grands cours d'eau tropicaux (Sircoulon, 1986).

- Le bouleversement des systèmes lacustres; lac Tchad, delta intérieur du Niger (Sircoulon, 1985).

- La baisse généralisée de tous les aquifères importants (Leusink et Tyano, 1985).

L'analyse des régimes hydrologiques de cours d'eau moins importants (bassins versants de 1000 à 5000 km²) a démontré que la sécheresse climatique a eu des répercussions bien moins importantes sur le fonctionnement de ces systèmes: pas de modifications significatives dans les chroniques de modules annuels ou de modules journaliers maximum, (Pouyaud, 1985).

Pour l'ensemble des petits bassins, taille inférieure à 1000 km², le manque de données sur les débits ne permet pas de faire le même genre d'étude. Rappelons cependant que des crues ponctuelles causaient des dégâts dans une ville, comme Gorom-Gorom le 29 et 30 septembre 1984 ou emportaient des ouvrages sur des bassins versants de surface inférieure à 100 km², barrage de Zamse au sud de Ouagadougou à un moment où l'attention était plutôt polarisée sur des problèmes de manque d'eau. Après avoir rappelé les principales caractéristiques pluviométriques de la période 1969-1984, cet article tente d'analyser les répercussions de cette sécheresse sur le fonctionnement des bassins versants de petites dimensions: de quelques km² à 200 km².

Principales caractéristiques des pluies durant la période 1969-1984

Snidjers (1986 *op.cit*) démontre la non stationarité de la série des totaux pluviométriques sur l'ensemble des stations du Burkina-Faso.

Carbonnel et Hubert (1985) confirment que la probabilité la plus forte de "rupture" dans ces séries se situe en 1969 ou 1970. Les moyennes interannuelles de la seconde période sont globalement inférieures de 20% à celles de la période précédente (1920-1968).

L'analyse des hauteurs pluviométriques journalières (Albergel, 1986) a conduit aux conclusions suivantes:

- La somme des pluies journalières supérieures à 40 mm sur l'année est significativement plus faible dans la période sèche. Les distributions statistiques de ces pluies ont des coefficients d'asymétrie et d'aplatissement plus forts sur les années 1969-1984 que sur les observations antérieures.

- Les pluies les plus fortes ont une égale probabilité d'apparition dans les deux périodes; en particulier, le calcul de la précipitation journalière de récurrence décennale donne un résultat équivalent sur les deux séries (résultat vérifié sur 25 stations retenues pour la qualité et la longueur des observations).

Sur les petits bassins versants où l'essentiel de l'écoulement est dû au ruissellement quasi immédiat des plus fortes pluies, nous étudierons comment se sont traduites les modifications du régime des pluies. Dans ce but, nous reconstituerons des chroniques de ruissellement sur deux bassins versants expérimentaux sur lesquels nous disposons de quelques mesures dans les deux périodes:

- Le bassin versant de Kazanga (54 km²) en zone soudanienne (11°40'N isohyète 900 mm) a été suivi en 1961-1963 et en 1983.

- Le bassin versant de Kognere dans la région de transition soudan-sahel (12°22'N isohyète 700 mm) a été suivi en 1960-1962 et 1984.

Constitution d'une chronique de ruissellement sur un petit bassin versant

L'état actuel des connaissances sur l'influence des différentes composantes de l'environnement sur le ruissellement met en évidence qu'en zone soudano-sahélienne l'hydrodynamique superficielle est contrôlée essentiellement par le couvert végétal et les organisations pédologiques de surfaces (Albergel et al., 1985). Ce résultat a permis la construction d'un modèle simple de constitution d'une chronique de lames ruisselées à partir de la cartographie des états de surfaces (Albergel et al., 1985). La méthode cartographique développée à cette occasion distingue deux niveaux d'organisation (Valentin, 1985):

- La surface élémentaire, caractéristique d'un état de surface et considérée comme homogène quant à son comportement hydrodynamique sous pluie.

L'unité cartographique qui correspond soit à une seule surface élémentaire soit à l'association de plusieurs (généralement interdépendantes au sein de "systèmes de surface") et dont les limites peuvent être tracées à partir des relevés de terrain et de photographies aériennes (figure 1). Sur chaque surface élémentaire, des mesures sous pluies simulées, sur parcelles de 1 m², permettent de tester un comportement hydrodynamique et de déterminer une fonction de production dépendante de la pluie et de l'état d'humectation du sol. La fonction de production à l'échelle du bassin est obtenue par la composition des différentes fonctions de production au prorata de

BASSIN VERSANT DE KAZANGA
 esquisse des organisations superficielles
 à 1/50000^e
 d'après VALENTIN



Figure 1 1. Surface éléments grossiers 2. Surface sans éléments grossiers 3. Association surface hydromorphe-surface à recouvrement sableux 4. Association surface verticale-surface à recouvrement sableux 5. Surface hydromorphe alluviale claire 6. Surface hydromorphes de bas-fond.

la surface qu'elles représentent et pondérée par un facteur de calage.

La comparaison de lames ruisselées calculées et observées pour des memes evenements pluvieux montre une dispersion plus importante pour les valeurs observees (figure 2). Sur le bassin de Kazanga, pris en exemple, le modèle expliquerait 60% de la variance de l'échantillon "lames ruisselées fonction de la pluie journalière". Ce résultat peut être considéré comme satisfaisant vue l'hypothèse de base implicite: les pluies journalières ont une forme et une répartition en intensité égales à celles du protocole de pluies simulées qui ne sont que l'image de pluies statistiquement moyennes pour la région.

Le tableau n°1 qui compare les paramètres statistiques de la série de lames ruisselées calculés sur la période d'observation d'un poste pluviométrique voisin, Manga (34 ans) et celles observées pendant la periode de fonctionnement du bassin (4 années) permet de valider ce modèle.

Les observations de pluies journalières sont multipliées par un coefficient d'abattement calculé par régression entre les pluies moyennes du bassin et les pluies du poste pendant la période commune de fonctionnement ($c = 0.85$).

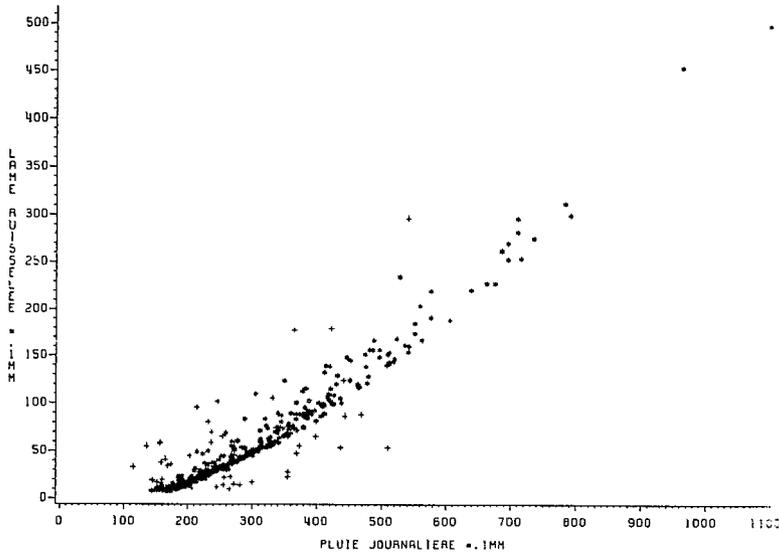


Figure 2 Lames ruisselées observées + (4 ans) et reconstituées * (37 ans) sur le bassin versant de Kazanga.

Comparaison des lames ruisselées reconstituées pendant les périodes sèches et humides

Une cartographie des états de surfaces a été réalisée pour les deux périodes à l'aide d'un relevé de terrain et des photos aériennes des missions IGN (Institut Géographique National (Paris)) 1956 et IGHV (Institut Géographique de Haute Volta (Ouagadougou)) 1980 sur les bassins pris en exemple. Le tableau n°2 résume les différences d'occupation des sols entre ces deux périodes.

Tableau 1 Comparaison des séries: lames ruisselées calculées et observées sur le bassin de Kazanga

* Seules les lames ruisselées $\geq 0,7$ mm ont été prises en compte

Variable	Nombre d'observat.	Moyenne $\times 0,1$ mm	Ecart type	Valeur max mm	CV
Lames ruisselées reconstituées sur 34 ans	453	56,1	62,2	50,1	110,9
Lames ruisselées observées sur 4 saisons	54	53,3	51,1	29,7	95,9

Tableau 2 Occupation des sols, comparaison des états en 1956 et 1980

Photos	Champs %	Jachère %	Savane Arborée %
KAZANGA 1956	16,2	51,3	32,5
KAZANGA 1980	36,2	33,8	30,0
KOGERE 1956	16,1	10,7	73,2
KOGERE 1980	37,4	5,6	57,0

Si sur les deux bassins on assiste à un recul important des jachères au profit des champs cultivés, sur le bassin de Kognere l'extension des cultures s'est également faite au détriment de la savane arborée. L'examen comparatif des photos aériennes permet également de mettre en évidence, a Kognere, une modification importante des unités cartographiques par une extension des zones très érodées (figure 3) qui sont multipliées par 20 entre les deux missions aériennes.

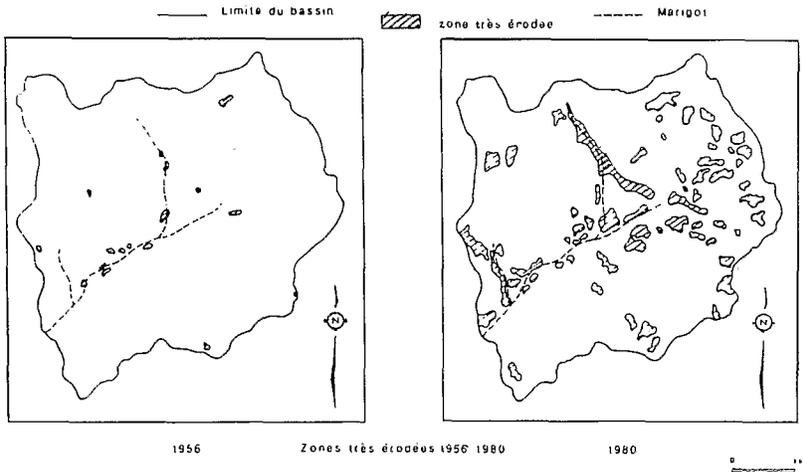


Figure 3 Evolution de la superficie des zones très érodées.

Sur le bassin de Kazanga les contours des unités cartographiques restent sensiblement les mêmes, seule leurs sous divisions en zone cultivée et en jachère est modifiée.

Dans un premier temps, pour appréhender l'effet respectif des modifications des états de surfaces et du changement climatique nous reconstituerons sur le bassin de Kognere une chronique de lames ruisselées à partir des deux cartes et de l'ensemble de la série des pluies journalières du poste voisin Boulssa.

Effets comparés de la modification du régime des pluies et des caractères physiographiques des bassins

Sur la figure n°4 sont reportées les lames ruisselées reconstituées sur l'ensemble des observations pluviométriques pour les deux cartes d'états de surface de Kognere. On observe une homogénéité de la relation pluie-lame ruisselée journalière sur chaque reconstitution et une différence notable entre les deux reconstitutions, la carte de 1980 donnant des ruissellements plus forts. L'analyse des ruissellements sur chaque reconstitution (Tableau 3) met en évidence une diminution sensible du nombre de ruissellements moyens par an et de la hauteur de la lame ruisselée moyenne annuelle pour la période postérieure à 1969 dans les deux reconstitutions.

Afin de reconstituer une chronique complète des lames ruisselées la plus probable, on se propose d'utiliser pour chacun des deux bassins la carte des états de surface dérivant de la première mission aérienne pour les observations pluviométriques précédant 1969 et celle dérivant de la seconde pour la période postérieure.

Les hauteurs de lames ruisselées reconstituées ont été comparées à

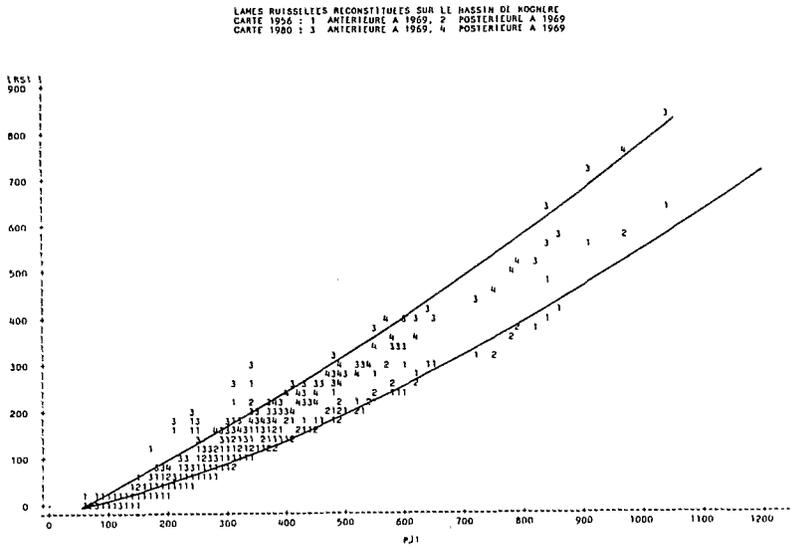


Figure 4

Tableau 3 Lames ruisselées reconstituées sur le bassin de Kogner

Photos	Date	Nbre moyen de lames* ruisselées par an	Hauteur ruisselée* annuelle (mm)	Valeur max de la lame ruisselée (mm)
Reconstitution d'après la carte 1956	Avant 1969	21,3	174,7	64,0
	Après 1969	15,1	116,2	37,2
Reconstitution d'après la carte 1980	Avant 1969	23,4	241,3	84,1
	Après 1969	17,2	166,7	51,9

*Seules les lames ruisselées $\geq 0,7$ mm ont été prises en compte

celles observées pendant les deux périodes de fonctionnement des bassins: les coefficients de corrélation varient entre 0.75 et 0.90

Sur les figures 5 et 6 sont reportées les lames ruisselées reconstituées pour les deux périodes; on remarque:

- pour le bassin versant de Kazanga les deux nuages de points se confondent assez bien avec une légère tendance à un plus fort ruissellement pour les événements de période sèche.

- pour le bassin versant de Kogner, l'ensemble des pluies supérieures à 25 mm engendrent des lames ruisselées plus fortes en 1969-1983.

Sur les figures 7 et 8 les hauteurs de lames ruisselées rangées en classe de 0.5 mm sont reportées en fonction des fréquences expérimentales. On remarquera le peu de différence entre les distributions statistiques des échantillons de période sèche et de période humide.

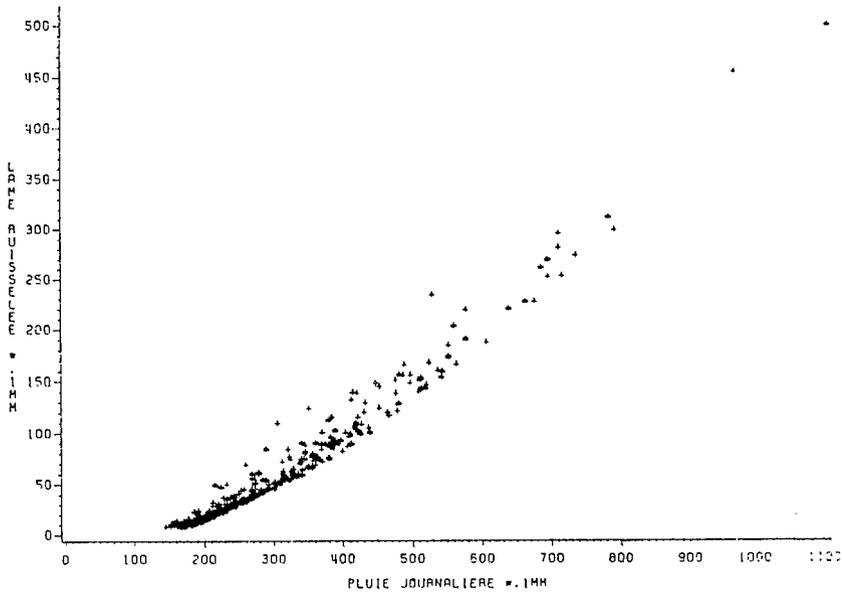


Figure 5 Lames ruisselées reconstituées sur les bassins versants de Kazanga + période antérieure à 1969
* période postérieure à 1969.

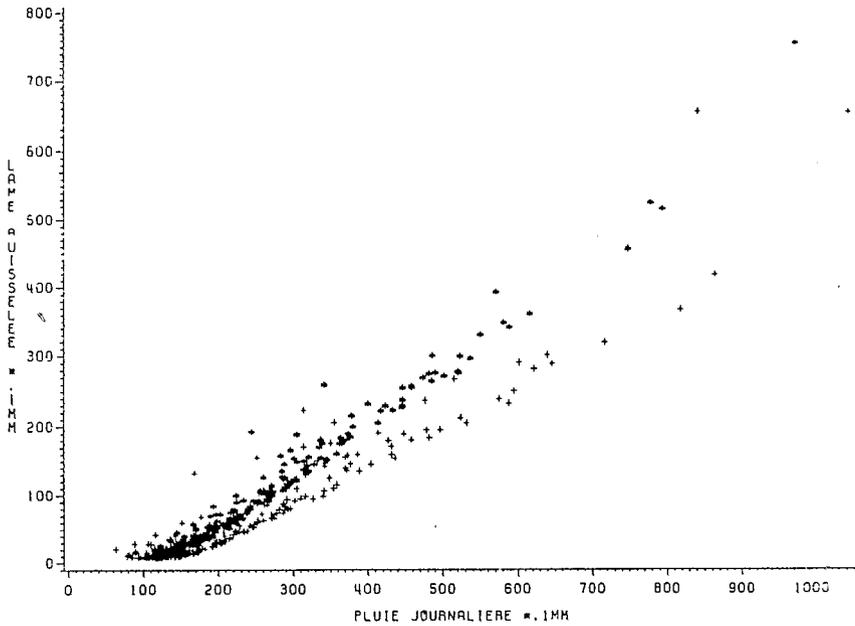


Figure 6 Lames ruisselées reconstituées sur les bassins versant de Kognere + période antérieure à 1969
* période postérieure à 1969.

Lames ruisselées reconstituées sur le bassin de KAZANGA

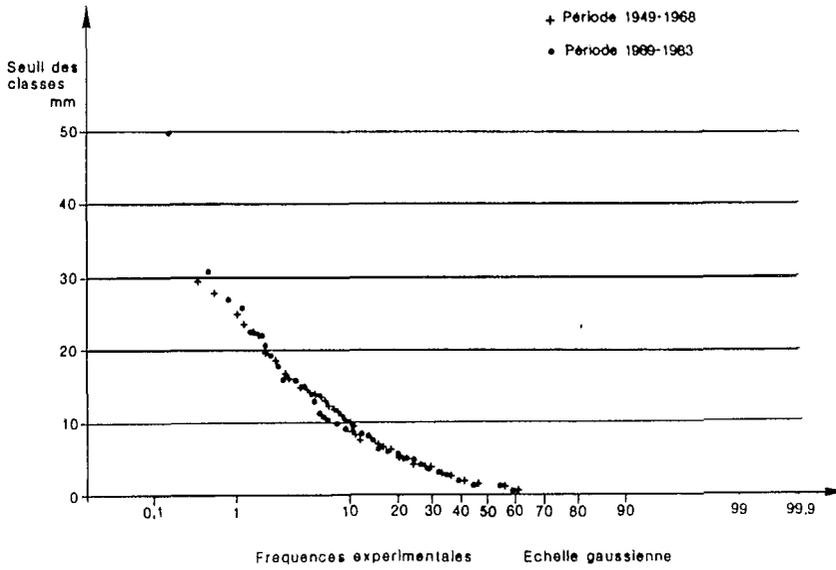


Figure 7

Lames ruisselées reconstitués sur le bassin de KOGNERE

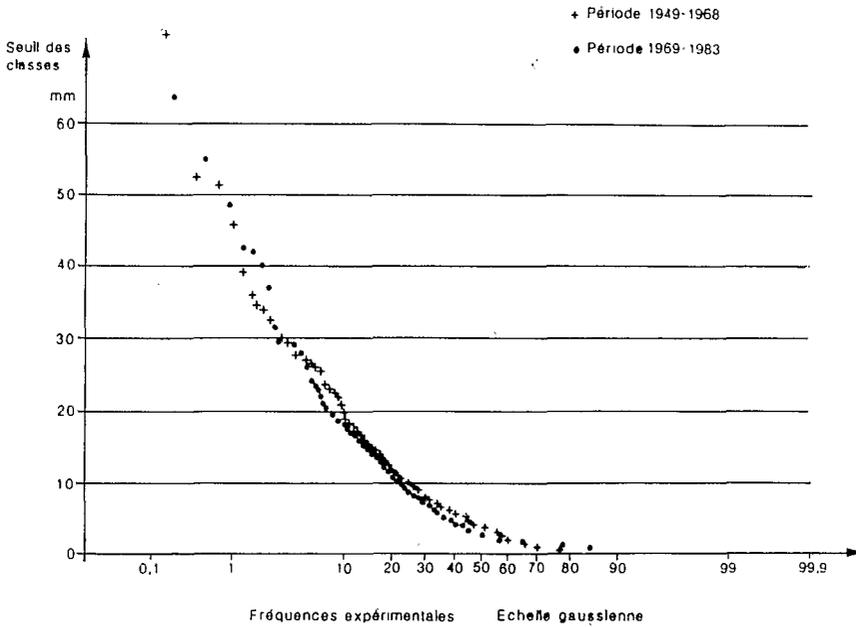


Figure 8

Discussion

L'affaiblissement du régime pluviométrique pendant la période 1969-1983 semble être largement compensé par la modification des états de surfaces dans le fonctionnement des petits bassins versants. Ces modifications qui ont amené surtout sur les bassins au nord de l'isohyète 800 mm, des conditions de ruissellement plus favorables, sont dues à l'action conjuguée de l'homme et des nouvelles conditions climatiques. La diminution du couvert herbacé et l'extension des zones cultivées favorisent les tassements de la surface du sol et le développement de pellicules imperméables ainsi que l'extension de régions très érodées. Le bassin de Kognere présente actuellement les caractères des paysages habituels de régions plus septentrionales, vaste étendue de sol nus formant des glacis lisses ou caillouteux.

Les espèces de graminées pérennes disparaissent en faveur des annuelles, dans la végétation arborée on remarque que les rares recrus sont toutes des épineux qui prennent la place des combrétacées.

La comparaison des distributions statistiques des lames ruisselées sur les deux périodes, tout comme les crues exceptionnelles apparues ici et là doivent mettre en garde contre une révision à la baisse des normes de sécurité pour les ouvrages en raison de la période sèche que nous vivons. L'apparente contradiction de fonctionnement entre ces systèmes hydrologiques et les plus grands rappelle l'hétérogénéité spatiale des phénomènes hydrologiques. En effet, si une forte pluie a une égale probabilité de se produire localement dans la période actuelle, elle survient temporellement dans une chronique moins pluvieuse et dans des conditions d'évaporation plus fortes. L'alimentation des nappes alluviales ainsi que celle des réserves de surface reste donc défavorisée mais ces phénomènes ne sont pas répercutés dans l'écoulement des plus petits systèmes hydrologiques.

Références

- Albergel, J., (1986) Evolution de la pluviométrie en Afrique Soudano-Sahélienne. Exemple du Burkina Faso, In: Colloque international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse, Ciel Ouagadougou, 17.p.
- Albergel, J. (Valentin, C. (1986) "Sahélisation" d'un petit bassin versant: Boulsa Kognere au centre nord du Burkina Faso; In: Colloque Nordeste Sahel, Institut des Hautes études d'Amérique Latine, Paris 1986.
- Albergel, J. Ribstein, P., Valentin, C. (1985) Quels facteurs explicatifs de l'infiltration? Analyse sur 48 parcelles au Burkina Faso. Journées Hydrologiques de Montpellier, Coll. et sem. Orstom, 26-48.
- Albergel, J. Casenave, A., Valentin C. (1985). Modélisation du ruissellement en zone soudano-sahélienne; simulation de pluies et cartographies des états de surfaces. Journées Hydrologiques de Montpellier. coll. et sem. Orstom, 75-84.
- Albergel, J. Carbonnel, J.P., Grouzis, M. (1984). Pejoration climatique au Burkina Faso. Incidences sur les ressources en eau

- et sur les ressources en eau et sur les productions végétales. Cah. Orstom, ser. Hydrol. Vol XXIno. 1,3-19.
- Billon, B. (1985) Le Niger a Niamey. Decrue et etiage 1985 Cah. Orstom, ser. Hydrol. Vol. XXIno. 4,3-22.
- Carbonnel, J.P. Hubert, P; (1985) Sur la secheresse au Sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les series pluviometriques du Burkina Faso (ex Haute Volta); C.R. Acad. Sc. serie Hydrologie Vol VII, tome 301 n 13, 941-944.
- Leusink, A. Tyano, B. (1985) Observations du niveau de la nappe des eaux souterraines et sa composition chimique et isotopique de socle cristallin au Burkina Faso. Bull.de liaison du Cieh no. 62.
- Nicholson, S.G. (1984) Rainfall fluctuations in Africa 1901 to 1973 in: Colloque OMM sur le Xeme anniversaire de l'experience Etga Dakar, decembre 1984, 103-105.
- Olivry, J.C. (1983) Le point en 1982 sur la secheresse en Senegambie et aux iles du Cap Vert. Examen de quelques series de longue duree (debits et precipitations) Cah. Orstom, ser. Hydrol. Vol XX, no.1, 47-69.
- Sircoulon, J. (1986) Bilan hydropluviometrique de la secheresse 1968-84 au Sahel et comparaison avec les secheresses des annees 1910 a 1916 et 1940 a 1949 in: Colloque Nordeste Sahel. Institut des Hautes etudes d'Amerique Latine, Paris - 16 au 18 janvier 1986.
- Sircoulon, J. (1985) La secheresse en Afrique de l'Ouest. Comparaison des annees 1982-1984 avec les annees 1972-1973. Cah. Orstom, ser. Hydrol. Vol no. 4, 75-86.
- Snidjers, T.A.B. (1983) Interstation correlations and non stationarity of Burkina Faso rainfall. Journal of climate and applied meteorology, Vol.25,524-531.
- Valentin, C. (1985) Differentier les milieux selon leur aptitude au ruissellement: une cartographie adaptee aux besoins hydrologiques. Journees hydrologiques de Montpellier, coll. et sem. Orstom, 50-73.