

Cahiers ORSTOM
Série HYDROLOGIE

Vol. XXI, n° 4 – 1984-1985

ORSTOM
PARIS

1986

Manuscrits reçus au Service des Éditions de l'ORSTOM le 21 janvier 1986

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40).

« Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal. »

Le Niger à Niamey. Décrue et étiage 1985

B. BILLON (1)

RÉSUMÉ

Le fleuve Niger a connu en 1985, à l'aval de la cuvette lacustre, l'étiage le plus faible de la période historique. Le suivi à Niamey du tarissement des débits du fleuve a permis cinq mois à l'avance d'annoncer un arrêt de l'écoulement pour début juin 1985 si des pluies précoces ne se produisaient pas sur les affluents burkinabés.

La justesse des prévisions a conduit les autorités à construire un barrage provisoire au début de mai afin d'assurer un stockage d'eau suffisant pour les besoins des 400 000 habitants de Niamey.

Le présent article décrit cette situation hydrologique exceptionnelle.

MOTS-CLÉS : Etiage exceptionnel – Tarissement – Sécheresse – Décrue – Scuil de contrôle.

ABSTRACT

THE NIGER RIVER AT NIAMEY. RECESSION AND LOW WATER IN 1985

The Niger River has known in 1985, downstream the lacustrine zone, the weakest low water of the historical period. A continuous watching of the river discharge depletion at Niamey allowed to predict, five months in advance, that the flow would stop at the beginning of June 85 in the lack of early rainfalls on the Burkinan tributaries. The quality of prediction has conducted the authorities to build a temporary dam at the beginning of May in order to insure a sufficient water storage for the water needs of about 400,000 inhabitants.

This paper describes the hydrological behaviour of this exceptional event.

KEY WORDS : Exceptional low water – Depletion – Drought – Recession – Still control.

1. INTRODUCTION

Le Niger prend naissance au sud-est du massif du Fouta Djallon à la frontière Guinée-Sierra Leone, le massif, bien qu'il en soit très proche, ne faisant pas partie du bassin.

Le fleuve se constitue rapidement à partir de quatre branches-mères qui, en plus du Niger, ont pour noms le Niandan, le Milo et le Tinkisso. Après regroupement de ces cours d'eau le Niger se dirige vers le nord-est et reçoit ensuite un autre affluent important, le Sankarani (sur lequel a été construit le barrage de Sélingué), avant de s'étaler dans la cuvette lacustre en aval de Ségou.

La seconde branche importante du Niger a sa source dans l'extrême nord-ouest de la Côte d'Ivoire avec le Baoulé et la Bagoé qui se rejoignent en formant le Bani qui coule d'abord plein nord en direction de Ségou puis nord-est pour alimenter la cuvette lacustre au niveau de San.

L'ensemble de ces hauts bassins est bien arrosé avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 1 500 à 2 000 mm.

Après avoir parcouru près de 1 000 km avec une direction générale nord-est, le Niger se répand dans la cuvette lacustre, appelée aussi delta intérieur, vaste zone d'épandage des eaux de crue. Les lits des deux principaux

(1) Mission ORSTOM, BP 11416, Niamey, Niger.

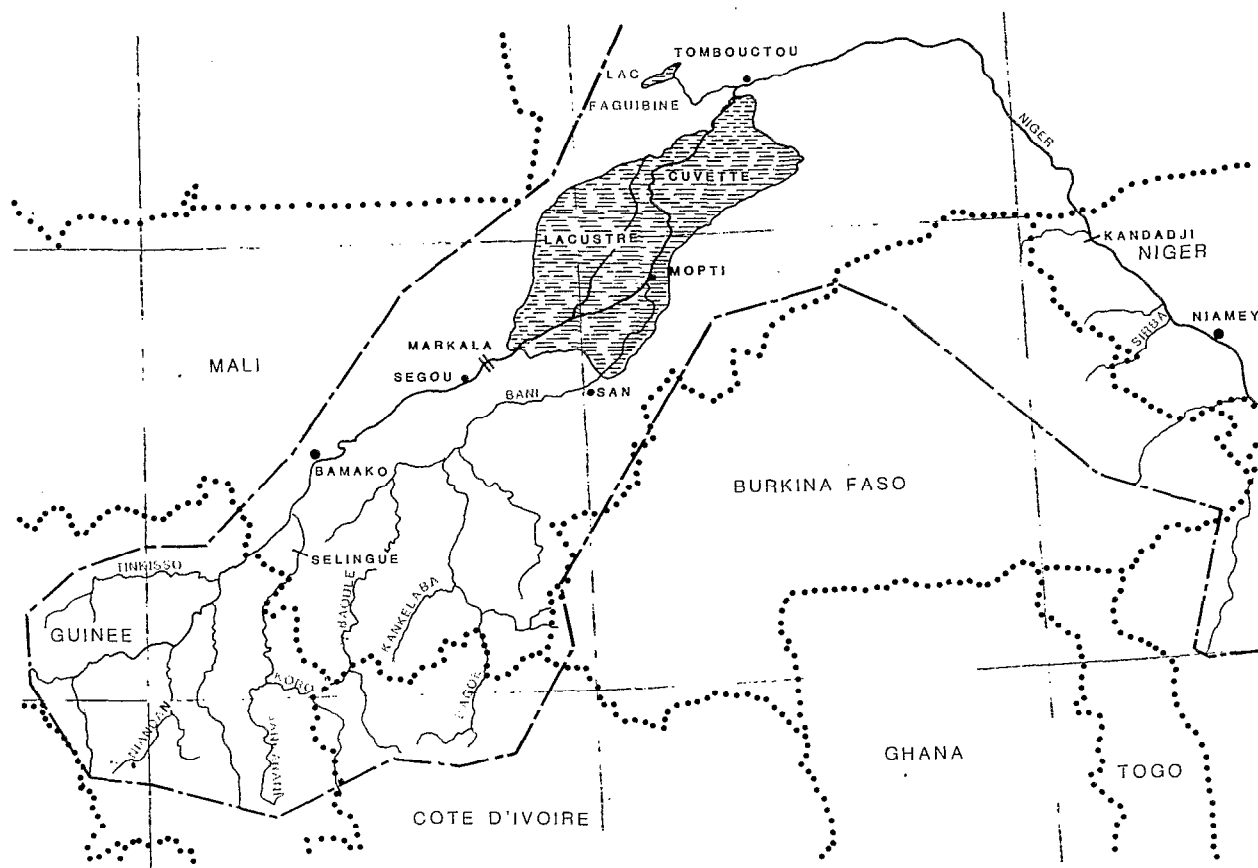


FIG. 1. — Situation générale

composants Niger et Bani se rejoignent à Mopti au milieu de la cuvette qui comprend par ailleurs un réseau très complexe de bras secondaires entrecroisés, émissaires, lacs et très grandes plaines inondées chaque année sur des superficies atteignant plusieurs dizaines de milliers de km² en forte crue.

La cuvette lacustre influence fortement le régime hydrologique du fleuve en agissant sur deux plans :

- Les pertes par évaporation. Elles sont considérables en raison de la superficie des surfaces évaporantes. Elles varient en fonction de la puissance de la crue et peuvent être évaluées à 60 milliards de m³ en forte crue pour descendre à 10 milliards de m³ peut-être en très faible hydraulité. En année moyenne ce sont 70 milliards de m³ qui entrent dans la cuvette lacustre sur lesquels 30 milliards, soit près de 50 %, seront perdus essentiellement par évaporation.
- La régularisation des débits. Cet immense réservoir a une influence évidemment directe sur le laminage de la crue, son étalement. A la sortie de la cuvette l'hydrogramme régularisé est de forme simple ce qui facilite beaucoup la prévision des débits de décrue examinée dans les chapitres suivants.

Après avoir quitté la cuvette lacustre dans la région de Tombouctou les eaux du Niger se contentent de parcourir le réseau hydrographique sans grande modification jusqu'à Niamey. Les crues des affluents qu'il reçoit encore, de la rive droite seule, n'ont généralement que peu d'influence sur la forme de l'hydrogramme et à partir de novembre tous ces affluents sont à sec et ne perturbent donc pas la décrue. Par contre, au voisinage de l'étiage du Niger, les premières crues de ces mêmes affluents peuvent avoir un impact primordial dans le soutien des étiages à Niamey.

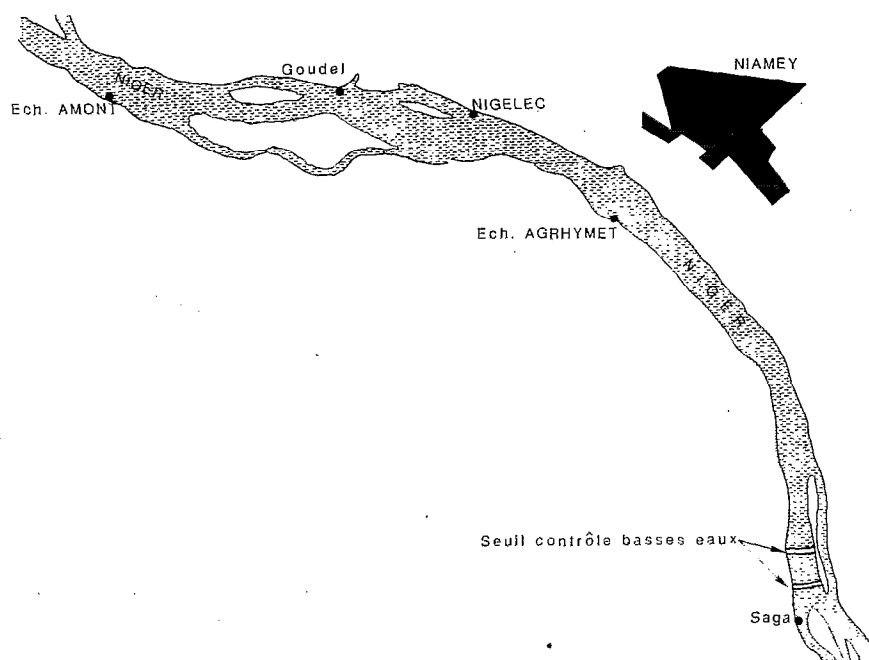


FIG. 2. - Équipement limnimétrique

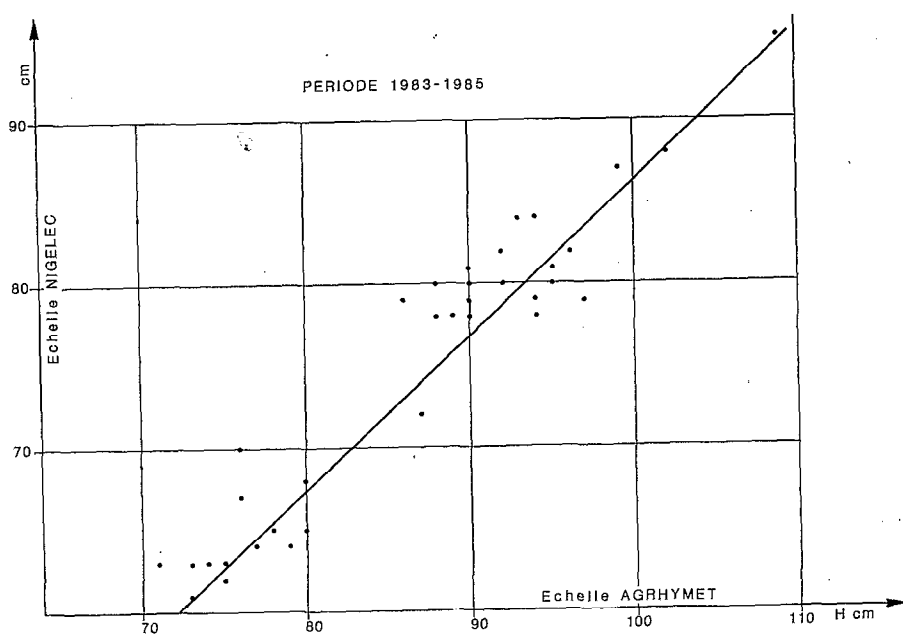


FIG. 3. - Dispersion de la correspondance entre échelles en basses eaux

2. ÉQUIPEMENT LIMNIMÉTRIQUE DE LA STATION

2.1. ÉQUIPEMENT LIMNIMÉTRIQUE DE BASE

Il existe depuis plusieurs années à Niamey 3 échelles de crue : Agrhymet, Nigelec et Goudel (fig. 2).

Cette dernière est peu suivie et non utilisée, nous y avons cependant effectué des relevés au cours de la première quinzaine de mai. Ceux-ci ont permis, en confirmation de l'échelle provisoire amont, de suivre la décrue alors que les cotes à l'échelle Nigelec augmentaient pendant les travaux de construction du batardeau.

L'échelle Agrhymet est en très bonne corrélation avec celle de Nigelec pour toutes les cotes supérieures à 100 cm à Agrhymet. En dessous de cette cote les observations sont moins satisfaisantes car l'élément 0-100 est loin de la berge, et déjà difficile à lire quand l'échelle est propre. Il s'ensuit une dispersion en basses eaux qui nuit à la précision souhaitées pour les étiages (fig. 3).

On note également, toujours en basses eaux, quelques anomalies de lecture par rapport à Nigelec.

L'échelle Nigelec, souvent contrôlée, est l'échelle de base pour l'élaboration habituelle des débits du Niger à Niamey.

2.2. ÉQUIPEMENT MIS EN PLACE POUR MESURER L'ÉTIAGE 1985

Devant le risque d'étiage très sévère, voire de tarissement du fleuve en 1985, dénoncé dès le mois de décembre 1984, il a été décidé de créer une petite retenue à Niamey pour couvrir les besoins humains minimaux en eau.

Il était prévisible qu'à partir de la construction du batardeau ces 3 échelles de crue n'auraient plus de signification au moins pendant certaines périodes, l'échelle Agrhymet à l'aval du batardeau en raison de la coupure du fleuve et les deux autres se trouvent dans le remous de la retenue.

Aussi dès le 26 avril, à la prise de décision de la construction de ce batardeau, a-t-on installé un élément 0-100 suffisamment à l'amont de Niamey pour être en dehors de la zone de remous (fig. 2).

Un autre élément a été mis en place par la DRE (1) à l'amont immédiat du batardeau.

3. ANALYSE DES DÉCRUES

Les décrues du fleuve Niger et Niamey peuvent se décomposer en deux parties :

- la décroissance naturelle des débits,
 - les influences externes,
- qui comprennent elles-mêmes :
- les précipitations,
 - les lâchers du barrage de Markala,
 - les prélèvements par pompage.

3.1. LA DÉCROISSANCE NATURELLE DES DÉBITS

3.1.1. La décrue du fleuve à Niamey se présente comme la vidange d'un très grand réservoir constitué par la cuvette lacustre du fleuve situé au Mali avec Mopti pour ville centrale.

Cette vidange s'exprime mathématiquement par une fonction exponentielle représentée par une droite sur un graphique semi-logarithmique (débit-temps). Le remplissage du réservoir ayant toujours lieu à la même période (août-octobre), le débit de vidange à une date donnée sera d'autant plus élevé que le remplissage du réservoir (lié à la puissance de la crue) aura été important.

Les courbes de décrue sont donc, toujours sur graphiques semi-logarithmiques, des droites parallèles d'autant plus précoces que la crue précédente du Niger a été faible.

Sur la figure 4, nous avons représenté les décrues correspondant aux quatre crues les plus faibles c'est-à-dire les décrues observées en 1974, 1983, 1984 et 1985. Pour une meilleure lecture, les courbes ont été décalées les unes par rapport aux autres mais également représentées en temps réel sur la figure 5.

Il apparaît que, globalement, les décrues sont peu perturbées et peuvent être assimilées à des droites parallèles depuis les débits élevés (les droites se prolongent au-dessus de 300 m³/s) jusque vers 10 m³/s.

(1) DRE : Direction des Ressources en Eau.

LE NIGER A NIAMEY

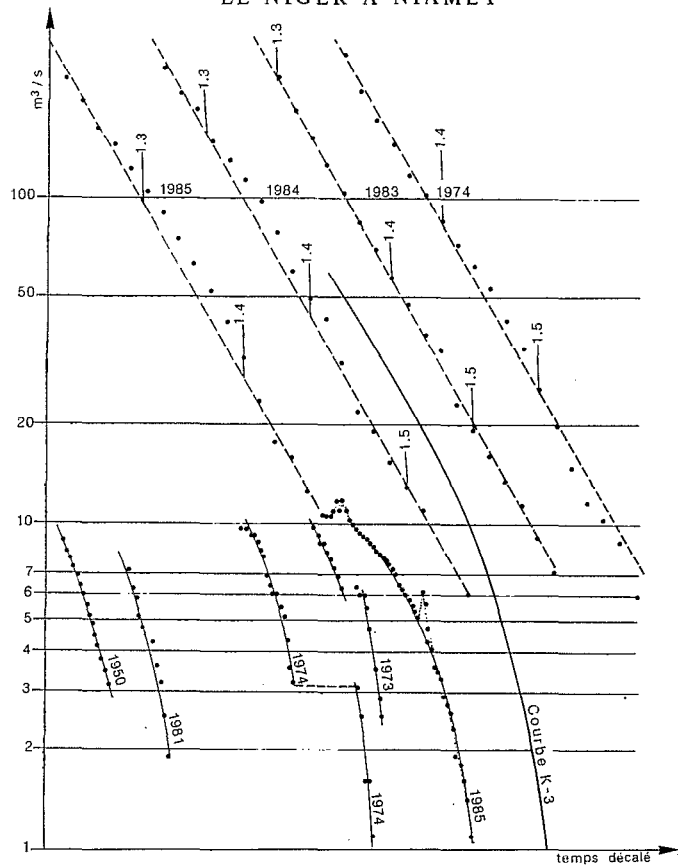


FIG. 4. - Comparaison des gradients de décrue en très basses eaux

LE NIGER A NIAMEY

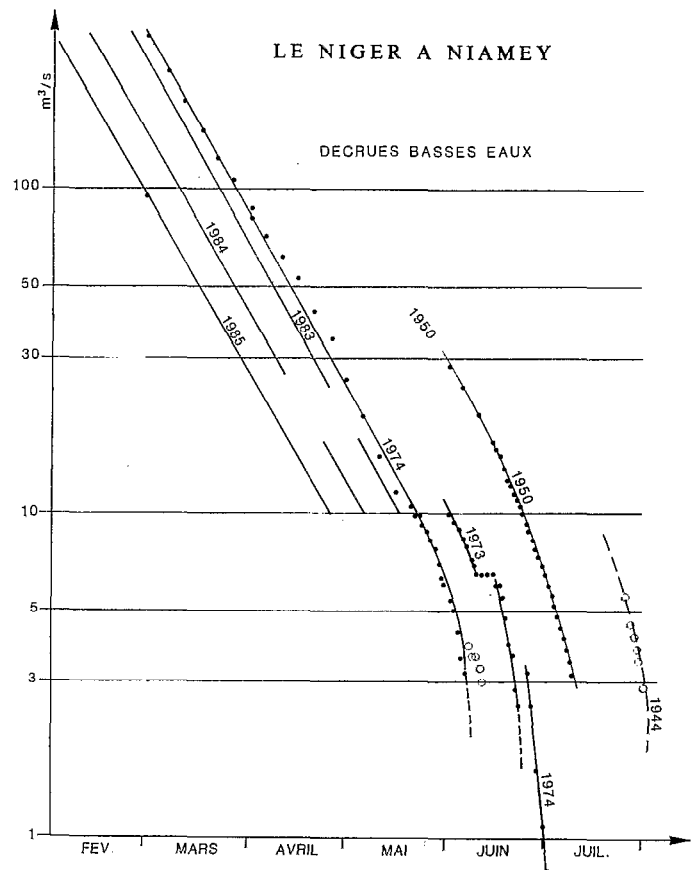


FIG. 5. - Décrues en temps réel

LE NIGER A NIAMEY

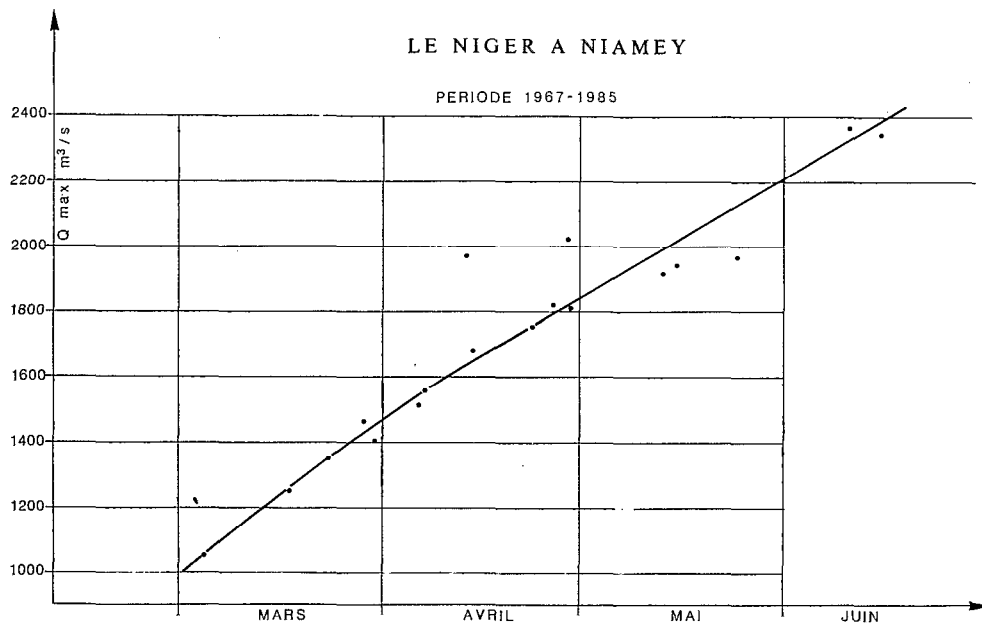


FIG. 6. - Date à laquelle le débit 100 m³/s est atteint en décrue en fonction de Q max.

Une décrue est d'autant plus précoce que le débit maximal de la crue précédente (donc le remplissage de la cuvette) est faible. C'est ce que la figure 6 montre qui présente la date d'apparition du débit $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ (d'autres débits auraient pu être choisis) en fonction du débit maximal précédent.

En dessous de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ les choses se compliquent car les débits surviennent généralement assez tardivement et les tarissements sont souvent contrariés par l'apparition de crues locales, ainsi n'avons-nous pu retenir que six décrues de décroissance régulière longue représentées sur les figures 4 et 5.

Ces décrues ont toutes la même caractéristique qui est une concavité tournée vers l'axe des temps, spécifique des cours d'eau susceptibles de s'arrêter de couler.

Il est vrai que lorsque l'on parle des débits du Niger à Niamey, les échelles de référence (Nigelec et plus récemment Agrhymet) se situent à l'aval des stations de pompage d'alimentation en eau de la capitale. Les débits aval « de référence » sont donc inférieurs de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ environ actuellement, et de $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ avant la mise en service de Goudel, aux débits « naturels » à l'amont immédiat de Niamey. Ces valeurs sont trop faibles pour entraîner des modifications sensibles de la forme de la décrue.

Les pompages nécessaires aux périmètres irrigués en amont de Niamey mettent en jeu des débits beaucoup plus élevés mais ils sont de création récente et ont certainement peu influencé les décrues de 1974 (à cette date les surfaces irriguées étaient de l'ordre du quart des surfaces actuelles), de 1973 ou mieux encore celle de 1950. Autre décrue peu influencée en très basses eaux : celle de 1985 puisque les pompages ont été arrêtés à 80 % au cours de la première quinzaine de mai.

3.1.2. Il est intéressant de comparer ces formes de décrues à celles de Kandadji à 180 km en amont de Niamey.

LE NIGER A KANDADJI

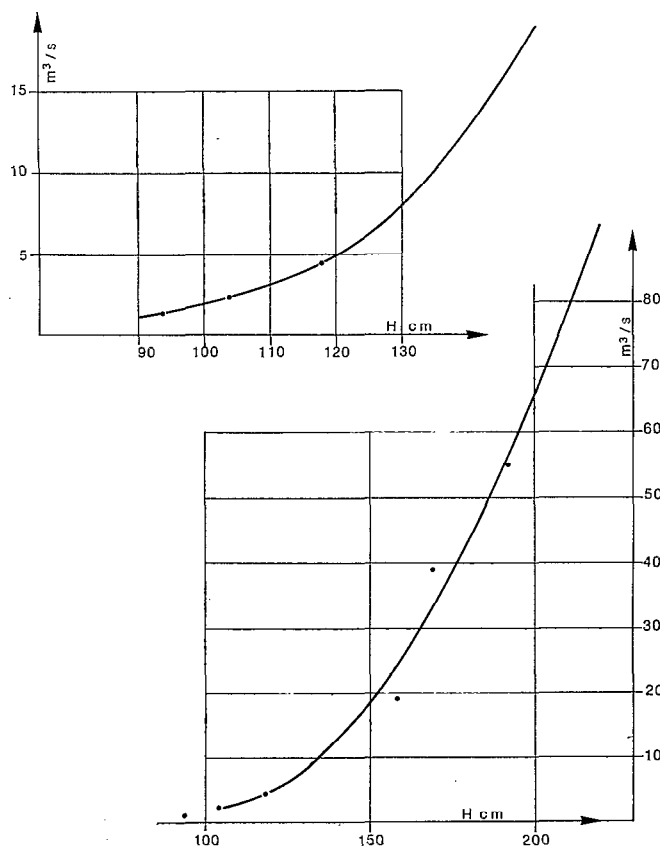


FIG. 7. - Courbes d'étalonnage de basses eaux

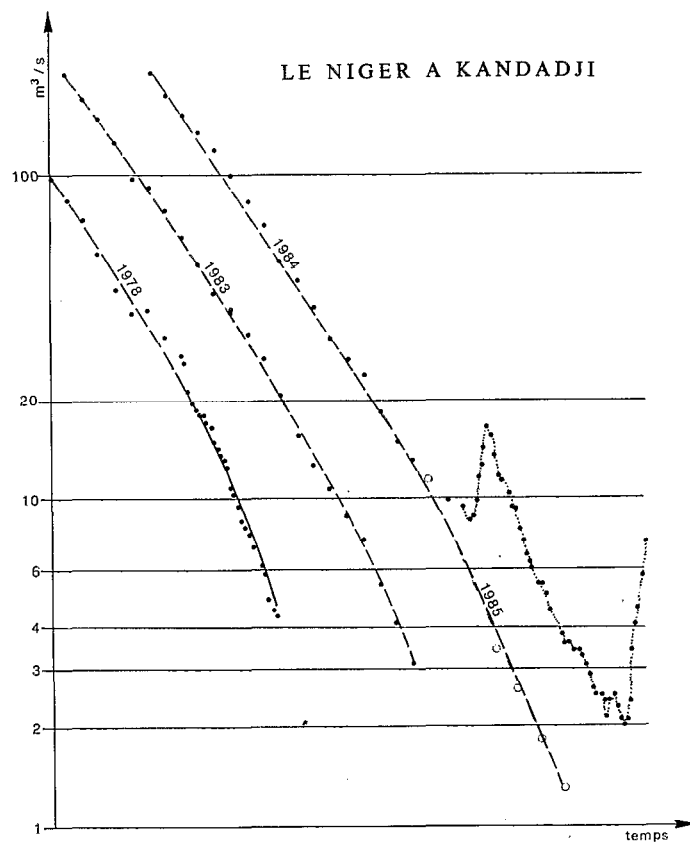


FIG. 8. - Décrues peu ou pas perturbées

De nouveaux jaugeages ont été réalisés à cette station, donnant :

12 juin 1985	H = 104	Q = 2,4 m ³ /s
24 juin 1985	H = 094	Q = 1,3 m ³ /s

Ils permettent de préciser la courbe de basses eaux représentée sur la figure 7.

A partir de cette courbe trois décrues : 1978, 1983 et 1984 ont été reportées sur la figure 8, les autres n'ayant pas été dessinées soit en raison de perturbations de la décrue dues aux pluies, soit parce que les débits ne sont pas descendus assez bas pour mettre en évidence la forme du tarissement en très basses eaux.

Comme à Niamey, les décrues sont également des droites parallèles s'incurvant vers l'axe des temps mais la pente de décrue est plus faible, l'amorce de la courbure vers le bas commence vers 20 m³/s au lieu de 10 m³/s à Niamey et la décrue semble se poursuivre par une droite en dessous de 6-8 m³/s.

La station de Kandadji n'a pas été suivie en 1985. Les quelques observations réalisées à partir de nos tournées ont été reportées sur la figure 8. Elles sont toutes postérieures au 15 mai 1985 donc postérieures à la crue en provenance de Markala. On notera qu'elles suivent une courbe parallèle aux autres tout en étant situées dans le prolongement de la décrue 1984. A Niamey les décrues 1984 et 1985 étaient décalées de 12 jours avant l'arrivée de la crue de Markala, et les relevés à Kandadji permettent de constater que les décrues sont confondues après le passage de la crue. Le phénomène n'est pas visible à Niamey car il est perturbé par l'arrêt des pompages mais l'examen des décrues sur les 2 stations conduit à conclure que l'intervention de Markala en 1985 a permis de décaler de 12 jours la décrue du Niger à Niamey.

3.1.3. Pour passer d'une décrue type Kandadji à une décrue type Niamey, il faut prendre en compte les pertes par évaporation entre les stations et les pompages. Pour le calcul de l'évaporation la superficie évaporante reste l'inconnue majeure et les pertes ne peuvent être évaluées qu'avec une large marge d'erreur, la fourchette se situant peut-être entre 1,5 et 3,5 m³/s. Les débits de pompage doivent être corrigés des débits de restitution par drainage qui sont peu ou pas connus.

On sait par l'ONAHA (1) qu'en 1985 les 3/4 des stations de pompage se sont arrêtées dans la première quinzaine de mai pour ne reprendre que partiellement la dernière décade de juin.

Après différents essais sur la décrue 1984 associée à 1985 à Kandadji un débit constant de 3 m³/s a été retiré des débits de cette station pour essayer de retrouver la décrue 1985 à Niamey.

Cette nouvelle décrue représentée par la courbe (K-3) sur la figure 4 est à comparer à Niamey 85. On constate que les parties rectilignes (100 à 15 m³/s) et les parties basses inférieures à 6 m³/s sont bien parallèles à la décrue à Niamey alors que la partie intermédiaire perturbée par la crue de Markala et les arrêts des pompages ne peut être rapprochée de celle de Niamey.

Ces 3 m³/s de pertes entre les 2 stations en 1985 ne peuvent prétendre à une grande précision.

3.1.4. Conclusions

Les décrues du Niger à Niamey sont de forme simple et régulière. Le schéma de fonctionnement (vidange de réservoir) permet, dès la connaissance du maximum de crue à Niamey, de prévoir le comportement de l'ensemble de la décrue tant que celle-ci ne subit pas d'influences extérieures sensibles étudiées dans le chapitre suivant. Les prévisions peuvent être faites avec 5 mois d'avance pour les petits débits (10 m³/s) lorsque la crue est faible donc la décrue précoce. Une prévision avec 1 ou 2 mois supplémentaires d'avance, mais plus précise, peut être réalisée à partir de Koulikoro dont les maximums de crue sont liés à ceux de Niamey par une corrélation significative.

Les décrues du fleuve aux stations en amont de Niamey, figure 9, n'ont pas la même allure. La quasi-stabilisation observée à Mopti s'effondre progressivement en aval en raison des ponctions importantes dues pour une grande part à l'évaporation. L'examen du fleuve montre que même en très basses eaux les superficies d'eau libre restent élevées. De vastes plans d'eau s'étalant sur plusieurs kilomètres avec une largeur atteignant parfois 200 à 300 mètres subsistent. Ils sont reliés par des goulets certes étroits mais de longueur limitée.

3.2. LES INFLUENCES EXTERNES

3.2.1. Les précipitations

Elles provoquent parfois des crues simples lorsque la pluie est circonscrite à une zone de faible étendue et que cette pluie est isolée. C'est le cas de la crue du 26 mai 1985 (fig. 10) due à des précipitations couvrant les

(1) ONAHA : Office National des Aménagements Hydro-Agricoles.

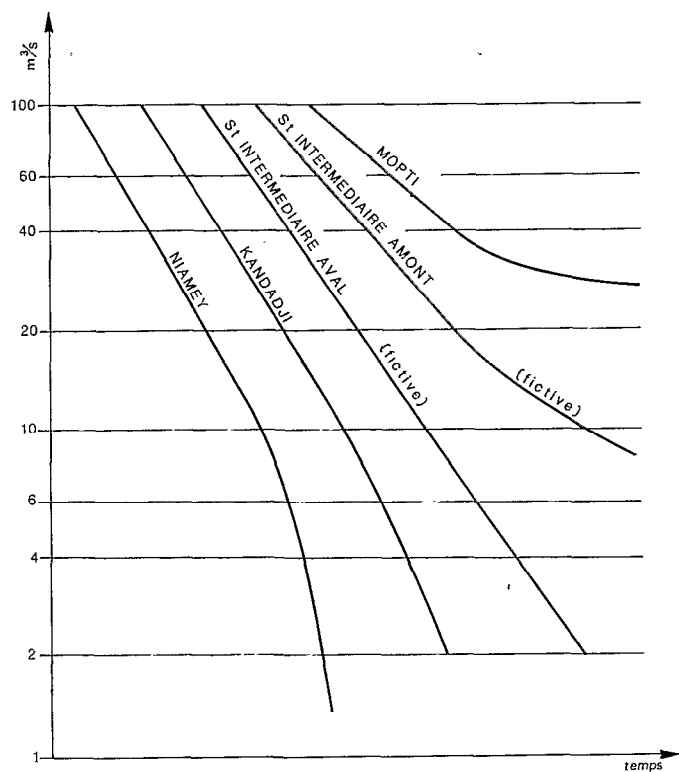


FIG. 9. - Formes de décrue entre Mopti et Niamey

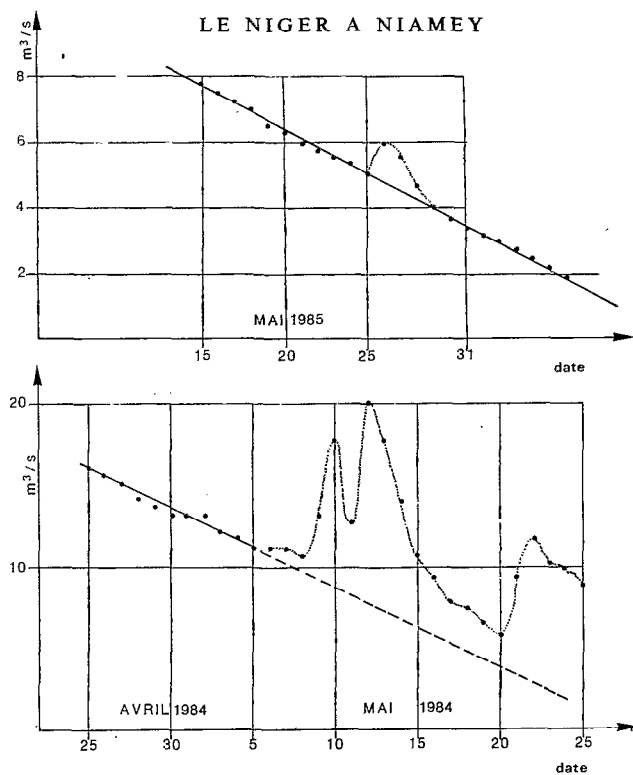


FIG. 10. - Effet de précipitations sur la décrue

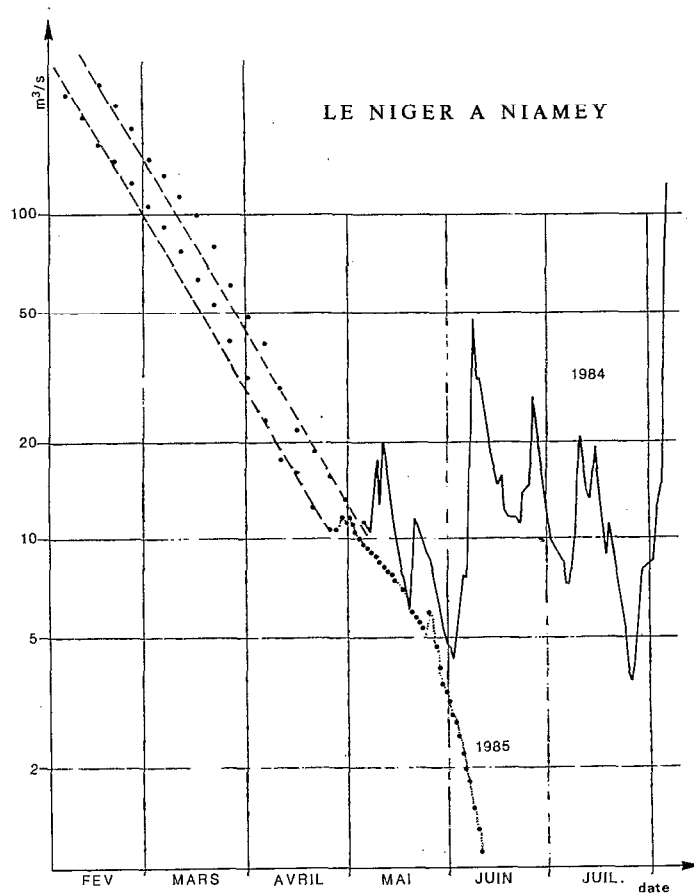


FIG. 11. - Exemple de reprise de l'écoulement en 1984

petits bassins situés dans les 30 à 40 premiers kilomètres en amont de Niamey. La crue est de courte durée et le débit rejoint rapidement le tarissement de base.

Les formes sont plus complexes lorsque la crue vient de bassins plus éloignés mais la tendance reste le retour au débit de base lorsque ces crues sont suivies de périodes assez longues sans précipitation.

Dans la plupart des cas d'autres crues surviennent avant le retour au débit de base (juin-juillet 1984 – fig. 11), les crues deviennent complexes, se superposent en provenance de bassins très divers, éloignés les uns des autres, et les séparations d'hydrogramme ne sont plus possibles.

3.2.2. Les ouvertures du barrage de Markala

Le barrage de Sélingué alimentant Bamako en électricité est amené à lâcher très régulièrement des débits soutenus ($100 \text{ m}^3/\text{s}$) pendant toute la saison sèche, permettant ainsi au barrage de Markala, situé à l'aval, de disposer de l'eau nécessaire, et même au-delà, y compris en année très sèche.

Nous n'avons pas les données de débit à l'aval de Markala mais 2 années d'observations récentes à Mopti permettent de préciser les effets de la gestion du barrage sur la décrue à Niamey.

L'examen des débits journaliers (données SOGREAH) montre :

- En 1984, un lâcher important élevant le débit à Mopti à plus de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant 5 jours, avec une pointe à $150 \text{ m}^3/\text{s}$, entre le 5 et 9 février. Le temps de propagation de la crue jusqu'à Niamey étant de l'ordre de 50 jours il est visible que cette crue n'a provoqué aucune modification de la décrue à Niamey.
- En 1985, le débit à Mopti atteint $120 \text{ m}^3/\text{s}$ en restant supérieur à $100 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant 4 jours du 5 au 8 mars. Bien que les débits mis en jeu soient apparemment moins importants l'effet sur la décrue à Niamey est notable puisque celle-ci est stoppée net le 25 avril. Les niveaux remontent ensuite jusqu'au 30 avril-2 mai pour redescendre ensuite. La décrue reprend avec 12 jours de retard sur la décrue non influencée.

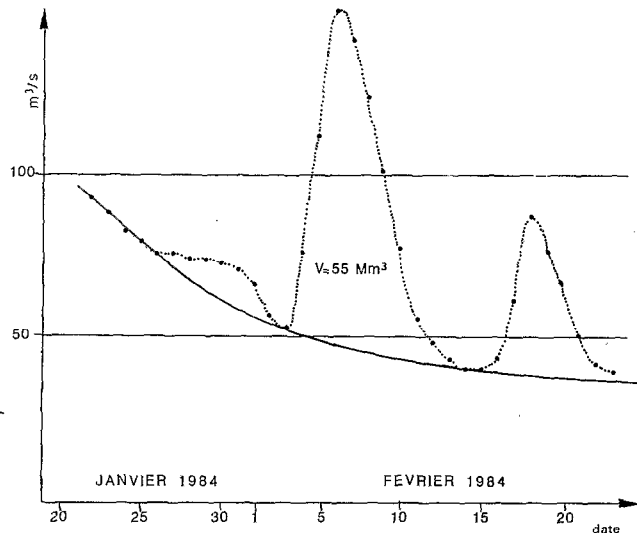
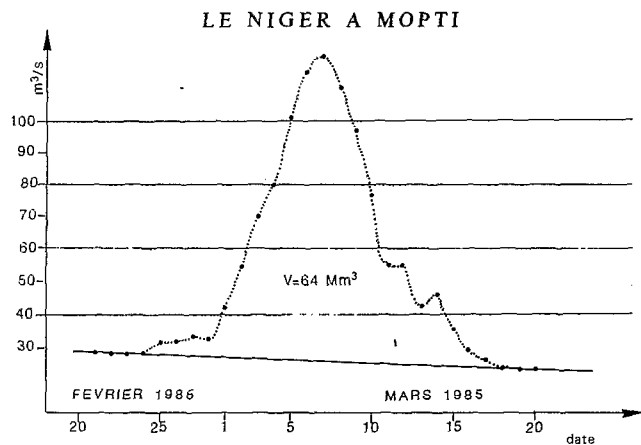


FIG. 12. – Exemples d'influence à Mopti de lâchers à Markala

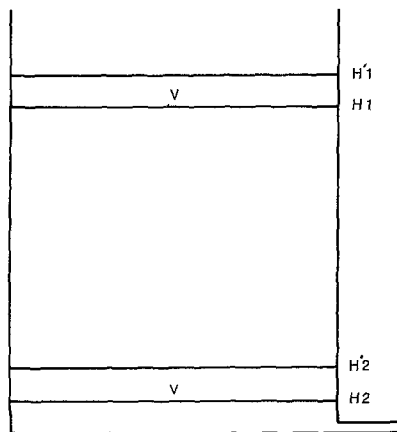


FIG. 13. – Effet de charge sur la vidange de réservoir

Cette crue du 30 avril à Niamey a bien le Mali pour origine. En effet, aucune pluie n'a été enregistrée sur la région amont de Niamey au cours des jours (et même des semaines) précédents. Une tournée effectuée début mai sur les affluents du Burkina Faso a permis de constater que ceux-ci n'avaient pas encore coulé. Enfin la station hydrologique d'Ayorou a enregistré cette crue le 20 avril soit 10-12 jours avant Niamey.

Pour tenter d'expliquer cette anomalie apparente entre ces deux situations, 1984 et 1985, il convient d'abord de préciser les débits mis en jeu. En effet, une décrue simple se transmettra à l'aval sous forme simple.

Pour cela, nous avons représenté sur la figure 12 les deux périodes comparées en introduisant le débit de base de chacun des hydrogrammes. Par rapport à la décrue normale l'injection de débit supplémentaire correspond à :

55 millions de m^3 en février 1984,
64 millions de m^3 en mars 1985.

Contrairement à ce que pouvaient laisser croire les apparences les volumes mis en jeu sont plus importants en 1985 qu'en 1984. Cependant, l'écart entre les deux volumes paraît trop petit pour justifier de telles disparités dans les effets.

Deux explications complémentaires peuvent être avancées.

1. La première revient aux hypothèses de base de la décrue considérée comme vidange de réservoir. La figure 13 représente un réservoir en cours de vidange avec à un instant donné un niveau H1 élevé. La loi de vidange en fonction du temps est connue et dépend des caractéristiques du réservoir et de l'ajutage de sortie.

A cet instant, une injection instantanée d'eau de volume V fait monter le niveau en H'1. La charge étant forte le volume V est rapidement évacué et le niveau du réservoir redescend très vite en H1 où il retrouve la même loi de vidange que précédemment mais légèrement retardée dans le temps.

En appliquant le même raisonnement à partir du niveau H2 très bas, la séquence logique est la même mais le décalage de temps sera beaucoup plus long car le débit de vidange étant faible il faudra beaucoup plus de temps pour évacuer le même volume V et pour que le niveau redescende de H'2 à H2.

De ce schéma se dégagent donc 2 observations :

- Pour être efficaces les lâchers doivent avoir lieu avec un niveau de réservoir bas qui retardera davantage la décrue.
- La loi de tarissement après « injection » est parallèle à la loi d'origine.

A condition que l'apport supplémentaire puisse être considéré comme « instantané ».

Les possibilités de vérification sont peu nombreuses mais vont dans le sens de la confirmation.

Pour le premier point ci-dessus la comparaison des années 1984 et 1985 montre que pour des volumes injectés de même ordre de grandeur l'effet a été négligeable en 1984 avec un niveau de « réservoir » élevé (débit de base de 50 m^3/s) alors qu'avec un débit de base réduit de moitié (25 m^3/s) donc un réservoir moins plein en 1985, l'effet à Niamey a été très sensible.

La seconde observation trouve également sa justification. En effet, si le parallélisme des lois de tarissement n'a pu être observé à Niamey en 1985 car la décrue de mai a été perturbée par l'arrêt progressif des pompages pour les périmètres irrigués dans la première quinzaine de mai, par contre ce parallélisme est net à Kandadji où les débits de 1985, après la crue en provenance de Mopti, sont (par un pur hasard) dans le prolongement de la décrue 1984 (fig. 8).

Nous en déduisons donc que si les lâchers de Markala effectués au bon moment en 1985 ont permis de retarder la décrue à Niamey de 12 jours, par contre une gestion identique à celle de 1984 n'aurait eu que peu ou pas d'effet sur la décrue à Niamey.

2. Après cette première explication possible, une autre hypothèse peut être mise en avant pour comprendre les différences de résultats obtenus après deux lâchers relativement voisins en volume en 1984 et 1985.

Le tracé des décrues théoriques sans, et avec, les lâchers de Markala en 1985 permet d'évaluer à 10 millions de m^3 le volume résiduel à Niamey des 64 millions passés à Mopti. Les pertes sont considérables : 54 millions de m^3 . Si, pour une raison qui n'apparaît pas clairement pour l'instant, ces pertes étaient assez constantes on obtiendrait alors un volume résiduel de :

1 million m^3 en 1984,
10 millions m^3 en 1985.

La différence devient conforme aux observations à Niamey. Il reste à expliquer pourquoi les volumes lâchés dans ces conditions particulières subiraient des pertes, spécifiques à ces lâchers, importantes et peu variables.

Il est à noter que les deux hypothèses développées ci-dessus ne s'excluent pas l'une l'autre.

3.2.3. Les pompages pour les périmètres irrigués

L'ensemble des périmètres irrigués entre Niamey et Kandadji couvrait une superficie aménagée de 4 152 ha au cours de l'étiage 1985. Sur ce total les superficies réellement irriguées représentaient 1 850 ha pour la zone Tillabery et 1 240 ha pour la zone Niamey soit 3 090 ha au cours de cette période.

Le MDR-GR (1) qui nous a fourni les chiffres de ce paragraphe estimait les besoins en eau théoriques pour ces périmètres à :

2 ^e quinzaine	avril	4,42 m ³ /s
Mois de	mai	1,82 m ³ /s
Mois de	juin	0,00 m ³ /s.

Sur une partie de ces périmètres les heures de fonctionnement des pompes ont été soigneusement notées et permettent de déterminer de façon précise les quantités d'eau, ou débits, utilisés.

Le tableau I regroupe les observations sur 3 périmètres totalisant 1 695 ha soit 55 % des superficies irriguées en 1985. La dernière ligne du tableau présente une évaluation des débits consommés sur 3 090 ha, obtenue par extrapolation des résultats sur 1 695 ha.

TABLEAU I

Périmètres	Superficie ha	Débits pompés en m ³ /s			
		2e quinz. avril	1e quinz. mai	2e quinz. mai	1e quinz. juin
NAMARI GOUNGOU	1 268	2,22	1,52	0,22	0,80
YELEMANI	110	0,20	0,07	0,00	0,00
KOUTOUKALE	317	0,32	0,46	0,06	0,00
Totaux	1 695	2,74	2,05	0,28	0,80
Extrapolations	3 090	5,00	3,73	0,51	1,46

Les consommations effectives sont un peu plus importantes que les besoins théoriques en avril (5,00 contre 4,42 m³/s) et en mai (2,12 en moyenne contre 1,82 m³/s). Par contre les pompages qui devaient être nuls en juin se sont poursuivis au rythme élevé de 1,46 m³/s dans la 1^{re} quinzaine.

L'arrêt des pompages signalé par l'ONAHA au cours de la première quinzaine de mai ressort très nettement du tableau puisque l'on passe de 5,00 m³/s à 3,73 puis 0,51 m³/s. Au cours de la seconde quinzaine de mai, ce sont, par rapport à avril, 90 % des prélèvements qui sont annulés pour reprendre partiellement ensuite en juin.

Ces diminutions des volumes pompés s'effectuent simultanément par l'arrêt successif des pompes en service et la réduction du nombre d'heures quotidien de fonctionnement.

A Namari Goungou par exemple, on observe successivement :

15 au 25 avril	3 pompes pendant 14 h/jour
1 au 8 mai	3 pompes pendant 10 h/jour
9 au 16 mai	2 pompes pendant 8 h/jour
17 au 31 mai	1 pompe pendant 5 h/jour

Il est à noter enfin que les aménagements progressent chaque année et 300 ha supplémentaires seront mis en exploitation en 1985-1986 (périmètre de Daïberi). Les débits prélevés sur le fleuve en basses eaux continueront à croître d'autant plus que les calendriers de cultures changent d'une année à l'autre et d'un périmètre à l'autre conduisant à des pompages non négligeables même si les besoins théoriques sont nuls (juin).

(1) MDR-GR : Ministère du Développement Rural, section du Génie Rural.

4. LA DÉCRUE 1985, PRÉVISION, RÉALITÉ

4.1. PRÉVISION

Devant la faiblesse de la crue du Niger en 1984 les prévisions suivantes ont été publiées dans une note du 3 décembre 1984, « *Perspectives 1985* » :

La crue 1984-1985 du fleuve est sensiblement plus faible que celle de 1983-1984 puisqu'elle plafonne à 1 050 m³/s contre 1 250 m³/s l'année précédente. La décrue 1985 sera donc encore plus précoce que celle de 1984 et il faudra en mai-juin des pluies supérieures à la normale (comme en 1984) sur les bassins des affluents burkinabés de rive droite pour échapper à l'arrêt de l'écoulement du fleuve.

La figure 6 permet de prévoir comme date moyenne le 7 mars pour atteindre le débit de 100 m³/s en décrue. Sur 17 années les écarts expérimentaux de prévision sont répartis ainsi :

1 fois	27 jours (1975)
2 fois	compris entre 17 et 14 jours
14 fois	inférieurs à 8 jours.

Lorsque ce point est positionné sur un graphique analogue à la figure 5, il suffit de tracer la droite parallèle aux autres droites de décrue pour obtenir les débits à chaque date.

En l'absence de perturbations (pluies entre autres) le débit 10 m³/s serait atteint vers le 3 mai et l'arrêt de l'écoulement aurait lieu fin mai.

4.2. RÉALITÉ

En fait les 100 m³/s ont été atteints le 4 mars soit un écart de 3 jours sur la prévision faite 3 mois auparavant.

Le 25 mars une nouvelle note faisait le point sur la décrue en cours :

« Cet écart (de 3 jours) est conforme aux résultats antérieurs et ne modifie pas la prévision faite le 3 décembre d'un arrêt de l'écoulement du fleuve au cours de la seconde quinzaine de mai en l'absence de précipitations suffisantes à cette période ou d'un changement important dans la gestion des eaux au Mali (et au Niger). »

Parallèlement une nouvelle prévision (fig. 14) donnait 10,4 m³/s le 25 avril pour une réalisation qui a été de 10,6 m³/s ce jour-là.

C'est à cette date que se font sentir les perturbations amenées par deux modifications dans la gestion des eaux par rapport aux années antérieures 1983 et 1984 et qui ont permis de retarder la décrue en repoussant l'arrêt de l'écoulement au 15 juin.

Alors qu'en 1983 ou 1984 les lâchers de Markala n'avaient eu aucune influence sur la décrue, en 1985 celle-ci a été retardée de 12 jours en raison d'une date plus favorable pour des lâchers d'un volume un peu plus important.

Le second facteur favorable est venu de l'ONAHHA qui, averti de la sévérité de l'étiage, a avancé de 2 mois environ les cultures sur périmètres irrigués ce qui a eu pour conséquence d'arrêter 80 % des pompages dans la première quinzaine de mai. Les débits ainsi libérés pour le fleuve représentent environ 7 m³/s pendant le fonctionnement des pompes soit 4 m³/s en débit moyen journalier. Sans cette mesure, l'écoulement s'arrêtait le 1^{er} juin et ce sont donc 15 jours supplémentaires qui ont été gagnés.

En définitive, une gestion des eaux identique à celle de 1984 conduisait à l'arrêt de l'écoulement le 20 mai alors que les mesures prises ont permis de repousser cet arrêt au 15 juin.

4.2.1. Évaluation des débits naturels entrant à Niamey

Sur l'échelle provisoire installée en amont de Niamey (§ 2.2.) la cote minimale est descendue à 053 le 26 juin, correspondant à 0,2 m³/s environ mais le chiffre n'est pas très précis car il est obtenu par extrapolation vers le bas de la courbe de tarage (courbe de la figure 15 à laquelle on ajoute 0,5 m³/s pour obtenir le débit en amont de Niamey).

Une autre estimation plus précise fera intervenir les variations de stock de la retenue et les prélèvements Nigelec :

$Q_{\text{NIGELEC}} = Q_{\text{Amont}} + Q_{\text{stock}}$, ce dernier facteur étant positif lorsque le niveau de la retenue baisse.

$$Q_{\text{Amont}} = 0,5 - Q_{\text{stock}}.$$

En admettant une évaporation de la retenue de 7 mm/jour fin juin, on obtient :

– du 23 au 26 juin, une moyenne sur 3 jours de :

$$Q_{\text{stock}} = 2,3 \cdot 10^6 (40-21) \cdot 10^{-3} : (86\,400 \times 3) = 0,17 \text{ m}^3/\text{s}$$

soit en arrondissant :

$$Q_{\text{Amont}} = 0,5 - 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

- du 24 au 25 juin :

$$Q_{\text{stock}} = 2,3 \cdot 10^6 (20-7) \cdot 10^{-3} : 86\,400 = 0,35 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{soit } Q_{\text{Amont}} = 0,50 - 0,35 = 0,15 \text{ m}^3/\text{s} \text{ arrondi à } 0,2 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Le débit entrant à Niamey ($0,2 \text{ m}^3/\text{s}$) étant inférieur au débit prélevé par Nigelec ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) le débit à l'aval de Niamey ne pouvait être que nul. Avec ou sans batardeau.

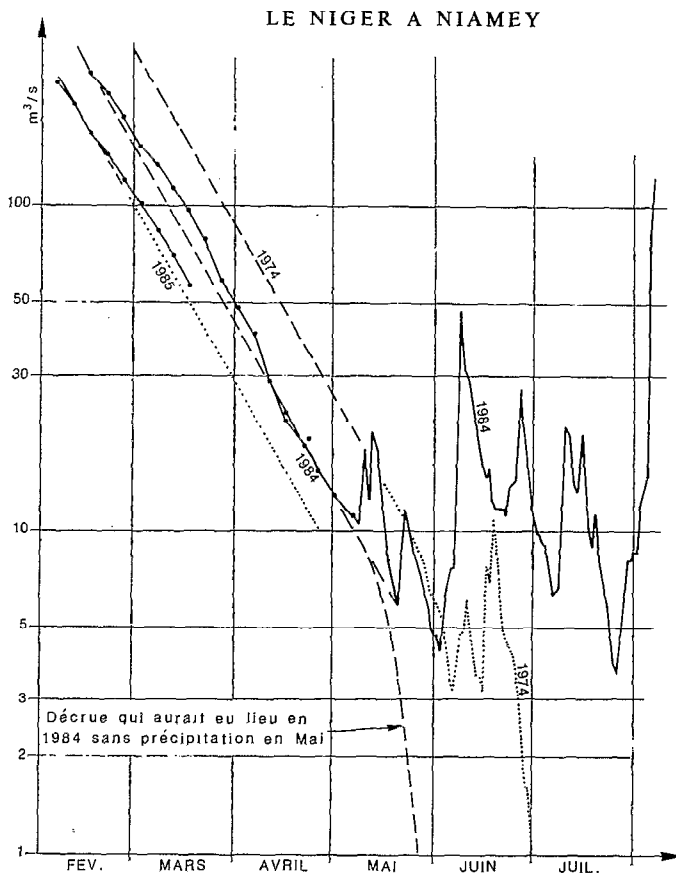


FIG. 14. - Prédiction, en mars 1985, du débit d'étiage

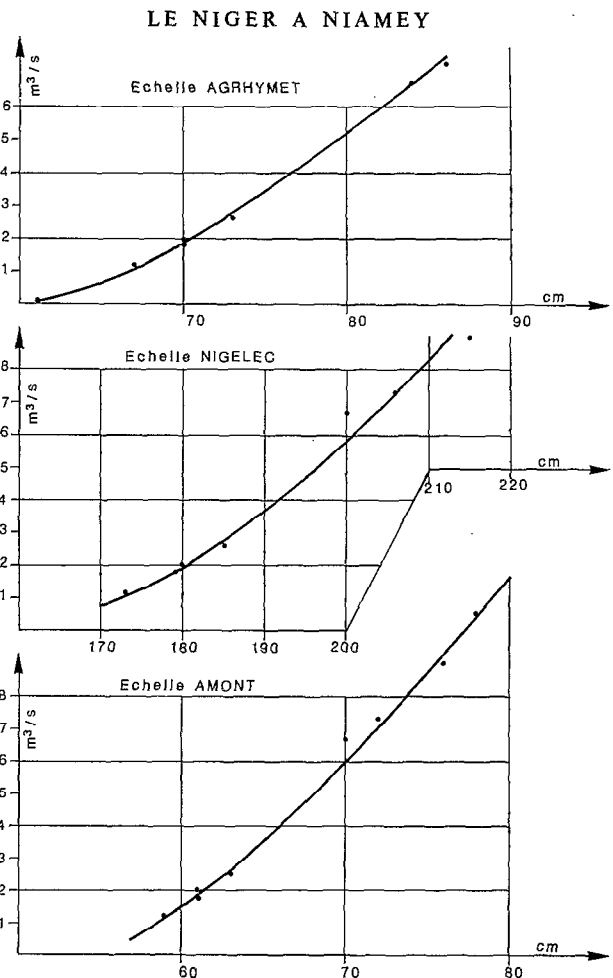


FIG. 15. - Tarage de très basses eaux

4.2.2. Étiages observés à Kandadji, Tillabery, Malanville

A Kandadji, un premier minimum est observé les 24 et 25 juin avec un débit de $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondant d'ailleurs au jaugeage réalisé ces jours-là. Un autre minimum à $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ se produit quelques jours plus tard, le 7 juillet. Il s'agit du plus faible débit jamais enregistré à Kandadji.

A Tillabery, un représentant du FED (1) en mission dans la région a constaté dans le courant du mois de juin, l'arrêt de l'écoulement du fleuve près de Tillabery.

A Malanville, un représentant de l'OMM (2) en mission dans la région a observé un écoulement pratiquement nul du fleuve, également en juin.

4.2.3. Comparaisons avec les décrues des années sèches précédentes

Les figures 11, 16 et 17 présentent la décrue 1985 à Niamey comparée successivement aux années antérieures les plus sévères : 1984 (fig. 11), 1983 (fig. 17) et 1974 (fig. 16).

Jusqu'au 25 juin 1985 la courbe de décrue du fleuve est en dessous de toutes les courbes existant depuis 50 ans.

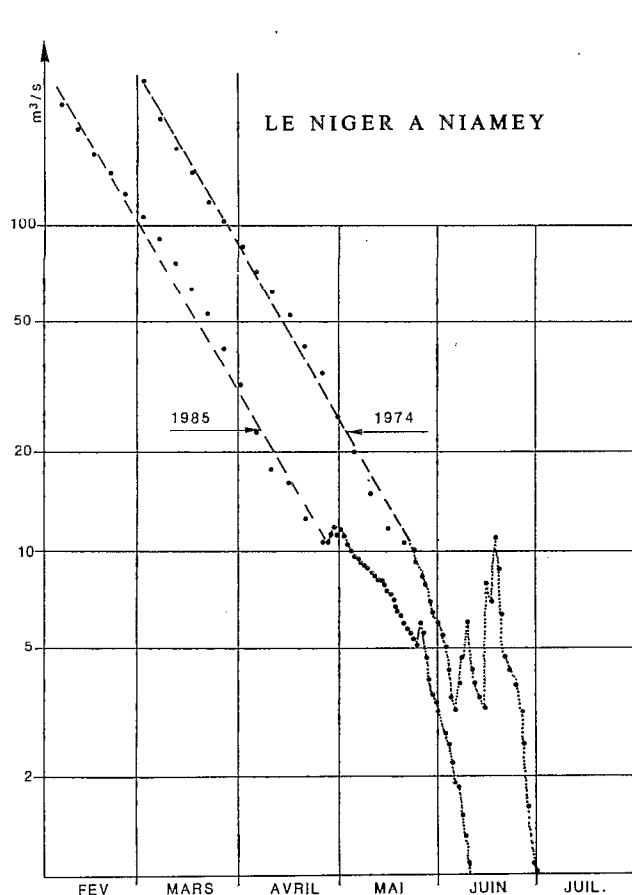


FIG. 16. - Comparaison des décrues 1985 et 1974

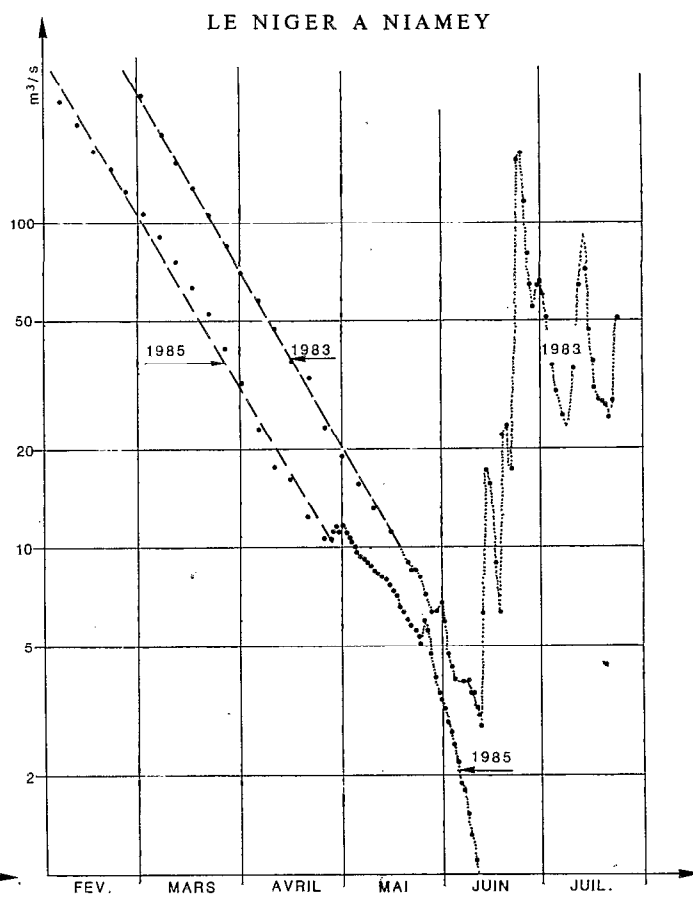


FIG. 17. - Comparaison des décrues 1985 et 1983

5. MODE DE DÉTERMINATION DE L'ÉTIAGE 1985

5.1. ÉVOLUTION DU PLAN D'EAU DURANT LA MISE EN PLACE DU BATARDEAU

Les travaux du batardeau commencent le 28 avril. Les cotes des différentes échelles montent un peu à l'arrivée de la crue en provenance de Markala jusqu'au 2 mai. La fermeture du lit progresse et le 3 mai l'échelle Nigelec enregistre encore une petite hausse quand les cotes de Goudel (non encore influencée) et Amont baissent.

La fermeture totale du lit a lieu le 9 mai dans l'après-midi entraînant une baisse à Aghrymet et une élévation rapide à Nigelec d'abord puis Goudel. L'échelle Amont continue de décroître mais très lentement en raison d'un manque de sensibilité dû (nous le verrons en très basses eaux) à un seuil de contrôle horizontal et long. Il apparaît par contre que le seuil en gabions qui sert de déversoir au batardeau constitue une section de contrôle très sensible pour la détermination des débits et il sera utilisé comme tel pendant quelque temps.

Après un remplissage complet de la retenue (cote 210 à Nigelec) le niveau d'eau se met à baisser jour après jour et des travaux partiels d'étanchement du seuil en gabions sont entrepris le 11 juin. Dès le 12 les débits redeviennent nuls à l'aval alors que la cote de la retenue remonte et que le niveau d'eau continue à baisser sur l'échelle Amont.

Une petite crue dans la journée du 13 juin remonte le niveau qui passe au-dessus de la terre mise en place pour étancher les gabions. L'écoulement aval reprend et se poursuit jusqu'au 18 juin en raison de l'érosion progressive du seuil de contrôle en terre des gabions. Alors que le 13 juin au matin l'écoulement aval était nul pour $H = 176$ Nigelec, le 18 juin un écoulement subsistait pour $H = 170$. Les travaux d'étanchement reprennent le 17 juin pour se terminer le 19, jour où l'écoulement aval s'arrête pour reprendre le 27 suite à la forte pluie du 26. Les modifications constantes du seuil conduisent à n'utiliser l'échelle Nigelec que pour des bilans pendant cette période.

5.1.1. Vérification oculaire du seuil naturel de contrôle des très basses eaux, découvert

Nous avons profité de son assèchement le 12 juin pour contrôler de visu le seuil de Saga qui en très basses eaux sert de seuil de contrôle aux deux échelles Aghrymet et Nigelec (sans batardeau). Pour $H = 061$ à l'échelle Aghrymet le débit est de l'ordre de 100 l/s. Le seuil est constitué de matériaux durs et cohérents, aucune trace de sable et la roche en place affleure. Compte tenu de ces caractéristiques il semble normal que les jaugeages de basses eaux effectués depuis plus de 10 ans se concentrent sur une seule courbe en dessous de 8-10 m³/s. Cette observation est importante car elle permet de lever le doute sur les basses eaux des années anciennes au cours desquelles aucun jaugeage n'avait été effectué.

5.2. TARAGE

La liste des jaugeages exécutés en 1985 par MM. GALLAIRE, NIONGA et CHAFIK est donnée par le tableau II.

Pour compléter le tarage de l'échelle Amont on ajoutera le débit connu et stable de 10,6 m³/s pour $H = 0,78$ le 26 avril.

Les courbes de tarage sont présentées sur les figures 18 et 15.

La détermination des débits s'effectuera successivement :

- Échelle Nigelec, tarage n° 1.85 jusqu'au 2 mai inclus.
- Échelle Amont du 3 au 13 mai. La décrue se présentant en escalier en raison du peu de sensibilité de la station, les débits ont été lissés.
- Échelle Nigelec, tarage n° 2.85 du 14 mai au 11 juin inclus.
- Échelle Aghrymet à partir du 11 juin et estimation par bilan pour l'estimation des débits « naturels » sans batardeau.

(1) FED : Fonds Européen de Développement.

(2) OMM : Organisation Météorologique Mondiale.

5.3. DÉBITS JOURNALIERS

Ils sont regroupés en tableaux annexes. Ils représentent d'une part les débits observés à l'aval du batardeau, d'autre part les débits « naturels » que l'on aurait observés sans l'existence du batardeau. En effet, les travaux réalisés sur ce dernier perturbent dans certains cas la signification des débits aval. Par exemple ceux-ci sont nuls les 12 et 13 juin uniquement en raison des travaux d'étanchement. En contrepartie alors que les débits « naturels » étaient nuls du 15 au 18 juin des infiltrations à travers les gabions ont maintenu un débit artificiel à l'aval durant la même période.

La détermination des débits du fleuve avec la présence du batardeau n'a pas pris en compte les variations du stock de la retenue du batardeau car les volumes mis en jeu jusqu'au 10 juin étaient faibles devant les débits entrant ou sortant.

Les débits en aval de Nigelec diminuant, les variations du volume stocké dans la retenue prennent de l'importance et conduisent à évaluer des débits « naturels » par opposition à ceux observés en aval du batardeau.

Le bilan de la retenue s'écrit :

Volume de sortie = Volume entrant - Volume prélevé (Nigelec + évaporation) + Volume de la retenue destocké entre les deux dates du bilan.

$$V_{\text{sortie}} = V_{\text{entrant}} - V(\text{NIG} + \text{EV}) + V_{\text{stok}}$$

d'où

$$V(\text{NIG} + \text{EV}) = V_{\text{entrant}} + (V_{\text{stock}} - V_{\text{sortie}})$$

TABLEAU II
Le Niger à Niamey. Jaugeages 1985

Dates	H Nigelec	Débit	H Amont	H Agrhymet
08/01/85	276	540		
23/01	234	370		
07/02	190	225		
07/03	138	91		
20/03	120	54		
27/03	109	42		
05/04	095	24		
11/04	088	16,5		
19/04	083	12,3		
26/04	078	10,9		
09/05	(215)	9,0	076	
17/05	206	7,3	072	086
22/05	200	6,7	070	084
03/06	185	2,6	063	073
06/06	180	2,0	061	070
07/06	179	1,8	061	070
10/06	173	1,2	059	067
12/06	(1)	0,1	(1)	061
(1) Cotes sans significations				

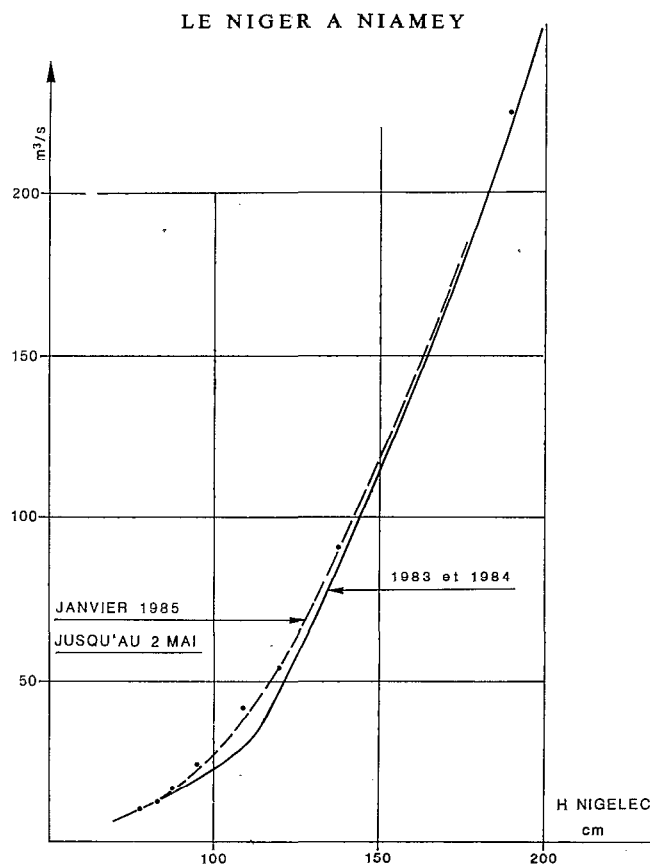


FIG. 18. - Étalonnage de basses eaux avant mai 1985



Seuil de Saga

Si la quantité ($V \text{ stock} - V \text{ sortie}$) est négative cela signifie que le volume d'eau arrivant à Niamey est supérieur aux prélèvements, il n'y a donc pas de problèmes d'alimentation en eau.

Si la quantité ($V \text{ stock} - V \text{ sortie}$) est nulle, cela signifie que les prélèvements accaparent la totalité des débits entrant à Niamey et le débit du fleuve devient nul à l'aval de Nigelec.

Si la quantité ($V \text{ stock} - V \text{ sortie}$) est positive, les débits entrant à Niamey sont inférieurs aux prélèvements et il y a pénurie.

Examinons les valeurs de la quantité :

$$A = (V \text{ stock} - V \text{ sortie})$$

Le calcul de la variation de stock fait intervenir la superficie de la retenue. D'après les chiffres fournis par le MDR-GR, l'interpolation pour $H = 1,75 \text{ m}$ à l'échelle Nigelec donne $S = 2,3 \text{ km}^2$ et $2,4 \text{ km}^2$ pour $H = 1,86 \text{ m}$.

On obtient donc :

Du 1 au 2 juin

$$V \text{ stock} = 2,4 \cdot 10^6 (1,88 - 1,86) = 48 \text{ Mm}^3 \text{ (milliers m}^3\text{)}$$

dans laquelle $2,4 \cdot 10^6$ est la superficie en mètres carrés et 1,88 et 1,86 m les cotes Nigelec les 1 et 2 juin.

$$V \text{ sortie} = (3,2 + 2,9) : 2 \times 86\,400 = 264 \text{ Mm}^3$$

dans laquelle 3,2 et 2,9 sont les débits de sortie les 1 et 2 juin et 86 400 le nombre de secondes par jour. D'où :

$$A = V \text{ stock} - V \text{ sortie} = 48 - 264 = -216 \text{ Mm}^3$$

Ce chiffre négatif fort signifie que les prélèvements Nigelec sont encore petits par rapport aux apports du fleuve.

Du 5 au 6 juin

$$\begin{aligned} V \text{ stock} &= 2,4 \cdot 10^6 (1,82 - 1,80) = 48 \text{ Mm}^3 \\ V \text{ sortie} &= (2,2 + 1,9) : 2 \times 86\,400 = 177 \text{ Mm}^3 \\ A &= 48 - 177 = -129. \text{ La valeur de } A \text{ augmente.} \end{aligned}$$

Du 10 au 11 juin

$$\begin{aligned} V \text{ stock} &= 2,3 \cdot 10^6 (1,73 - 1,71) = 46 \text{ Mm}^3 \\ V \text{ sortie} &= (1,1 + 0,8) : 2 \times 86\,400 = 82 \text{ Mm}^3 \\ A &= 46 - 82 = -36 \end{aligned}$$

Du 14 au 15 juin

$$\begin{aligned} V \text{ stock} &= 2,4 \cdot 10^6 (1,83 - 1,80) = 72 \text{ Mm}^3 \\ V \text{ sortie} &= (1,6 + 1,3) : 2 \times 86\,400 = 125 \text{ Mm}^3 \\ A &= 72 - 125 = -53 \end{aligned}$$

Du 15 au 16 juin

$$\begin{aligned} V \text{ stock} &= 2,3 \cdot 10^6 (1,80 - 1,75) = 115 \text{ Mm}^3 \\ V \text{ sortie} &= (1,3 + 1,1) : 2 \times 86\,400 = 104 \text{ Mm}^3 \\ A &= 115 - 105 = +11 \end{aligned}$$

Du 16 au 17 juin

$$\begin{aligned} V \text{ stock} &= 2,3 \cdot 10^6 (1,75 - 1,72) = 69 \text{ Mm}^3 \\ V \text{ sortie} &= (1,1 + 0,6) : 2 \times 86\,400 = 73 \text{ Mm}^3 \\ A &= 69 - 73 = -4 \end{aligned}$$

Du 17 au 18 juin

$$\begin{aligned} V \text{ stock} &= 2,3 \cdot 10^6 (1,72 - 1,70) = 46 \text{ Mm}^3 \\ V \text{ sortie} &= (0,6 + 0,2) : 2 \times 86\,400 = 35 \text{ Mm}^3 \\ A &= 46 - 35 = +11 \end{aligned}$$

Du 19 au 26 juin les débits de sortie sont nuls en raison des travaux d'étanchement réalisés et la valeur de A se réduit à V stock.

Du 18 au 19 juin

$$A = V \text{ stock} = 2,3 \cdot 10^6 (1,70 - 1,76) = -138 \text{ Mm}^3$$

et les jours suivants :

Jours	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Cotes	1,70	1,76	1,79	1,81	1,82	1,82	1,81	1,79	1,78
A	-138	-69	-48	-24	0	+24	+48	+24	

Par suite d'une petite crue le niveau d'eau s'élève dans la retenue du 19 au 22 juin ; les prélèvements sont inférieurs aux apports amont. Par contre le niveau se stabilise le 23 et redescend ensuite : les prélèvements sont redevenus supérieurs aux apports.

De nouvelles crues surviennent à partir du 27 juin.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction
le 27.12.1985

LE NIGER A NIAMEY - 1983									
Débits en m3/s									
JOURS	JANV.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.
1			246	70,2	18,8	5,9	59,6	104	
2			230	68,0	18,3	4,7	51,2	111	
3			215	65,9	17,8	4,3	43,0	106	
4			203	63,8	17,2	3,9	35,6	102	
5			191	61,7	16,7	3,9	29,8	104	
6			188	57,5	15,7	3,9	28,0	188	
7			186	55,4	15,2	3,9	25,4		
8			178	53,3	14,7	3,9	23,4		
9			169	51,2	14,2	3,6	45,0		
10			164	49,1	13,7	3,6	35,6		
11			156	47,0	13,2	3,2	43,0		
12			151	45,0	13,2	2,8	63,8		
13			146	43,0	12,2	6,3	90,0		
14			143	39,0	11,7	17,2	72,4		
15			138	37,0	11,2	15,7	47,0		
16			133	37,0	11,2	13,7	37,0		
17			128	35,6	11,2	8,9	31,2		
18			126	35,6	11,2	6,3	28,0		
19			121	34,1	11,2	22,0	28,0		
20			116	34,1	10,3	23,4	27,2		
21			113	32,7	8,9	17,2	24,7		
22			106	29,8	8,5	17,2	28,0		
23			102	28,0	8,5	156	51,2		
24			96,9	26,3	8,5	164	45,0		
25			92,3	24,7	8,0	118	37,0		
26			87,8	22,7	7,1	79,0	29,8		
27			83,4	21,4	7,1	63,8	25,4		
28			81,2	20,7	6,3	55,4	21,4		
29			81,2	20,7	6,3	63,8	22,0		
30			76,8	20,1	6,3	65,9	35,6		
31			72,4		6,7		68,0		

LE NIGER A NIAMEY - 1984									
Débits en m3/s									
JOURS	JANV.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.
1			154	49,1	13,2	4,7	10,7	8,5	
2			148	47,0	13,2	4,3	9,8	12,2	
3			146	45,0	12,2	5,5	9,4	13,2	
4			141	45,0	11,7	6,7	8,9	14,7	
5			138	43,0	11,2	7,6	7,6	83,4	
6			133	41,0	11,2	7,6	6,3	123	
7			131	39,0	11,2	19,4	6,3	154	
8			126	35,6	10,7	47,0	6,7	169	
9			123	34,1	13,2	31,2	10,7	180	
10			121	31,2	17,8	31,2	20,7	191	
11			118	28,9	12,7	26,3	19,4	200	
12			116	28,0	20,1	22,0	14,2	240	
13			113	27,2	17,8	19,4	13,2	246	
14			108	25,4	14,2	16,7	15,2	243	
15		252	104	23,4	10,7	15,7	19,4		
16		246	102	22,0	9,4	14,7	14,2		
17		237	99,2	22,0	8,0	15,7	10,3		
18		227	94,6	21,4	7,6	12,2	8,9		
19		215	90,0	20,7	6,7	11,7	11,2		
20		215	83,4	19,4	5,9	11,7	8,9		
21		212	81,2	18,8	9,4	11,7	7,6		
22		209	79,0	18,3	11,7	11,2	6,7		
23		203	74,6	17,2	10,3	13,7	5,9		
24		194	72,4	16,7	9,8	14,2	5,1		
25		186	68,0	16,2	8,9	14,2	3,9		
26		180	63,8	15,7	8,5	27,2	3,6		
27		175	59,6	15,2	8,0	22,0	4,7		
28		167	57,5	14,2	6,7	17,8	6,7		
29		159	53,3	13,7	5,9	14,2	8,0		
30			51,2	13,2	5,1	11,7	8,0		
31			51,2		4,7		8,5		

ANNEXES

LE NIGER A NIAMEY - 1985										
Débits en m ³ /s										
Débits en aval du batardeau										Débits "naturels" sans batardeau
JOURS	JANV.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOÛT	SEPT.	JUIN
1			111	32,0	11,1	3,2	25,0	222		
2			107	29,5	11,6	2,9	65,0	234		
3		252	102	27,4	11,0	2,7	63,0			
4		246	100	25,4	10,4	2,5	42,0			
5		237	97,3	24,4	10,0	2,2	26,0			
6		230	95,0	23,3	9,6	1,9	22,9			
7		221	90,8	21,3	9,4	1,8	20,8			
8		215	88,7	19,2	9,2	1,5	14,3			
9		210	84,5	18,4	9,0	1,3	10,5			
10		201	82,4	17,7	8,8	1,1	9,2			
11		196	78,2	17,7	8,5	0,8	9,2			
12		190	76,1	17,7	8,3	0,1	7,9			0,8
13		183	72,2	16,9	8,0	0,0	5,9			0,5
14		175	70,4	16,9	8,0	1,6	5,6			0,6
15		167	70,4	16,9	7,8	1,3	5,2			0,0
16		162	66,8	16,2	7,5	1,1	20,8			0,0
17		155	63,2	15,4	7,3	0,6	34,0			0,0
18		155	61,4	13,9	7,0	0,2	37,2			0,0
19		150	57,8	13,9	6,5	0,0	42,0			1,6
20		147	56,0	13,1	6,3	0,0	77,0			0,8
21		142	54,6	12,4	6,0	0,0	83,4			0,5
22		137	53,2	11,6	5,8	0,0	113			0,3
23		132	50,4	11,1	5,6	0,0	90,0			0,0
24		130	47,6	11,1	5,4	0,0	85,6			0,0
25		125	44,8	10,6	5,1	0,0	111			0,0
26		123	43,4	10,6	6,0	0,0	115			0,0
27		118	40,8	10,6	5,6	9,3	123			
28		118	39,5	10,6	4,7	13,9	222			
29			38,3	11,1	4,0	15,8	212			
30			35,8	11,6	3,6	19,9	222			
31			33,3		3,4		215			

Les sécheresses du Nordeste brésilien

M. MOLINIER, E. CADIER (1)

RÉSUMÉ

Le Nordeste du Brésil, qui occupe une surface de 1 660 000 km², est soumis à un ensemble de mécanisme climatiques complexes. Dans le polygone de la sécheresse (950 000 km²), on observe une grande irrégularité spatiale et temporelle des précipitations dont les moyennes varient entre 400 et 800 mm. Chaque siècle, plusieurs grandes sécheresses s'abattent sur le Nordeste ; elles sont caractérisées par de faibles totaux pluviométriques, mais surtout par une mauvaise distribution des pluies qui provoque la perte des récoltes. La dernière sécheresse de 1979 à 1983 n'échappe pas à cette règle et ses effets sont encore aggravés par l'accroissement récent de la population qui atteint maintenant 36 millions d'habitants pour l'ensemble du Nordeste.

MOTS-CLÉS : Nordeste brésilien – Sécheresse – Irrégularité de précipitations – Mécanismes climatiques – Régimes pluviométriques – Distribution des pluies – Séries chronologiques.

RESUMO

AS SECAS DO NORDESTE BRASILEIRO

O Nordeste brasileiro ocupa uma superfície de 1.660.000 km² e está sob a influência de mecanismos climáticos complexos. No « Polígono das secas » (950.000 km²) observa-se uma grande irregularidade das precipitações, no espaço e no tempo. A cada século várias secas castigam o Nordeste ; essas secas são caracterizadas pela fraqueza dos totais pluviométricos, mas sobretudo, pela distribuição irregular das chuvas que provoca perdas das safras. A última seca de 1979 a 1983 não escapa a esta regra e seus efeitos foram ainda acentuados pelo crescimento recente da população que atinge, agora, o número de 36 milhões de habitantes em todo o Nordeste.

PALAVRAS CHAVES : Nordeste brasileiro – Seca – Mecanismo climáticos – Irregularidade das precipitações – Regimes das chuvas – Distribuição das chuvas.

ABSTRACT

THE DROUGHT OF THE NORTHEAST BRASIL

Northeast Brazil which spreads over 1,660,000 sq. km. is subject to a number of complex climate mechanisms. In the so-called Drought Polygon (about 950,000 sq. km.) a wide irregularity over space and time of precipitations with 400 to 800 mm. averages is commonly observed. Over the centuries severe droughts have hit the Northeast ; low pluviometric totals and mostly irregular rainfall distribution patterns are responsible for substantive crop losses. The last 1979-83 drought was no exception and was aggravated by the recent growth of a population which is currently estimated at 36 millions people for the whole of the Northeast.

KEY WORDS : Northeast Brazil – Drought – Climate mechanisms – Irregularity of precipitations – Rainfall regimes – Rainfall distribution – Time-series.

(1) Maîtres de recherches à l'ORSTOM.

I. INTRODUCTION

Le Nordeste, région la moins arrosée du Brésil, a toujours été périodiquement éprouvé par la sécheresse provoquée par des totaux annuels déficitaires ou par une mauvaise répartition des pluies et dans les cas les plus critiques par la conjugaison de ces deux causes. En fait, ce n'est pas tant la faible quantité d'eau précipitée annuellement qui est la cause principale des sécheresses, mais plutôt l'irrégularité des précipitations au cours d'une même année. Dans la zone semi-aride, où la pluviométrie moyenne interannuelle varie entre 400 et 800 mm, cette irrégularité se manifeste à deux niveaux :

- Tout d'abord au niveau de la distribution des totaux annuels dont les coefficients de variation sont généralement de l'ordre de 0,35 à 0,40.

- Ensuite au niveau de la distribution saisonnière des précipitations. On pourrait, d'ailleurs, souvent remplacer le terme de « saison des pluies » par une formule telle que « période au cours de laquelle peuvent survenir des pluies » ; cette période pouvant s'étendre sur plus de six mois alors que la durée totale réelle des épisodes pluvieux ne dépasse pas 20 jours au cours de certaines années déficitaires.

A cela il faut ajouter une grande irrégularité spatiale des précipitations qui s'accroît au cours des périodes sèches.

Les hauteurs précipitées annuellement reflètent donc assez mal ce phénomène de sécheresse spécifique au Nordeste brésilien. Et il est préférable d'employer le terme de « sécheresse agricole » qui est lié à cette mauvaise distribution spatiale et temporelle des précipitations au cours de la saison des pluies, pour caractériser des années qui peuvent être normales sur le plan des totaux annuels mais dont les récoltes ont été désastreuses. Ainsi, il suffit de trois mois de pluies avec un total relativement faible mais bien distribué pour assurer la récolte des produits de subsistance et emmagasiner l'eau pour les hommes et le bétail. Inversement, il peut arriver qu'une année au total pluviométrique satisfaisant soit entrecoupée de périodes sèches de telle sorte que, souvent, et malgré plusieurs tentatives de semis, aucun des cycles végétatifs n'arrive à terme. L'exemple des cinq dernières années de sécheresse est caractéristique : seule l'année 1983 a présenté des totaux pluviométriques franchement déficitaires, mais les quatre années de 1979 à 1982 peuvent être considérées comme des années de « sécheresse agricole » bien que l'on ait observé, ces années-là, des totaux annuels proches de la normale.

Il existe plusieurs méthodes pour quantifier la gravité d'une période sèche. On peut, ce qui est souvent le cas, se limiter à ne considérer que la valeur et la période de retour des totaux pluviométriques. L'hydrologue cherchera à quantifier la faiblesse des volumes écoulés, la sévérité des étiages et la durée des périodes sans écoulement. L'agronome s'efforcera d'établir des indices de satisfaction en eau des diverses cultures et des pertes des récoltes correspondantes.

Dans les zones sèches du Nordeste, peuplées maintenant de près de 20 millions d'habitants, il faut évaluer les conséquences économiques et humaines des sécheresses en termes de préjudice subi par l'ensemble de la population, d'abord à cause du manque d'eau dans les rivières et les très nombreux barrages, mais surtout en raison des pertes causées à l'agriculture et à l'élevage, qui ont eu des conséquences dramatiques ces dernières années.

2. CARACTÉRISTIQUES DU NORDESTE

2.1. DESCRIPTION SOMMAIRE

La région du nord-est du Brésil, appelée Nordeste, occupe une surface de 1 660 000 km², soit 20 % du territoire brésilien. Elle est limitée par les parallèles 1° S et 18° S et les méridiens 35° W et 48° W (cf. fig. 1 et 2). La population de cette région est actuellement de 36 millions d'habitants, ce qui représente près du tiers de la population totale du Brésil. 55 % d'entre eux, soit environ 20 millions de personnes, vivent dans le trop célèbre « polygone des sécheresses » (fig. 3) qui couvre une surface de 950 000 km². La plus grande partie de ce polygone est constituée par le fameux « Sertão ».

Il est hors de notre propos de décrire dans le détail cette immense région très variée ; nous nous limiterons à quelques indications en nous référant parfois à l'Afrique avec laquelle elle a une origine géologique commune. Plus de la moitié du Nordeste est constitué de roches cristallines plus ou moins métamorphisées du socle précambrien où il n'existe malheureusement pas de grandes nappes exploitables hors des couches de décomposition les plus épaisses et des fractures. Le reste du Nordeste est composé de formations sédimentaires qui appartiennent principalement aux Cénozoïque, Mésozoïque et Paléozoïque ; plus perméables, elles sont souvent exploitables sur le plan hydrogéologique.

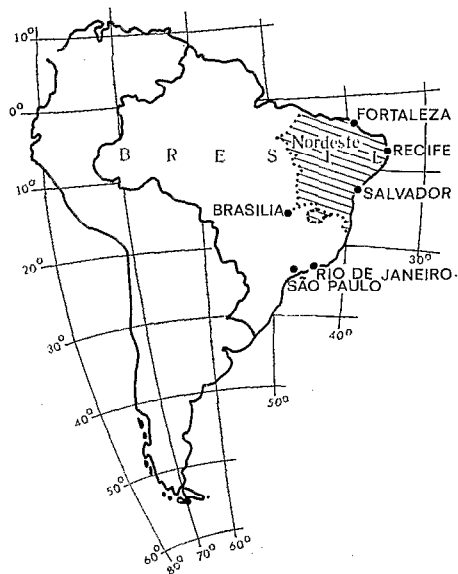


FIG. 1. - Situation du Nordeste

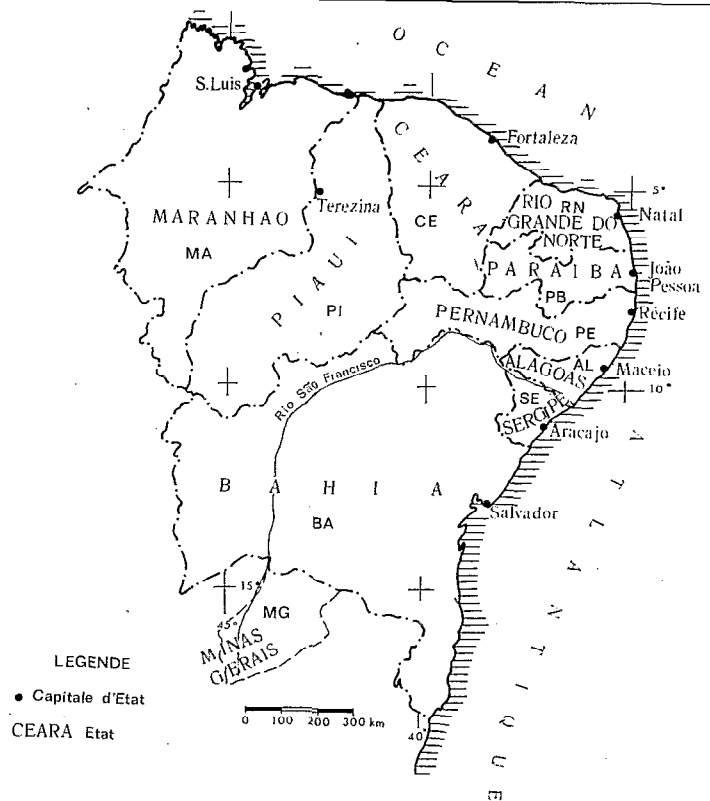


FIG. 2. - Carte politique du Nordeste

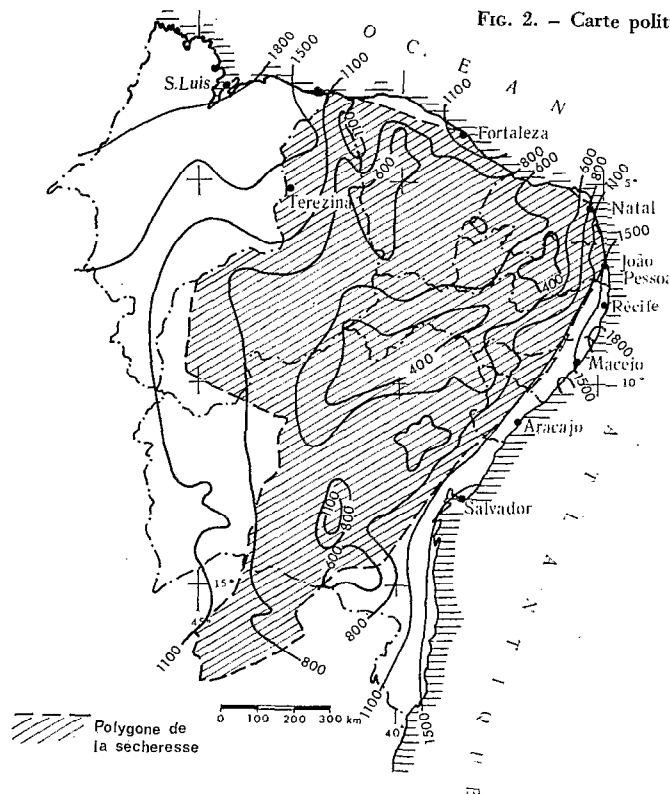


FIG. 3. - Isohyètes et polygone de la sécheresse

Le relief est souvent assez jeune à cause d'une tectonique actuelle active ; mais on n'observe pas de très hautes chaînes de montagnes pouvant séparer les masses d'air comme le font les Andes ; cependant un certain nombre de petites chaînes ou de plateaux souvent d'origine sédimentaire, culminant généralement à une altitude comprise entre 800 et 1 200 m, peuvent provoquer d'importants effets orographiques.

La végétation naturelle du Sertão, situé au centre de la région étudiée, n'est pas composée comme en Afrique de savane, mais d'une végétation xérophile arbustive dense et permanente, presque sans strate herbacée, appelée « Caatinga ». Ces zones sèches sont assez peu cultivées ; on y pratique surtout un élevage extensif de bovins et une agriculture essentiellement pluviale (principalement du coton, de la palme fourragère, du maïs et du haricot). L'irrigation encore très peu développée est généralement limitée aux zones proches des fleuves et des grandes retenues spécialement aménagées. A l'est de la « Zona da Mata », bande côtière humide, est une région de monocultures industrielles (canne à sucre ou cacao dans le sud). Entre cette zone humide de la « Mata » et la zone sèche du « Sertão » s'étend une zone de transition appelée « Agreste », où l'on pratique surtout l'élevage et où l'on produit des fruits et des primeurs. A l'ouest, de l'autre côté du Sertão, on retrouve, au nord, les zones humides préamazoniennes, moins peuplées et moins cultivées que la région côtière et, au sud, la région du « Cerrado », prolongement des vastes plateaux du centre du Brésil.

2.2. LES MÉCANISMES DU CLIMAT

Les mécanismes climatiques qui provoquent les précipitations dans le Nordeste sont extrêmement complexes et liés à l'influence et à la conjugaison de plusieurs systèmes de circulation atmosphérique qui agissent à tour de rôle dans les différentes parties de cette immense région. A ces mécanismes, directement liés à la circulation atmosphérique générale, se superposent d'autres facteurs comme l'orographie ou la proximité de la mer.

On pourrait s'attendre à ce que le Nordeste se situe principalement dans la zone des basses pressions équatoriales comme d'autres régions de basse latitude. Il n'en est rien, car cette région est principalement soumise à l'influence de *hautes pressions subtropicales* liées à l'anticyclone semi-fixe de l'Atlantique Sud. Les précipitations n'y surviennent qu'à l'occasion de l'arrivée de *courants perturbés ou perturbations* qui détruisent la stabilité climatique liée aux hautes pressions. NIMER (1972) a identifié quatre systèmes principaux de perturbations qui peuvent chacun survenir dans une partie du Nordeste, une même zone pouvant d'ailleurs être atteinte par plus d'un système de perturbations aux différentes époques de l'année. En schématisant on peut dire que les zones les plus sèches, situées au centre du Nordeste, sont celles qui sont le plus difficilement atteintes par ces perturbations, soit à cause de leur éloignement, soit à cause d'un effet d'écran provoqué par le relief.

Ces perturbations peuvent provenir de quatre directions différentes qui correspondent approximativement aux quatre points cardinaux. Leurs « aires d'influence » sont représentées sur la figure 4.

a) Le système des *perturbations du nord* provoquées par le déplacement de la zone de convergence intertropicale CIT (ou front intertropical, FIT). Cette zone de dépression oscille au cours de l'année autour d'une latitude moyenne de 5° N, qui correspond à celle de l'équateur thermique dans cette région. Ses effets se font surtout sentir dans le Nordeste entre janvier et mai avec un maximum en mars-avril, lorsque le FIT atteint sa position la plus méridionale (9° à 10° S). Ce système de perturbations est le principal responsable des précipitations dans toute la moitié nord du polygone des sécheresses où l'on observe un maximum annuel unique des précipitations entre mars et avril. Au cours du passage de la ligne de convergence du FIT, les masses d'air ascendantes provoquent des précipitations généralement intenses et d'origine convective.

b) Le système de *perturbations en provenance de l'ouest* dont l'origine paraît liée au mouvement ondulatoire qui apparaît lorsque le front polaire atlantique entre en contact avec les masses d'air chaud de la zone tropicale. Il se forme alors au nord du front polaire une ou plusieurs lignes d'instabilité tropicale entraînant la disparition de l'inversion thermique supérieure ; les lignes se forment au-delà de la limite occidentale du Nordeste et traversent le sud de cette région (État de la Bahia) mais rarement le nord où elles sont repoussées par les hautes pressions tropicales. Ces perturbations se propagent d'est en ouest, surtout entre les mois de septembre et d'avril, et provoquent des orages et des pluies de type mousson dans la moitié sud du polygone des sécheresses.

c) Le système de *perturbations en provenance de l'est* ne dépasse guère la zone côtière occidentale « Zona da Mata », se faisant encore sentir sous une forme atténuée dans la zone de transition de l'« Agreste ». Bien que ce phénomène soit encore mal connu, on sait qu'il correspond au sein des anticyclones tropicaux à une disparition de l'inversion thermique supérieure, ce qui entraîne le mélange des masses d'air des deux couches horizontales des alizés et provoque des chutes de pluie plus ou moins abondantes lors du passage de ces pseudo-fronts. Ces précipitations surviennent au cours de l'automne et de l'hiver austral, c'est-à-dire entre les mois de mars et d'août.

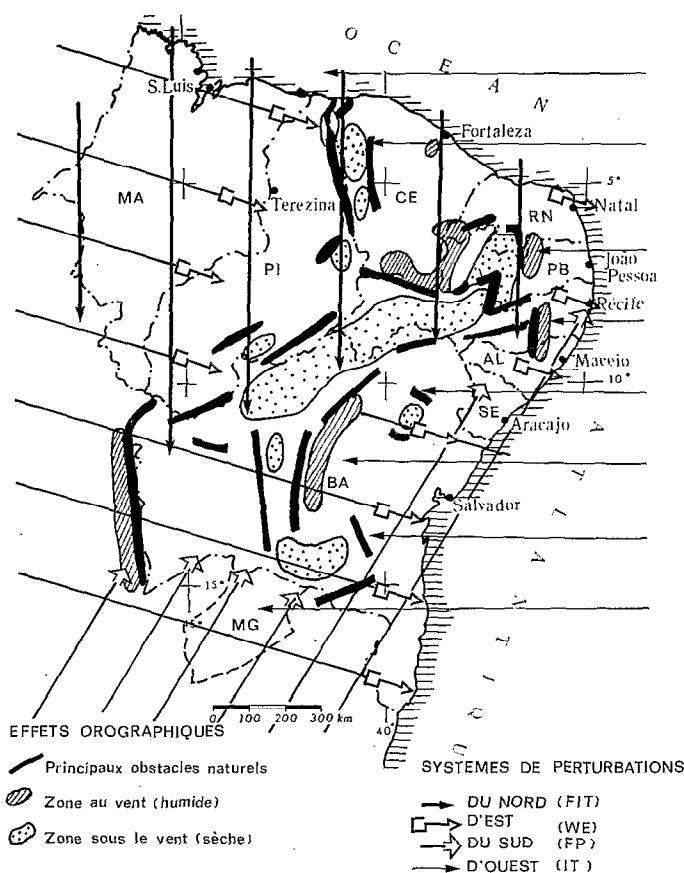


FIG. 4. — Les systèmes de circulations atmosphériques et les principaux effets orographiques.

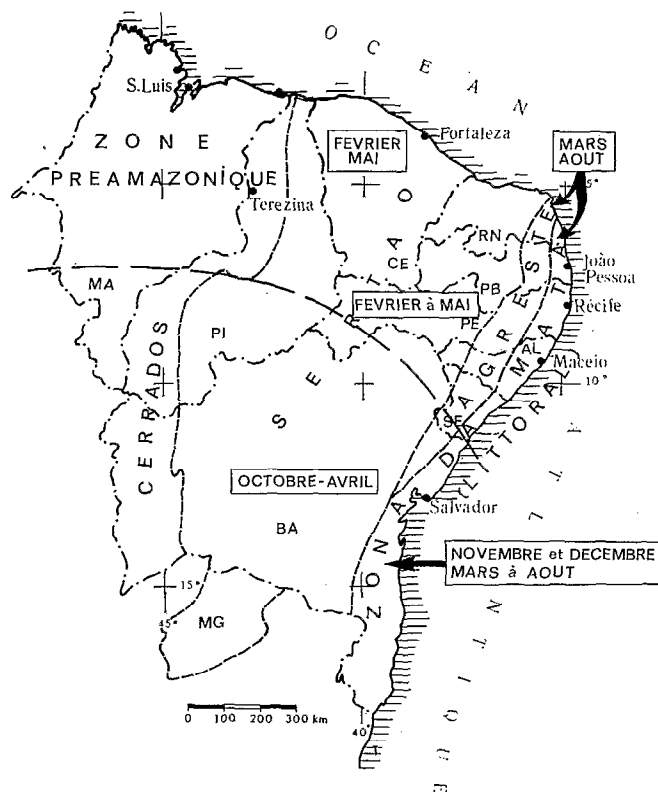


FIG. 5. — Principales zones physiographiques et périodes pluvieuses

d) Le système des perturbations du sud, dues à des invasions de masses d'air polaire, provoque des pluies frontales. Au printemps et en été austral ces zones perturbées restent au sud du 15° parallèle et n'atteignent pratiquement pas la zone étudiée, tandis qu'en hiver (juillet-août) elles peuvent remonter dans la zone côtière orientale jusqu'au 8° parallèle sud. La zone centrale du Sertão n'est jamais atteinte par ces perturbations.

La figure 4 tente de schématiser les directions et les aires d'influence des quatre principaux systèmes de perturbations mis en évidence par NIMER en indiquant également les principaux effets orographiques ou effets d'écran. Sur la figure 5 nous avons reporté les délimitations des principales zones physiographiques. En partant de la côte est on rencontre successivement la zone dite de la « Mata », très humide, l'« Agreste », zone déjà sèche mais aux précipitations réparties sur une grande partie de l'année, le Sertão zone sèche caractérisée par des périodes pluvieuses courtes et irrégulières, puis les zones plus humides pré-amazoniennes et du Cerrado. Dans chacune de ces grandes zones physiographiques on constate que les distributions mensuelles des précipitations varient du nord au sud de manière cohérente avec les systèmes de perturbation décrits précédemment. Les histogrammes des quelques stations pluviométriques représentatives ont été tracés sur la figure 6.

2.3. DONNÉES ET MOYENS DISPONIBLES

Il existe dans le Nordeste un réseau hydrométéorologique déjà ancien comportant 2 400 postes pluviométriques dont 300 possédant plus de 60 années d'observation, 200 postes pluviographiques, 350 stations hydrométriques,

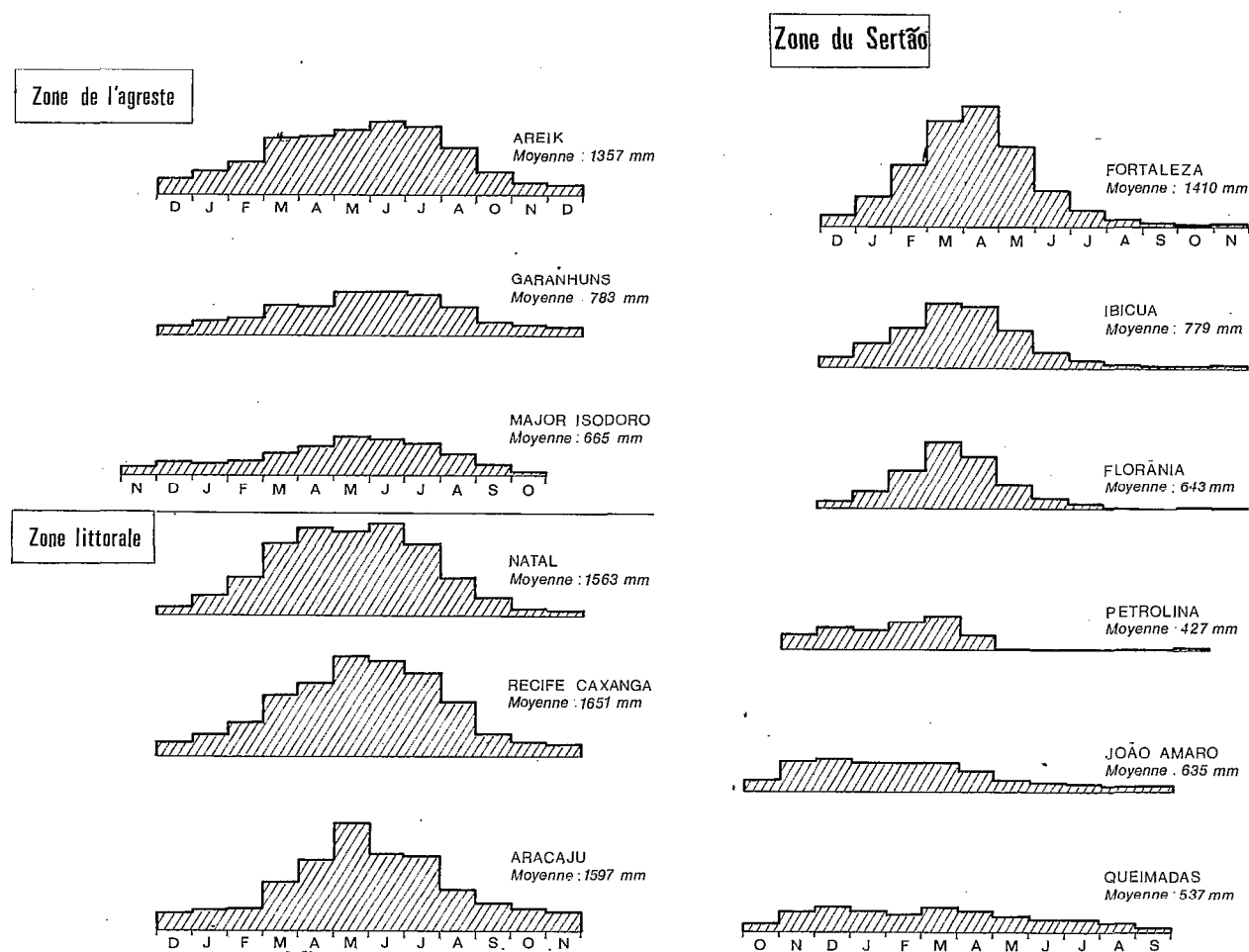


FIG. 6. - Distribution mensuelle des pluies

94 stations climatologiques et 10 ensembles de bassins représentatifs.

Toutes les données sont rassemblées dans une base de données gérées par la SUDENE (Superintendance pour le Développement du Nordeste), dont le siège est à Recife, grande ville du Nordeste.

Cette base a été créée avec l'assistance de l'ORSTOM ; son actualisation est effectuée avec des délais compris entre deux et six mois et elle comporte un ensemble de programmes d'accès et de traitement de données de niveau international.

Outre les programmes d'édition d'annuaires, d'analyse statistique et de calcul de coefficient de persistance, c'est surtout le programme de critique et d'homogénéisation de données par la méthode du vecteur régional de G. HIEZ (1977) qui aura permis l'analyse des données de plus de 1 000 pluviomètres, moins de six mois après la réception des derniers bulletins pluviométriques de la période considérée.

2.4. ANALYSE DES RÉGIMES PLUVIOMÉTRIQUES

La distribution des pluies dans le Nordeste est marquée par une très forte irrégularité aussi bien interannuelle que saisonnière. Pour représenter la zone étudiée, nous avons sélectionné 20 postes pluviométriques fiables et de longue durée : 1912-1983, à l'exception de Fortaleza où les observations ont commencé en 1849, soit 135 années. La localisation de ces postes est donnée sur la figure 7 et le tableau I regroupe leurs diverses caractéristiques.

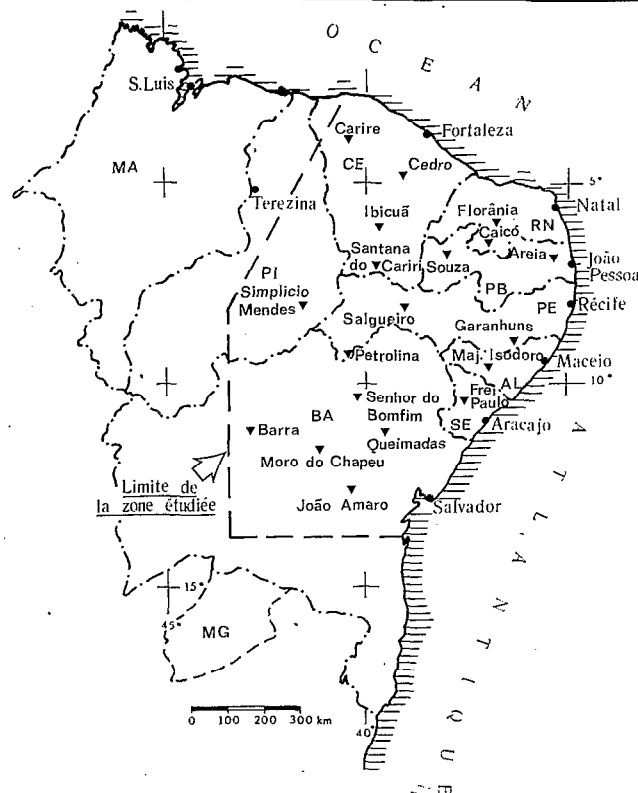


FIG. 7. - Postes pluviométriques sélectionnés

TABLEAU I
Données statistiques de 20 postes pluviométriques

POSTES (ETAT)	COORDONNEES		MOYENNE 1912-83	MEDIANE	MODE Probable	ECART Type	COEF. Variat.	FREQ. DECENNALE		PLUVIO. 1983		PLUVIO. 1979-83		COEF. VAR. Mensuel	COEF. Persist.
	LONG.	LAT.						Sèche	Humide	Haut.	Fréq.	Moyenne	Ecart Moyen		
FORTALEZA (CE)	38°32'	3°45'	1409.8	1423	1296	527	0.376	760	2135	939.1	1/5 S	952.7	- 32 %	0.47 AVR.	0.09
CARIRÉ (CE)	40°28'	3°57'	893.6	826	818	378	0.423	416	1390	303.8	1/26 S	625.6	- 30 %	0.55 AVR.	0.12
CEDRO-AC (CE)	39°04'	4°58'	810.3	764	740	306	0.377	414	1220	326.4	1/20 S	620.8	- 23 %	0.52 MARS	0.07
IBICUA (CE)	39°26'	5°56'	779.4	737	770	257	0.330	448	1112	473.0	1/8 S	625.1	- 20 %	0.64 AVR.	0.07
SANTANA DO CARIRI (CE)	39°44'	7°11'	918.5	873	780	406	0.442	493	1435	360.8	1/40 S	696.3	- 24 %	0.63 MARS	0.21
SOUSA (PB)	38°14'	6°45'	774.4	764	727	285	0.368	411	1154	587.7	1/4 S	786.6	+ 2 %	0.50 MARS	0.15
FLORÂNIA (RN)	36°49'	6°07'	643.4	648	602	288	0.447	283	1027	204.4	1/22 S	433.6	- 33 %	0.60 MARS	0.06
CAICÓ (RN)	37°06'	6°27'	671.0	649	609	294	0.438	304	1064	300.1	1/10 S	478.4	- 29 %	0.64 MARS	0.09
SIMPLICIO MENDES (PI)	41°55'	7°51'	712.9	693	656	195	0.274	471	962	464.0	1/11 S	533.7	- 25 %	0.64 MARS	0.14
PETROLINA (PE)	40°30'	9°23'	426.6	391	371	175	0.411	231	667	543.9	1/5 H	478.9	+ 12 %	0.91 MARS	0.32
SALGUEIRO (PE)	39°07'	8°04'	585.0	576	538	202	0.345	339	856	519.4	1/3 S	585.5	- 0 %	0.68 MARS	0.20
AREIA (PB)	35°42'	6°58'	1357.0	1341	1293	296	0.218	999	1757	1120.6	1/5 S	1252.6	- 8 %	0.56 JUN.	0.11
GARANHUNS (PE)	36°29'	8°53'	783.0	746	744	206	0.263	527	1050	489.4	1/17 S	763.7	- 4 %	0.50 JUN.	0.20
MAJOR ISIDORO (AL)	36°59'	9°32'	664.9	650	629	207	0.311	410	942	324.5	1/43 S	557.0	- 16 %	0.67 MAI	0.13
FREI PAULO (SE)	37°32'	10°33'	816.4	783	810	226	0.277	537	1119	373.0	1/500S	596.5	- 27 %	0.59 MAI	0.18
SENHOR DO BOMFIM (BA)	40°11'	10°27'	836.3	765	762	250	0.299	551	1167	679.8	1/4 S	731.9	- 12 %	0.86 MARS	0.12
QUEIMADAS (BA)	39°38'	10°58'	537.2	497	498	180	0.335	322	783	467.6	1/3 S	566.4	+ 5 %	1.03 MARS	0.26
MORRO DO CHAPEU (BA)	41°08'	11°32'	746.1	717	706	218	0.292	454	1012	439.2	1/12 S	640.0	- 14 %	0.84 MARS	0.16
BARRA (BA)	43°09'	11°05'	774.5	775	747	214	0.276	487	1041	541.3	1/7 S	724.9	- 12 %	0.84 DEC.	0.01
JOÃO AMARO (BA)	40°21'	12°47'	635.1	616	570	212	0.334	376	912	462.6	1/4 S	544.8	- 14 %	0.90 DEC.	0.29

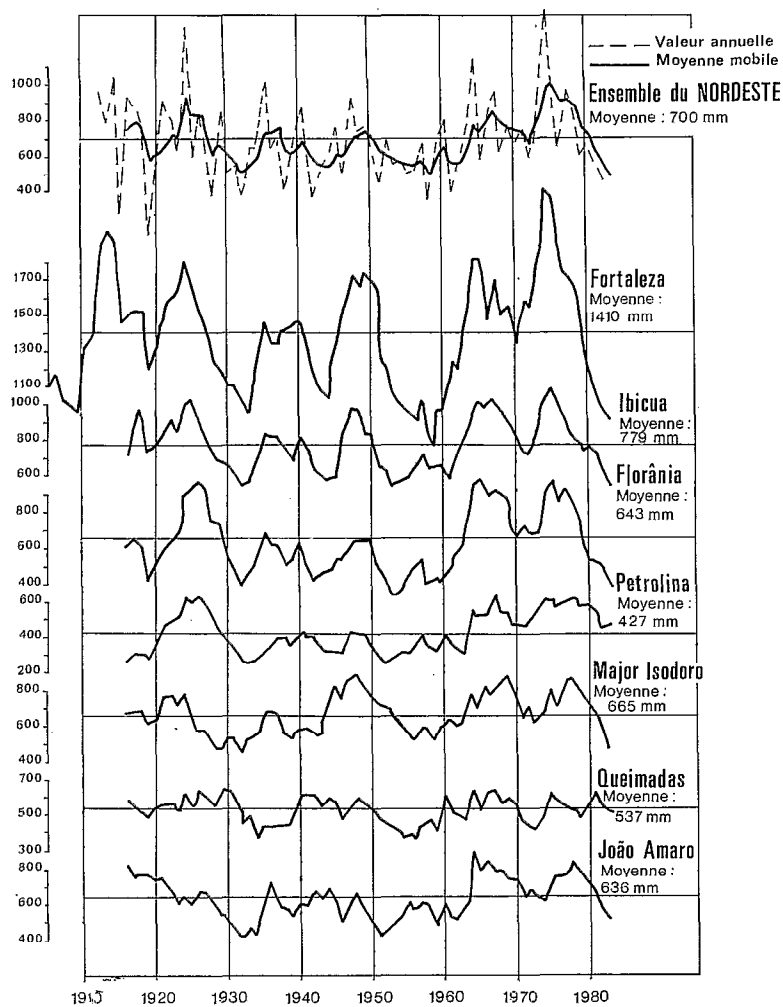


FIG. 8. - Moyennes mobiles pondérées

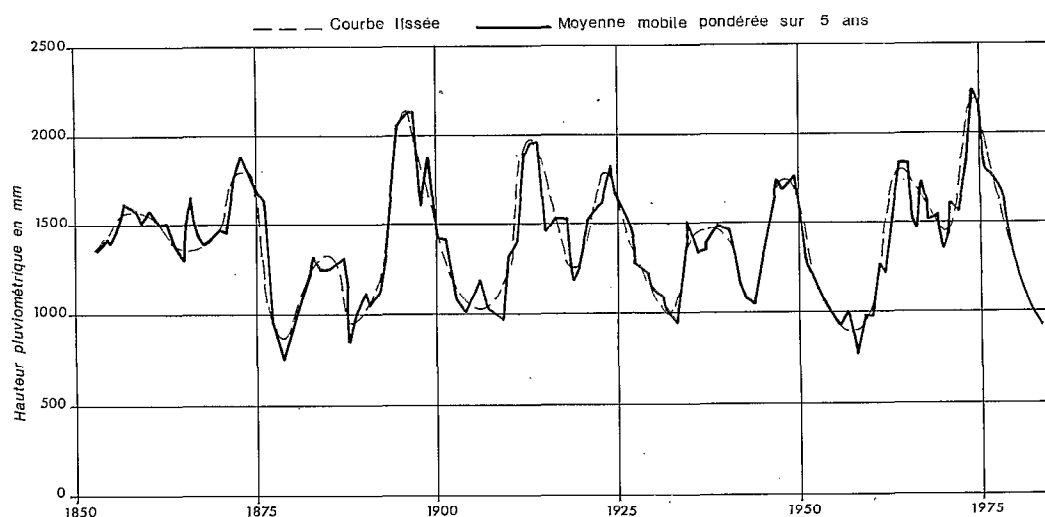


FIG. 9. - Poste de Fortaleza

2.4.1. Variations interannuelles

On constate que, généralement, le coefficient de variation est très élevé, presque toujours supérieur à 0,3 et même parfois 0,4. Dans ce dernier cas, les postes sont situés dans des zones très sensibles, souvent très éprouvées par les sécheresses : Rio Grande do Norte, limite Piauí – Ceará, ouest du Pernambuco. Le rapport K_3 entre les hauteurs de fréquences décennales sèche et humide est aussi particulièrement élevé, pouvant dépasser 3 pour certains postes. Ainsi à Florânia dans le Rio Grande do Norte il est de 3,6 et de 3,5 à Caicó dans le même État.

Les variations d'une année à l'autre sont souvent importantes et les graphiques des suites chronologiques des totaux pluviométriques permettent difficilement de déceler une tendance. Afin de visualiser cette tendance, si elle existe, on a utilisé la méthode de la moyenne mobile classique, mais pondérée par le temps séparant l'année considérée des années antérieures. Après tâtonnements on a choisi une relation simple :

$$Z_j = \frac{1}{5} \sum_{i=0}^{i=4} (5-i) P_{j-i}$$

où Z_j est la moyenne mobile pondérée d'une année j considérée
et P_{j-i} la pluviométrie moyenne de cette année j et des quatre années antérieures.

Il est évident que cette moyenne ne prétend pas représenter exactement la réalité physique de l'évolution de la persistance dans les suites chronologiques et encore moins prouver qu'il existe des cycles, même si cette représentation laisse apparaître des « pseudo-cycles ». Mais elle a l'avantage de mettre en évidence les séquences d'années sèches et humides.

Les figures 8 et 9 donnent une représentation graphique de ces valeurs pour certains des postes sélectionnés et pour un vecteur régional (cf. paragraphe 3.3) représentant les variations annuelles de la pluviométrie pour l'ensemble du Nordeste. On constate, malgré quelques petites variations, une certaine concordance entre les périodes humides et les périodes sèches. Notamment, les grandes sécheresses (1919-1920, 1930-1932, 1951-1959, 1979-1983) sont à peu près générales de même que les périodes particulièrement humides (1948-1950, 1964-1969, 1973-1978). Généralement les contrastes entre les périodes excédentaires et déficitaires sont plus nets dans le nord et le centre du Nordeste que dans le sud. En effet, dans cette région, qui correspond à la moitié sud de l'État de la Bahia, les sécheresses catastrophiques sont moins fréquentes, alors que le Rio Grande do Norte et le nord du Ceará sont presque toujours très éprouvés lors de chaque période sèche. Dans ces régions, les inondations sont d'ailleurs très souvent catastrophiques.

Pour les 20 postes sélectionnés, on a calculé le coefficient de persistance des suites chronologiques des totaux pluviométriques (cf. dernière colonne du tableau 1). Les résultats sur ce petit échantillon ne sont guère significatifs, mais presque tous positifs. Les plus forts coefficients sont ceux des postes de l'Agreste et du Sertão Pernamboucain : entre 0,15 et 0,30. Dans le nord du Ceará et le Rio Grande do Norte ils varient entre 0,07 et 0,12. Dans la Bahia, les résultats sont trop disparates pour conclure.

Une telle étude devrait être entreprise avec un nombre plus important de postes longue durée et de bonne qualité. Lors de l'étude régionale de la pluviométrie annuelle, 110 postes répondant à ces critères ont été retenus. Une sélection plus sévère au niveau des pluies journalières permettrait de constituer un très bon échantillon représentatif et d'aborder ainsi l'étude de la persistance dans les suites de totaux annuels au niveau du Nordeste.

2.4.2. Répartition mensuelle

La figure 6 donne la répartition mensuelle pour certains postes du Nordeste. Dans le Sertão la saison des pluies s'installe en général en janvier dans le nord, en novembre-décembre dans le centre et en octobre-novembre dans le sud du Nordeste. Dans les deux tiers nord cette saison est bien marquée et ne dépasse guère six mois, ce qui explique l'ampleur catastrophique des sécheresses lorsque les mois de mars et avril sont peu arrosés. En effet, on est sûr qu'à partir du mois de mai les pluies vont se raréfier et que donc les récoltes sont sinon perdues du moins fortement compromises. Dans le sud, la saison est nettement moins marquée et les totaux mensuels sont plus réguliers d'un mois sur l'autre. Ainsi à João Amaro, dans le centre-ouest de la Bahia, la pluviométrie moyenne oscille entre 80 et 95 mm de novembre à mars et à Queimadas, un peu plus au nord, entre 50 et 70 mm durant six mois. Dans le centre et le sud de la Bahia, on observe souvent deux maximums, l'un en décembre et l'autre en mars par suite de l'influence des perturbations ouest qui ne traversent que très rarement les régions nord.

Dans l'Agreste, les totaux mensuels ne sont en général guère supérieurs mais la distribution mensuelle est beaucoup plus régulière. Ceci est dû à la pénétration en hiver du front polaire du sud, mais aussi, sur la bande la plus orientale, à l'influence du système de perturbations est.

Enfin, la zone du littoral, soumise à l'influence de divers types de perturbations, notamment celles du sud et de l'est, est toujours très arrosée avec une distribution plus régulière, bien que la saison sèche soit assez bien marquée.

Dans le tableau 1 on a porté dans l'avant-dernière colonne les coefficients de variation des mois les plus pluvieux de chaque poste. On voit que ceux-ci sont toujours très élevés, en général supérieurs à 0,5, et même voisins de 1 dans les zones les moins arrosées du Sertão central. Ainsi, par exemple, à Petrolina, la moyenne mensuelle la plus forte est 98,3 mm en mars avec une médiane de 72,1 mm et un mode de 67 mm. Mais sur 74 valeurs (1911-1984) il y eut 9 totaux mensuels inférieurs à 10 mm dont 4 seulement à 0,1 mm et 7 totaux supérieurs à 250 mm. Pour illustrer cet exemple on a porté sur la figure 10 la distribution des séries de totaux annuels en année hydrologique (octobre-septembre) et ceux du mois de mars. Dans les deux cas le meilleur ajustement est obtenu avec la loi de PEARSON III. Le tracé de la courbe représentative de cette loi fait ressortir la forte asymétrie des distributions.

2.4.3. Distribution journalière

2.4.3.1. Distribution statistique

Dans l'État du Pernambuco, CADIER *et al.* (1981) ont déterminé pour chacune des principales zones physiographiques les valeurs des précipitations en 24 h correspondant à quelques fréquences caractéristiques (tabl. 2).

TABLEAU II

Zone physiographique	Période de retour		
	1 an	10 ans	100 ans
ZONA DA MAIA	77 mm	129 mm	181 mm
AGRESTE ou ZONE DE TRANSITION	52 mm	96 mm	146 mm
SERTÃO	61 mm	107 mm	158 mm

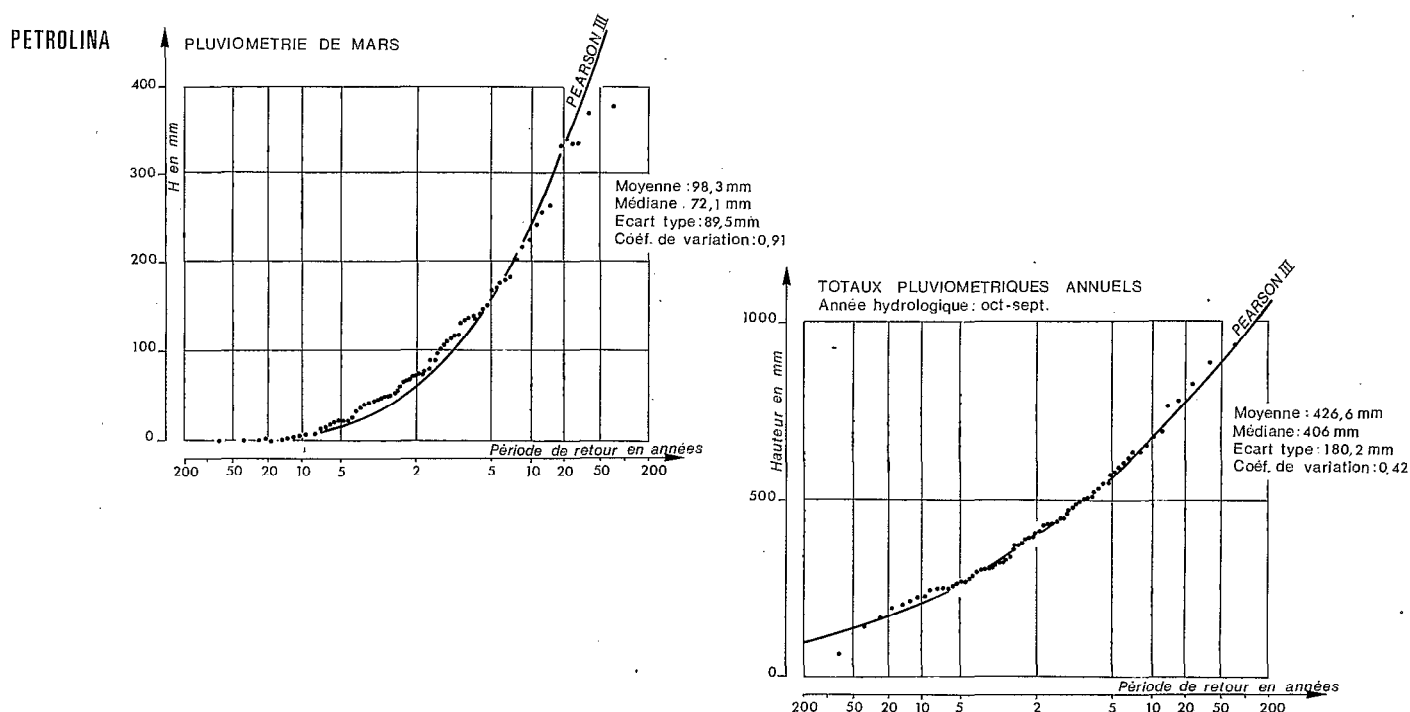


FIG. 10. — Pluviométrie de mars. Totaux pluviométriques annuels

Les meilleurs ajustements ont été obtenus en utilisant la loi de GOODRICH. Des études non encore publiées montrent que les valeurs du tableau ci-dessus sont utilisables dans la plus grande partie du Nordeste et dépendent peu du total annuel précipité dans chacune des grandes zones physiographiques.

L'Agreste, qui diffère du Sertão par un plus grand étalement des pluies au cours de l'année, s'en différencie également par des précipitations en 24 h de fréquence rare nettement plus faibles et par un nombre plus élevé de jours de pluie.

2.4.3.2. Analyse et structure des épisodes pluvieux

Il arrive très souvent, comme ce fut le cas entre 1979 et 1983, que les totaux annuels au cours d'une période déficitaire sur le plan agricole soient proches de la moyenne. En fait, il serait nécessaire de faire une étude plus détaillée au niveau journalier, surtout lors des périodes sans pluie au cours de l'hivernage, pour mieux comprendre le mécanisme de ces sécheresses. Ainsi, dans la région du Sertão, comme les précipitations annuelles sont inférieures à 800 mm, la mondre irrégularité dans la distribution des pluies crée de graves problèmes pour l'agriculture.

Pour illustrer ce phénomène de « sécheresse agricole », on a choisi un cas typique qui est la région de Petrolina.

Cette région, située à l'extrême ouest du Pernambuco au milieu du Sertão, peut être considérée comme une des zones les plus touchées par la dernière sécheresse. Cependant, la moyenne des cinq années les plus critiques 1979-1983 a été de 479 mm, soit une valeur supérieure à la moyenne interannuelle estimée à 427 mm. En particulier, si l'on prend le total de l'année hydrologique (octobre-septembre) 1982-1983, on constate que le total annuel (430 mm) est égal à la moyenne. Or cette année fut très déficitaire sur le plan agricole. Ceci est dû à la très mauvaise répartition des pluies. La première pluie importante de la saison tombe le 26.12.82 (34,2 mm), puis une deuxième pluie arrive le 1^{er} janvier 1983 (18,6), ensuite jusqu'au 6 février cette région ne reçoit que des averses insignifiantes qui ne peuvent réhumidifier le sol. Entre le 6 février et le 10 février il tombe 180 mm (42 % du total annuel) puis plus rien jusqu'au 9 mars où l'on enregistre une averse de 56,5 mm. Il faut attendre le 25 et le 27 mars pour observer les deux dernières pluies de 48,8 et 26,3 mm. Après c'est la sécheresse, aucune pluie ou presque jusqu'en novembre, seulement 12,6 mm répartis en 8 averses isolées durant sept mois et demi. Chaque épisode pluvieux a été suivi d'une période sèche trop longue pour permettre aux cultures de se développer.

On pourrait faire le même genre de remarques pour l'année 1978-79 qui fut, du point de vue total annuel, une année moyenne (428 mm). Le mois de février a été relativement bien arrosé avec un total de 109 mm légèrement au-dessus de la moyenne et les pluies bien réparties. Puis les pluies se sont brusquement arrêtées fin février pour ne reprendre réellement que fin avril durant une très courte période. La floraison a ainsi été compromise et la plus grande partie de la récolte perdue. A ce moment il était trop tard pour replanter.

On peut trouver des exemples semblables dans toutes les régions du Nordeste, même plus arrosées. C'est le cas, en particulier, de l'Agreste pernambucain dont la pluviométrie moyenne est voisine de 700 mm et qui, pourtant avec des totaux annuels proches de cette moyenne, a été particulièrement éprouvé au cours de ces cinq dernières années.

Cette irrégularité temporelle est accompagnée d'une très forte irrégularité spatiale. Au cours d'un même mois les hauteurs pluviométriques peuvent varier dans des proportions de 1 à 5 pour des régions voisines au climat identique.

Donc les problèmes du Nordeste sont plus liés à l'irrégularité spatiale et temporelle des pluies qu'à la quantité d'eau tombée en une année.

Les solutions de ces problèmes passent par la conservation et la bonne utilisation de cette eau.

Plusieurs études ont été entreprises dans le Nordeste pour évaluer systématiquement les conséquences agronomiques des précipitations. Généralement ces études utilisent des modèles plus ou moins sophistiqués calculant les consommations en eau des plantes, les stocks d'eau dans le sol à partir de données pluviométriques journalières ou totalisées sur des périodes de cinq à dix jours. A. GUSMÃO (1983) a ainsi tenté de définir les caractéristiques des pluies efficaces sur le plan agricole dans une région du Nordeste, et AUDRY a développé son modèle en utilisant une approche très physique des relations sol-eau-plante-atmosphère.

2.5. RÉPARTITION DES ÉCOULEMENTS

La distribution des écoulements est caractérisée par une irrégularité évidemment bien supérieure à celle des précipitations :

a) *Irrégularité dans l'espace*, tout d'abord, puisque les lames écoulées moyennes annuelles peuvent varier entre plus de 1 000 mm dans les zones humides et des valeurs comprises entre 5 et 100 mm dans les régions sèches, où les coefficients d'écoulement moyens sont très faibles et varient entre 2 % et 10 % du total précipité.

b) *Irrégularité interannuelle des modules.* Dans les régions semi-arides les distributions sont fortement asymétriques, les moyennes sont de l'ordre de grandeur du double des médianes et l'on observe couramment des coefficients K_3 (rapport entre modules décennal humide et décennal sec) supérieurs à 20 ou 30. Pour certains bassins défavorisés, le module décennal annuel sec est nul.

c) *Irrégularité des écoulements au cours de l'année.* Dans les zones sèches les rivières sont pratiquement toutes intermittentes et une grande partie du volume annuel s'écoule en peu de temps. NOUVELOT *et al.* (1979) ont étudié le pourcentage maximum du volume annuel qui s'écoule pendant des périodes de N jours consécutifs sur le bassin représentatif du Riacho do Navio au cours de la période relativement humide de 1971 à 1977.

En moyenne : 21 % du volume annuel s'écoule en un seul jour,

40 % en 5 jours consécutifs,

64 % en 30 jours consécutifs.

Les années sèches, les écoulements sont encore plus concentrés ; ainsi en 1976, 94 % du volume annuel s'est écoulé en 5 jours seulement.

d) *Séquences de plusieurs années sèches consécutives.* CADIER (1984) a tenté d'évaluer la somme des volumes écoulés au cours des périodes les plus sèches de 3, 4 et 5 années déficitaires consécutives, pour des bassins de superficie inférieure à 400 km² et une période de retour d'environ 25 ans (tabl. 3).

TABLEAU III

Z O N E	SOMMES DES VOLUMES AU COURS DE PERIODES DEFICITAIRES DE		
	3 ans	4 ans	5 ans
Cristalline	0,3 x L	0,6 x L	0,9 x L
Sédimentaire	0,7 x L	1,3 x L	2,0 x L

(L = écoulement moyen annuel)

Ces quelques chiffres illustrent l'irrégularité et l'extrême précarité des ressources en eau de surface du Nordeste ; ils expliquent la nécessité de stocker cette eau. Cela se fait actuellement à l'aide d'un très grand nombre de barrages et retenues collinaires de toutes tailles qui font partie du paysage actuel du Nordeste. Cela ne se fait pas sans risque de défaillance puisque l'on estime qu'un réservoir correctement dimensionné mais dont la profondeur est inférieure à 10 m s'assèchera en moyenne une fois tous les dix ou quinze ans du seul fait de l'évaporation, qui est proche de 3 mètres par an, et de la probabilité d'occurrence de séquences d'années sèches consécutives.

Pour terminer sur une note optimiste nous devons signaler la présence du Rio São Francisco, grand fleuve qui traverse le Sertão. Son module est de 3 400 m³/s ; quelques grands projets d'irrigation sont implantés sur ses berges. Leur multiplication pourrait assurer un pôle de développement agricole stable et rentable au cœur du Sertão.

3. LES SÉCHERESSES DANS LE NORDESTE BRÉSILIEN

3.1. HISTORIQUE DES SÉCHERESSES

3.1.1. Seizième et dix-septième siècles

On possède très peu de données sur les sécheresses catastrophiques des deux premiers siècles de colonisation du Brésil. Il existe seulement quelques citations dans des documents divers qui ne sont pas toujours très fiables. De plus, l'occupation du territoire se limitait à la bande littorale très humide où le manque d'eau est rarement ressenti.

La première référence est donnée par la Compagnie de Jésus dont les documents font état d'une sécheresse en 1559 dans la Bahia. Ensuite Fernão CARDIN cite la famine qui atteint 4 000 ou 5 000 Indiens dans le Sertão pernambucain en 1587.

Au siècle suivant, Joaquim ALVES donne les dates de 1603, 1606, 1645, 1652 et 1692 comme années particulièrement sèches, en précisant toutefois que seule l'année 1692 est la première reconnue authentique.

3.1.2. Dix-huitième siècle

Au XVIII^e siècle l'occupation du Sertão se développe de façon plus intense, ce qui contribue à une meilleure connaissance des sécheresses et de leurs conséquences. On peut citer, en particulier, la période 1721-1727 qui semble avoir été une des pires connues jusqu'à ce jour. L'ensemble du Nordeste est touché du Ceará à la Bahia. Même dans la vallée du Cariri, les sources tarissent et les populations migrent.

Survient une autre sécheresse en 1744-1745 après une quinzaine d'années excédentaires. Nouvelle année très déficitaire en 1766, puis deux années 1777 et 1778 au cours desquelles le bétail fut décimé. A la fin du siècle la « Seca Grande » de 1791 à 1793 atteignit les États du Pernambuco, de la Bahia et du Sergipe au sud, ainsi que ceux du Piauí et Maranhão au nord.

3.1.3. Dix-neuvième siècle

Au début du siècle, hormis les années 1808-1809 et 1824-1825 qui éprouvèrent particulièrement le bétail dans le Ceará et le Rio Grande do Norte, les précipitations furent normales jusqu'en 1845, année qui resta dans les mémoires. Les populations émigrèrent et de nombreuses personnes moururent de faim et de soif au cours de leur errance. Aucune année particulièrement sèche ne fut signalée jusqu'en 1877. Au cours de cette période l'occupation du Sertão augmenta notablement, les nouveaux émigrants profitant de ces conditions sinon excellentes du moins favorables. C'est dans cette situation que survint la « Grande Seca » de 1877-1878. Après 32 années normales, la catastrophe atteignit des dimensions encore jamais vues et, jusqu'à aujourd'hui, reste la pire par le nombre élevé de pertes en vies humaines. Déjà en 1876 la saison des pluies fut très irrégulière entraînant la mort d'une partie du bétail et des récoltes insuffisantes. A part quelques averses localisées, les quatre premiers mois de l'année 1877 furent totalement secs. Au milieu du mois de mai les pluies commencèrent à tomber, mais s'arrêtèrent aussitôt. En 1878, les pluies furent irrégulières et assez faibles, mais la population, qui avait émigré vers les villes du littoral, ne retourna pas dans l'intérieur faute de ressources et de semences. Ce n'est qu'en 1879, malgré un hivernage peu abondant, que les habitants commencèrent à retourner sur leurs terres.

On estime que durant cette période, il y eut 500 000 morts parmi les habitants du Ceará et des États voisins, dont 119 000 à Fortaleza.

Seulement neuf années sans problèmes, et de nouveau en 1888 et 1889 le Sertão est durement éprouvé notamment dans le Rio Grande do Norte, le Ceará et la Paraíba. La dernière sécheresse du siècle eut lieu en 1898 ; cette année-là, les récoltes furent insuffisantes et le bétail commença à mourir au mois de juillet.

3.1.4. Vingtième siècle

Ce siècle commença avec une sécheresse qui fut générale dans tout le Nordeste jusqu'au Minas Gerais. Mais ses effets ne furent pas désastreux grâce à l'hivernage antérieur exceptionnellement pluvieux de 1899 qui ne se termina qu'en septembre dans le Ceará.

Bien que moins catastrophiques que celles de la dernière moitié du siècle précédent, les sécheresses de 1915 et 1919 entraînèrent un exode important des populations.

En 1932, la quasi-totalité du Nordeste fut sinistrée. Les effets de la sécheresse touchèrent à peu près 3 millions de personnes, provoquant un exode massif et du banditisme.

On peut noter encore l'année 1942 et surtout les deux années 1952 et 1953 avant l'arrivée d'une autre sécheresse particulièrement sévère en 1958. On a estimé que 10 à 11 millions d'habitants, répartis sur une superficie de 500 000 km², ont été touchés. Pour se faire une idée de la croissance de la population dans le Nordeste, en 1932 la zone sinistrée était de 650 000 km² dans laquelle ne vivaient que 3 millions d'habitants.

Malgré quelques hivernages faibles et irréguliers (1970 et 1976), les conditions furent plutôt favorables jusqu'en 1979, époque que l'on peut comparer à celle qui a précédé la grande sécheresse de 1878-79. Mais le Nordeste compte depuis 1979 plus de 30 millions d'habitants, soit au moins vingt fois plus qu'en 1878, les populations touchées par une sécheresse sont donc bien plus importantes et les exodes beaucoup plus massifs. Déjà en avril 1979, une grande partie du Ceará et les régions limitrophes : Piauí, Pernambuco, Bahia étaient dans une situation critique. Ceci n'a fait que s'aggraver et s'étendre les années suivantes pour culminer en 1983, année au plus faible total pluviométrique.

Cette période 1979-1983 est typique des grandes sécheresses nordestines : total pluviométrique annuel peu inférieur à la moyenne avec des pluies très irrégulières aussi bien dans le temps que dans l'espace survenant après une période excédentaire relativement longue.

En général, les sécheresses les plus ressenties au niveau de la population sont celles qui surviennent après une période particulièrement pluvieuse et humide au cours de laquelle les troupeaux ont pu se développer et les récoltes ont été excédentaires, procurant un certain bien-être aux populations rurales. L'arrivée d'une période sèche annihile tous ces efforts et paraît plus catastrophique. Ce fut donc le cas lors de la dernière sécheresse 1979-83 après l'épisode particulièrement humide de 1960 à 1978 ; mais aussi en 1744-45 et surtout 1877-78.

Avec l'augmentation de la densité de la population, le développement extensif du cheptel et la diversification de l'agriculture, les sécheresses seront chaque fois plus catastrophiques, avec des conséquences humaines et sociales (exode rural massif, paupérisme, agitation sociale et banditisme) d'une ampleur chaque fois plus grave et dont les prémices furent données lors de la dernière sécheresse.

3.2. PRINCIPALES ÉTUDES PUBLIÉES SUR LES SÉCHERESSES

De très nombreux travaux ont été publiés sur les sécheresses du Nordeste tant pour les expliquer que pour les décrire. Généralement, la quantité de publications de ce type suit la courbe du « cycle des sécheresses ». Aussi bien les populations que les responsables politiques et les médias sont sensibles à ces catastrophes lorsqu'elles surviennent et chacun, dans sa partie, tente sinon de donner des explications et d'apporter des solutions, du moins de décrire ces phénomènes et d'aider les populations sinistrées.

En fait, jusqu'à ce jour, on ne sait pas très bien quelles sont les causes climatiques et les mécanismes qui sont à l'origine de ces perturbations. Certaines explications ont été avancées mais, hélas, elles ne sont jamais totalement satisfaisantes. Ainsi depuis la fin du XIX^e siècle de nombreux travaux ont porté sur les relations existant entre le cycle des taches solaires et l'apparition des sécheresses : DERBY (1885), HULL (1942) et SAMPAIO FERRAZ (1950), par exemple.

GOMES FILHO (1979), appliquant la théorie de CHARNEY (1975) sur l'automaintenance des déserts, donne une explication basée sur l'influence de l'albedo différentiel et de l'orographie sur la circulation atmosphérique. D'après CAVIEDES (1973), l'apparition des sécheresses nordestines et de « El Niño » sur les côtes de l'Équateur et du Pérou serait des phénomènes simultanés liés à l'oscillation australe de WALKER. Utilisant la théorie de l'interaction thermodynamique océan-atmosphère de BJERKNES (1969), HASTENRATH et HELLER (1977) sont arrivés à des conclusions similaires.

Plus récemment se sont développées des études sur la relation possible entre les anomalies de la température de surface de l'océan Atlantique et les pluies du Nordeste : MARKHAM et McLAIN (1977), HASTENRATH et HELLER (1977). S'appuyant sur ces études MOURA et SHUKLA (1981) estiment qu'un mécanisme possible de l'apparition des sécheresses serait l'établissement d'un courant thermique direct local dont la branche ascendante se situerait à 10° N et la branche descendante sur le Nordeste et la zone océanique voisine. A partir des résultats obtenus ils pensent que l'on peut prévoir les sécheresses sur le Nordeste dès que les anomalies de température de surface sur l'océan Atlantique tropical se poursuivent durant plusieurs mois. Ainsi, les principales sécheresses dans le Nordeste correspondent à des anomalies positives de températures dans la partie nord de l'Atlantique tropical, mais à des anomalies négatives dans la partie sud.

Un certain nombre d'auteurs ont été inspirés par l'apparente périodicité des totaux pluviométriques dans le Nordeste et plus particulièrement à Fortaleza, poste le plus ancien créé en 1849. C'est le cas de FERRAZ (1949), MARKHAM (1974) et plus récemment GIRALDI et TEIXEIRA (1978). Une très large publicité a d'ailleurs été donnée à ce document par les organes de presse au cours de ces deux dernières années, car leurs auteurs avaient annoncé que les années 1979 à 1985 seraient particulièrement sèches, ce qui fut effectivement le cas jusqu'en 1983. Après analyse harmonique de la série de Fortaleza, les auteurs ont retenu deux cycles prédominant en phase, l'un de période 26 ans et de 2 000 mm d'amplitude et l'autre de période 13 ans et d'amplitude 1 400 mm. Ils pensent d'ailleurs qu'il existe un autre cycle ayant pour période 64 ans. Il est évident que de tels résultats peuvent paraître séduisants surtout lorsqu'ils sont confirmés les années suivantes. Mais que représentent-ils : une réalité physique ou plutôt une réalité mathématique ?

Enfin, de nombreux ouvrages ont été rédigés sur les conséquences de la sécheresse (problèmes économiques et sociaux), ses remèdes à court et long termes et les solutions apportées ou prévues par les organismes officiels (SUDENE-DNOCs par exemple) ou privés. Il faut citer en particulier l'important ouvrage d'Euclides da CUNHA (1940) « Os Sertões ».

3.3. ANALYSE RÉGIONALE DES SÉCHERESSES SURVENUES DEPUIS 1911

3.3.1. Méthode du vecteur régional

Pour l'analyse régionale des sécheresses on s'est limité à une zone d'environ 800 000 km² (cf. figure 7) qui recouvre presque totalement le « polygone de la sécheresse », qui correspond à peu près à la zone du Nordeste située au-dessous de l'isohyète 800 mm. L'étude de la pluviométrie de cette zone a été faite par la méthode du vecteur régional mise au point par G. HIEZ (1977). Cette méthode, basée sur la pseudo-proportionnalité des totaux pluviométriques entre postes, permet de comparer chaque poste d'une zone déterminée à un vecteur de référence à composantes annuelles, ou « vecteur régional » élaboré à partir de l'ensemble des données en prenant comme postulat que l'information la plus vraisemblable est celle qui se répète le plus souvent. Cette méthode, qui se généralise de plus en plus au Brésil, présente un double avantage sur la méthode classique du « double-cumul » :

- elle compare chaque poste non pas deux à deux, mais à un vecteur de référence représentant la tendance climatique régionale des précipitations ;
- elle utilise la valeur modale de préférence à la moyenne qui ne peut plus être considérée comme un paramètre significatif de tendance centrale dès que les variables s'écartent d'une distribution normale, ce qui est le cas pour les précipitations du Nordeste.

3.3.2. Les déficits pluviométriques

La zone de 800 000 km² étudiée comprend les États du Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas et Sergipe, ainsi qu'une partie de la Bahia et du Piauí. Cette zone a été subdivisée en 63 zones élémentaires de 27 000 km², chacune recouvrant plusieurs autres, en général 5 pour les zones élémentaires non limitrophes. Pour chacune de celles-ci où la tendance climatique des précipitations est considérée comme homogène, on a calculé les composantes annuelles du vecteur régional correspondant en choisissant 30 postes pluviométriques si possible fiables et de longue durée. L'ensemble de l'étude porte sur plus de 1 000 postes, chacun étant commun au moins à deux zones élémentaires, dans la plupart des cas à trois et parfois à quatre.

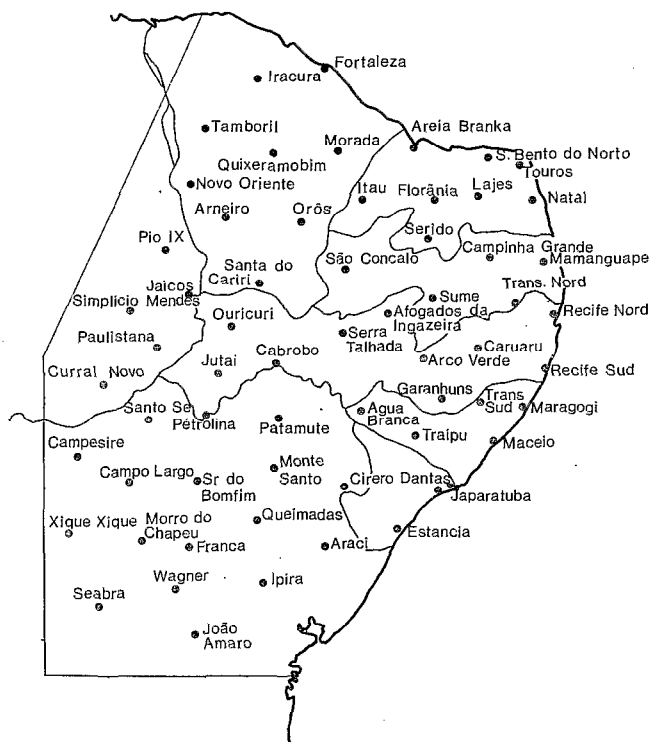


FIG. 11. — Localisation du centre des zones élémentaires homogènes

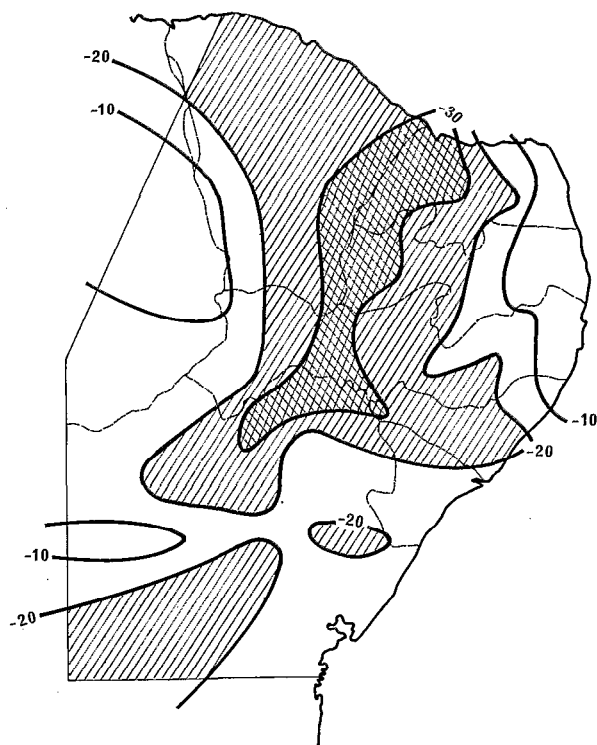


FIG. 12a. — Écarts à la moyenne en %, période 1928-1932

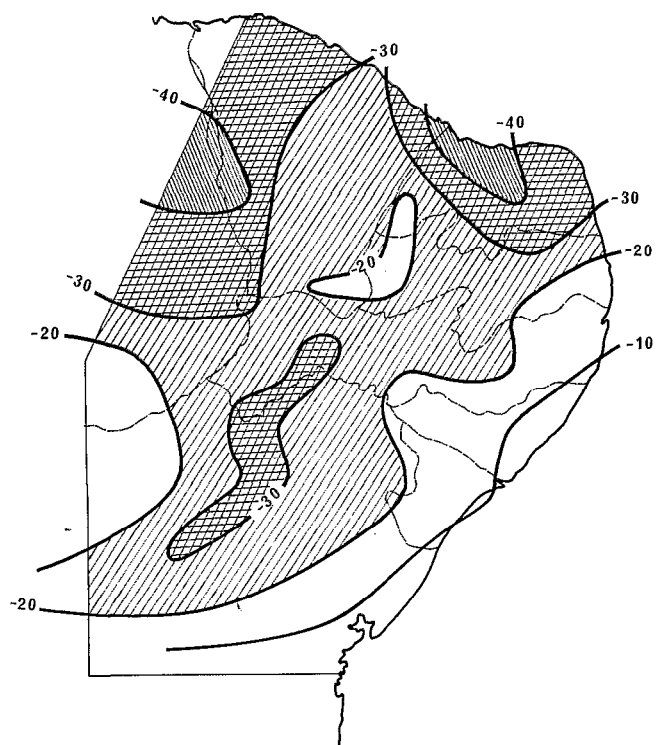


FIG. 12b. — Écarts à la moyenne en %, période 1951-1955

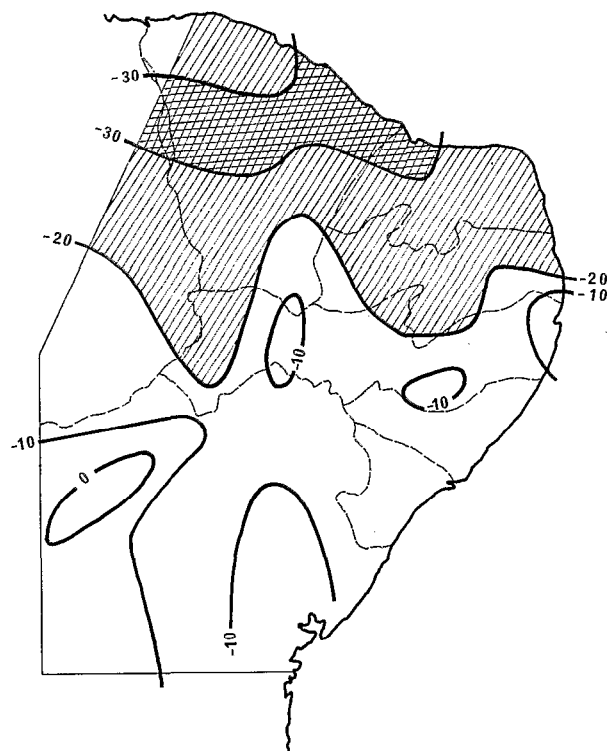


FIG. 12c. — Écarts à la moyenne en %, période 1979-1983

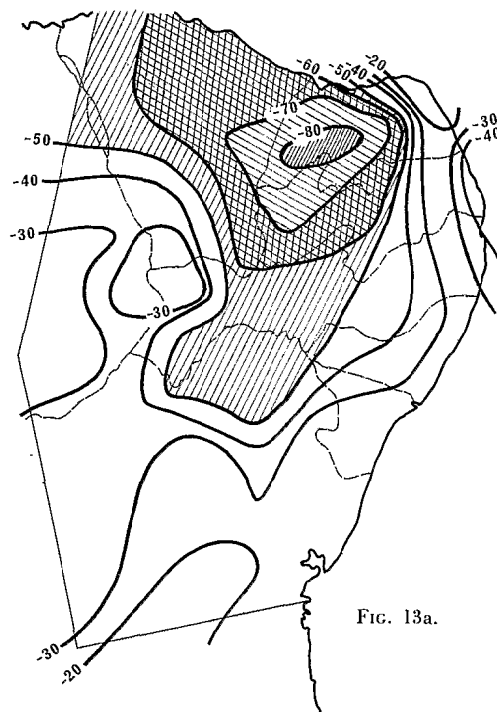


FIG. 13a.

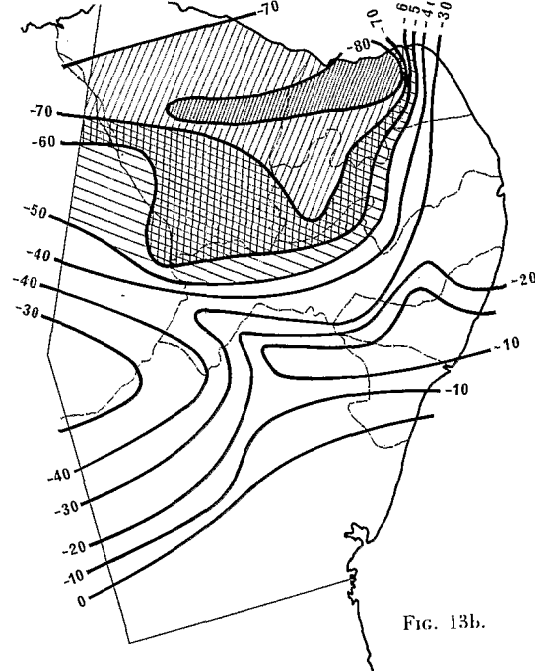


FIG. 13b.

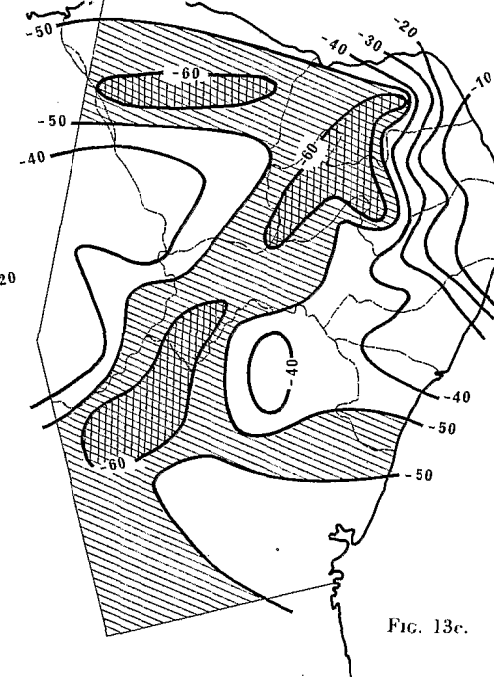


FIG. 13c.

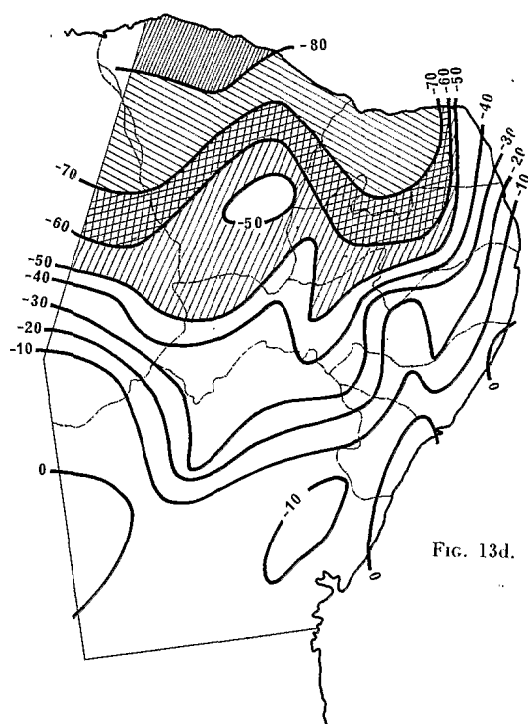


FIG. 13d.

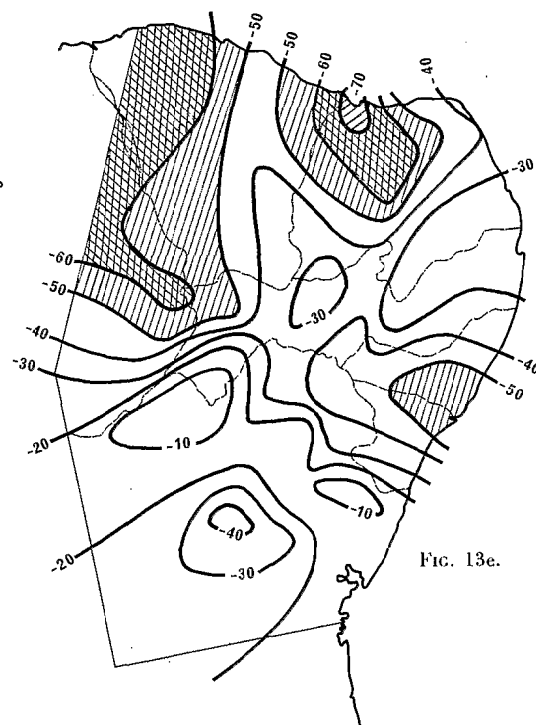


FIG. 13e.

FIG. 13a. - Écarts à la moyenne en %, période année 1915

FIG. 13b. - Écarts à la moyenne en %, période année 1919

FIG. 13c. - Écarts à la moyenne en %, période année 1932

FIG. 13d. - Écarts à la moyenne en %, période année 1958

FIG. 13e. - Écarts à la moyenne en %, période année 1983

TABLEAU IV
Vecteurs régionaux (écarts à la moyenne en %)

V E C T E U R S	1915	1919	1932	1958	1983	1928	1951	1979	5 années les plus sèches	
						*	*	*	Ecart	Période
						1932	1955	1983		
FORTALEZA	-61	-70	-43	-80	-47	-24	-28	-31	-33	54-58
QUIXERAMOBIM	-67	-82	-60	-68	-50	-26	-24	-36	-36	79-83
ARNEIROZ	-34	-62	-37	-54	-54	-17	-30	-22	-31	54-58
SANTANA do CARIRI	-46	-64	-49	-55	-45	-27	-20	-20	-27	28-32
JAICOS	-11	-60	-36	-53	-64	-6	-32	-29	-37	50-54
PAULISTANA	-33	-19	-	-47	-54	-	-24	-19	-28	48-52
SANTO-SE	-36	-64	-59	-16	+11	-16	-28	-12	-30	50-54
JUTAI	-57	-26	-62	-35	-14	-14	-29	-27	-29	51-55
OURICURI	-7	-54	-56	-59	-52	-18	-29	-20	-34	49-53
CABROBO	-59	-35	-58	-34	-32	-30	-31	-6	-31	51-55
PETROLINA	-61	-41	-60	-37	-2	-29	-31	-11	-31	51-55
SUME	-65	-57	-65	-59	-31	-21	-28	-31	-31	79-83
ARCOVERDE	-43	-35	-37	-16	-19	-17	-30	-13	-30	51-55
AFOGADOS Ja INCAZ.	-59	-65	-48	-52	-32	-23	-27	-21	-30	58-62
SERRA TALHADA	-54	-53	-54	-53	-27	-28	-21	-18	-28	28-32
AGUA BRANCA	-50	-30	-45	-36	-49	-30	-18	-13	-30	28-32
MAMANGUAPE	-52	-23	-2	-18	-28	-5	-19	-22	-22	79-83
CAMPINA GRANDE	-23	-18	-12	-60	-30	-8	-30	-2	-31	55-59
SÃO CONCALO	-74	-79	-64	-49	-32	-33	-19	-20	-33	28-32
RECIFE NORD	-41	-21	-1	-4	-21	-5	-17	-6	-18	50-54
RECIFE SUD	-	-	-4	-2	-	-2	-9	-	-12	52-56
MARAGOCI	-	-	+3	+1	-	-	-1	-	-41	24-28
MACEIÓ	-27	-8	-34	-22	-50	-21	-2	-19	-21	28-32
TRANS NORD	-21	-19	-12	-30	-17	-7	-19	-13	-20	50-54
TRANS SUD	-38	-24	-31	-19	-38	-17	-6	-12	-21	56-60
TRALPU	-35	-9	-35	-10	-52	-27	-11	-15	-28	26-30
AGRESTE NORD	-39	-19	-15	-52	-32	-14	-20	-8	-30	55-59
AGRESTE SUD	-46	-23	-40	-28	-48	-28	-18	-7	-31	25-29
GARANHUNS	-39	-25	-34	-14	-26	-26	-11	-6	-27	26-30
CARUARU	-38	-9	-12	-23	-24	-19	-25	-15	-26	52-56

V E C T E U R S	1915	1919	1932	1958	1983	1928	1951	1979	5 années les plus sèches	
						*	*	*	Ecart	Période
						1932	1955	1983		
PATANUTE	-57	-9	-38	-35	-37	-30	-27	-15	-27	51-55
XIQUE-XIQUE	-	-	-	+21	-20	-	-20	+1	-29	50-54
SENHOR DO BOMFIM	-26	-	-59	-33	-12	-27	-30	-12	-31	50-54
MONTE SANTO	-51	-11	-37	-19	-5	-3	-29	-11	-29	51-55
FRANÇA	-4	-37	-44	0	-42	-17	-23	-21	-27	49-53
MORRO do CHAPEU	-	-25	-43	-9	-29	-7	-34	-13	-39	49-53
SEABRA	-30	+2	-51	-3	-23	-26	-21	-5	-33	49-53
JOÃO AMARO	-7	+15	-45	-6	-29	-25	-11	-15	-15	49-53
IPIRA	-29	+11	-43	-11	-30	-15	-17	-3	-21	50-54
ARACI	-23	+2	-57	-15	+2	-22	-18	-10	-23	28-32
QUEIMADAS	-30	-1	-51	-4	-18	-19	-25	-9	-25	51-55
WAGNER	-21	+12	-44	-9	-31	-26	-25	-12	-31	49-53
CAMPO LARGO	-32	-37	-62	-8	-18	-23	-19	+7	-24	49-53
CAMPESTRE	-36	-45	-61	-5	-14	-16	-10	-2	-28	30-34
JAPARATUBA	-29	-11	-34	+2	(-60)	-17	-11	-18	-25	25-29
ESTANCIA	-21	0	-52	+5	-30	-18	-10	-20	-20	79-83
CICERO DANTAS	-21	-11	-48	-14	-39	-15	-22	-14	-22	51-55
SERIDO	-15	-	-	-	-63	-27	-28	-21	-28	51-55
NATAL	-9	-23	-16	-40	-41	-4	-36	-20	-36	51-55
TOUROS	-15	-32	-18	-46	-40	-7	-37	-22	-40	50-54
S. BENTO DO NORTE	-12	-81	-30	-78	-45	+6	-38	-18	-39	54-58
AREIA BRANCA	-70	-80	-51	-75	-73	-32	-48	-37	-48	51-55
MORADA NOVA	-66	-79	-62	-65	-51	-30	-29	-30	-30	28-32
LAGES	-77	-80	-66	-72	-60	-26	-40	-26	-41	50-54
FLORANIA	-83	-79	-61	-73	-66	-31	-38	-27	-38	51-55
ITAU	-80	-78	-53	-68	-53	-32	-19	-24	-32	28-32
OROS	-66	-69	-47	-39	-36	-31	-27	-19	-31	28-32
TAMBORIL CEPI-1	-59	-78	-64	-72	-67	-26	-37	-37	-37	51-55
NOVO ORIENTE CEPI-2	-48	-58	-38	-75	-55	-10	-47	-29	-47	51-55
PIO IX CEPI-3	-30	-59	-34	-61	-56	-12	-34	-29	-34	51-55
IRAUCUBA CE 1	-64	-71	-53	-84	-62	-27	-34	-28	-34	51-55
SIMPLICIO MENDES PI 1	-32	-39	-46	-34	-49	-10	-31	-15	-40	52-56
CURRAL NOVO - PIBA 1	-27	-33	-35	-2	-26	-	-14	-17	-17	79-83

Chacune de ces 63 zones élémentaires est mentionnée dans le tableau 4 par le nom du vecteur régional correspondant. La figure 11 donne l'emplacement du centre de chaque zone.

À partir de cette étude préliminaire, on a calculé, pour la période 1912-1983, l'écart à la moyenne en % des années les plus déficitaires (1915, 1919, 1932, 1958 et 1983), ainsi que celui de la moyenne des trois séries de cinq années consécutives généralement les plus déficitaires (1928-32, 1951-55 et 1979-83). Les résultats sont portés sur le tableau 4 où l'on trouve également, dans les deux dernières colonnes, l'écart à la moyenne de la moyenne la plus faible de cinq années consécutives et la période correspondante, toujours entre 1912 et 1983.

Ces résultats ont permis de réaliser les figures 12 et 13 où sont tracées les lignes d'égal écart à la moyenne pour chaque année sèche et chaque période de cinq années consécutives déficitaires. L'examen de ces figures montre que les régions généralement les plus éprouvées par les sécheresses sont celles du nord, et en particulier l'ensemble du Ceará, la limite Piauí-Ceará, le Rio Grande do Norte, la Paraíba et l'intérieur du Pernambuco. Au cours de cette période 1912-1983, l'État de la Bahia n'a vraiment accusé un déficit pluviométrique qu'en 1932 et durant la période 1951 à 1955. Cependant cet État a beaucoup souffert lors de la dernière sécheresse, non tant par le déficit pluviométrique que par l'irrégularité des pluies. Nous reviendrons sur cette dernière période dans le chapitre 4.

Sur la figure 14 on a repris la moyenne mobile pondérée sur cinq ans de l'ensemble des pluviomètres de la région déjà étudiée précédemment (cf. § 2.4.1 et fig. 7) que l'on a comparée à la même moyenne mobile pondérée du vecteur régional de 9 vecteurs régionaux du Pernambuco et à celle du poste de Fortaleza. Ces graphiques montrent que, pour toute la région nordestine, les grandes périodes sèches et humides sont en concordance, et que le poste pluviométrique de Fortaleza, qui possède la plus longue suite chronologique d'observations, peut être considéré comme représentatif de cette région, tout au moins en ce qui concerne les variations pluriannuelles. Dans les travaux cités au paragraphe 3.2., de nombreux auteurs se sont d'ailleurs servi de ce poste pour étudier les sécheresses du Nordeste, mais souvent sans justifier sa représentativité.

Avec ses 135 années d'observations, on retrouve les périodes à totaux déficitaires qui ont durement éprouvé les populations nordestines : 1877-80, 1888-91, 1902-09, 1919-20, 1930-32, 1942-44, 1951-59 et 1979-83.

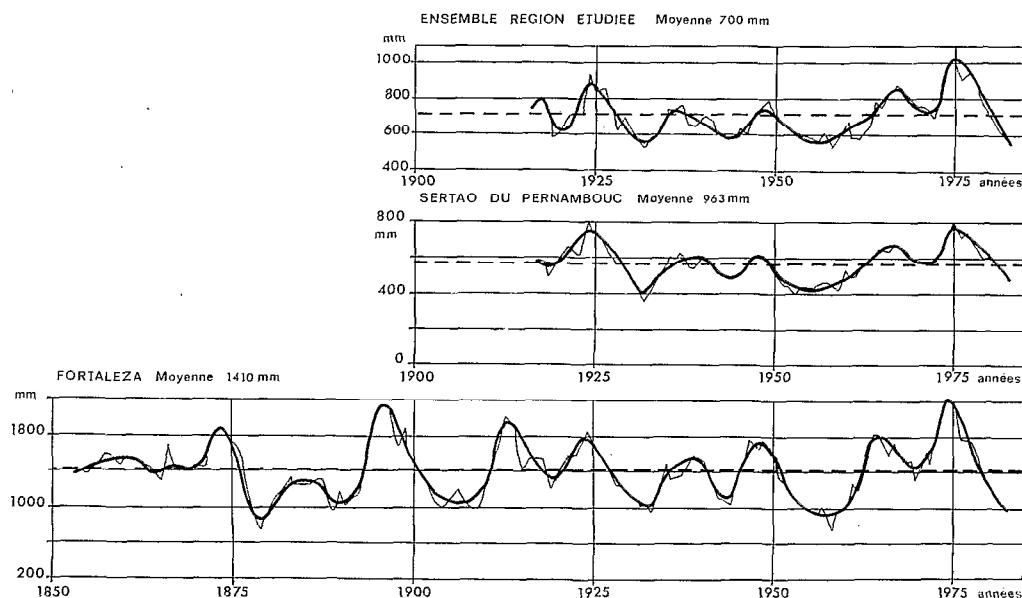


FIG. 14. - Moyennes mobiles pondérées

4. LA SÉCHERESSE 1979-1983

Dans le chapitre précédent, nous avons vu que les totaux annuels de la dernière sécheresse n'étaient généralement pas très déficitaires. Dans certaines zones ils furent même égaux, voire supérieurs à la moyenne interannuelle. Ce qui caractérise cette période c'est surtout la grande irrégularité des pluies sur l'ensemble de la région, si bien que tout le Nordeste a été durement éprouvé y compris des régions qui sont en général épargnées comme l'État du Maranhão et l'Agreste.

Pourtant au début de l'hivernage 1978-79 les pluies tombèrent régulièrement. Mais au cours des mois de mars et avril elles cessèrent presque complètement durant une cinquantaine de jours au milieu du cycle végétatif des cultures dans une très grande partie des États du Paui, du Ceará, du Rio Grande do Norte, de la Paraíba et du Pernambuco.

En 1980, bien que les totaux fussent proches de la moyenne, dans de nombreuses zones la saison des pluies fut très en retard et très concentrée avec des averses de très fortes intensités, catastrophiques pour les cultures. La situation fut à peu près identique en 1981, mais avec des précipitations peut-être encore plus concentrées et plus violentes qui provoquèrent des écoulements importants et entraînant la rupture de nombreux barrages. En 1982, presque partout, les pluies furent en retard et la répartition très irrégulière. Souvent les diagrammes mensuels reflètent mal cette irrégularité. Ainsi on a vu dans certaines régions plus de 70 % du total d'un mois de saison des pluies tomber en une seule journée. Mais ce n'était pas encore la fin du cauchemar pour les Sertanejos. Après quatre années de pluies très irrégulières, au cours desquelles les agriculteurs n'ont jamais pu obtenir une récolte

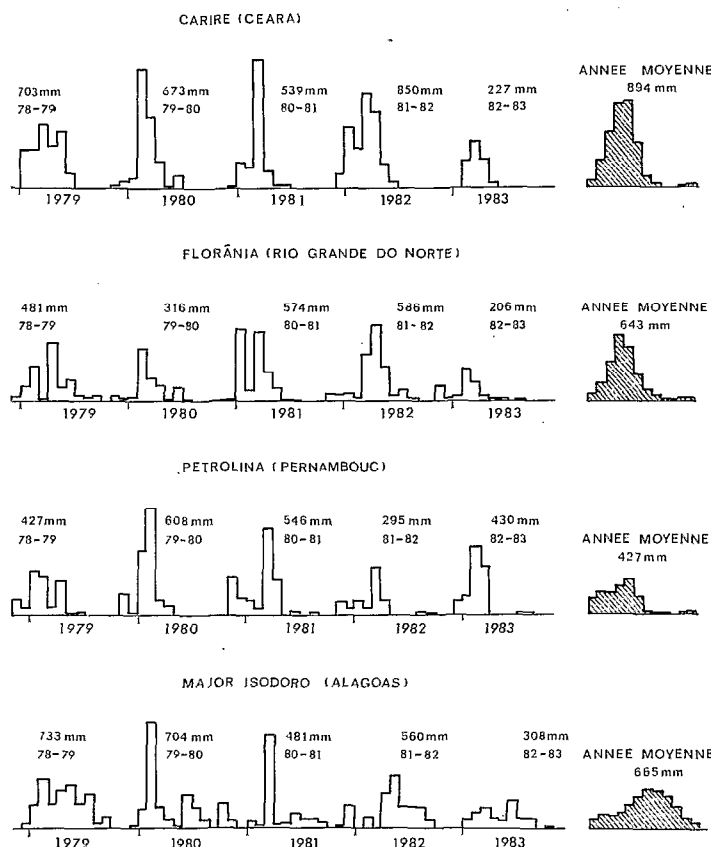


FIG. 15. - Distribution mensuelle pluviométrique de la période 1979-1983

complète, est arrivée l'année 1983 avec des totaux nettement déficitaires dans la quasi-totalité du Nordeste. L'exode vers les villes, qui avait déjà commencé les années précédentes, s'est poursuivi et amplifié. La population urbaine a augmenté dans des proportions insupportables pour les infrastructures des villes, si bien que les métropoles du littoral ont été, plus que jamais, associées aux malheurs des habitants de l'intérieur.

Les graphiques de la figure 15, où sont reportés les totaux mensuels de ces cinq dernières années ainsi que ceux de l'année moyenne, peuvent donner une idée de cette irrégularité qui est souvent la cause principale de ce que l'on appelle dans le Sertão « la sécheresse verte » : l'arrêt prématuré des pluies ou l'interruption de celles-ci n'a pas permis aux récoltes d'arriver à maturation, alors que la quantité d'eau tombée a permis à la caatinga (végétation arbustive xérophile typique du Sertão) de reverdir. Bien que les graphiques soient assez expressifs (on constate, par exemple, qu'à Cariré 49 % de la pluviométrie de l'année 1980 sont tombés en février, et 66 % de celle de 1981 en mars), il serait préférable d'analyser la distribution journalière des précipitations. Un exemple a déjà été donné dans le paragraphe 2.4.3. pour le poste de Petrolina.

Une analyse similaire faite au poste de Florânia (RN) donne les résultats suivants :

- 1979 -

60 % du total de janvier tombent le 8. Puis plus rien jusqu'au 14 février où une pluie de 44,6 mm représente 45 % du total mensuel. On observe encore quelques petites pluies du 24 au 27 de ce même mois et quelques très rares ondées inférieures à 4 mm jusqu'au 19 avril (40,1 mm). Le 26 avril, une averse de 111 mm représente 23 % du total annuel. A part une pluie de 35 mm le 5 juin, il ne tombe pratiquement plus rien jusqu'en février 1980.

- 1980 -

La période pluvieuse du 20 au 26 février (140,8 mm) représente 94 % total mensuel et 45 % du total annuel. En mars, il ne tombe que 66 mm et 42 mm en avril et pratiquement rien en mai.

- 1981 -

Entre le 9 et le 21 janvier il tombe 202 mm, mais seulement 29 mm en février concentrés les 6 et 7. Il faut attendre le 14 mars pour voir de nouveau apparaître les pluies. Durant trois semaines le total est de 276,9 mm (48 % du total annuel), puis plus rien jusqu'à la dernière pluie le 22 mai (30 mm).

- 1982 -

Il n'y eut pratiquement aucune pluie en janvier et février, mais le mois de mars fut normal. En avril 80 % du total mensuel tombent entre le 21 et le 23. En mai une seule grosse pluie de 76 mm le 22.

- 1983 -

Le mois de janvier est particulièrement sec. Au début du mois de février 96 % du total du mois (40 % du total annuel) tombent en cinq jours. Ensuite les pluies sont tellement rares et faibles que l'on ne peut plus parler de saison des pluies.

Les conséquences socio-économiques de cette grande sécheresse sont incalculables. Survenant en pleine crise nationale, elle n'a fait qu'accentuer la paupérisation du Nordeste dans un Brésil déjà très éprouvé. La chute de la production agricole a fortement compromis pour ne pas dire annihilé tous les efforts d'investissement futurs. L'immigration vers les villes a été intense et nombreux sont ceux qui ne retourneront plus sur leurs terres car ils ne possèdent plus rien. Ce problème est particulièrement préoccupant dans les villes comme Fortaleza et Recife où le chômage total atteint plus de 30 % de la population active.

Pour illustrer l'ampleur de cette catastrophe nous avons repris sur la figure 16 les cartes publiées par la SUDENE dans « Secas do Nordeste - 1979-1983 » donnant la superficie des zones sinistrées à la fin de chacune des quatre dernières saisons.

En août 1983, une superficie de près de 1,5 millions de km², soit 90 % du Nordeste, a été déclarée sinistrée. On estime à 24 millions le nombre de personnes directement touchées par les effets de la sécheresse, soit 67 % de la population totale du Nordeste. Les États les plus éprouvés furent celui du Piauí à 100 % et du Maranhão, du Ceará et du Rio Grande do Norte à 99 %. A part le petit État de l'Alagoas, au moins 85 % du territoire de

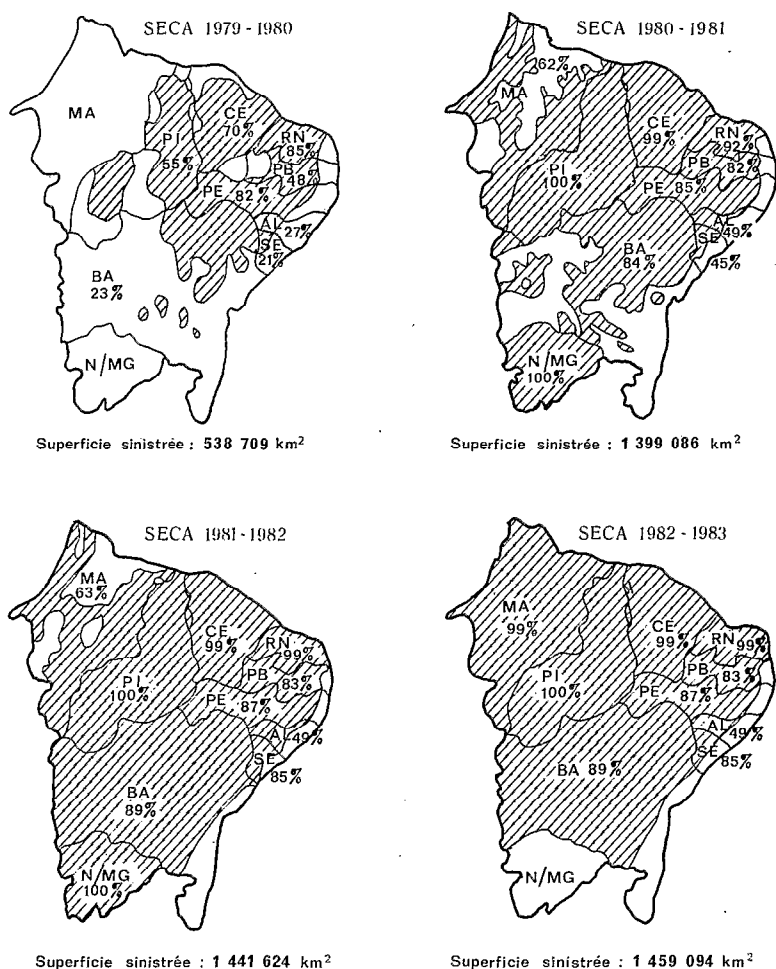


FIG. 16. — Régions sinistrées 1979-1983

chacun des autres États ont été sinistrés. A cette même époque, 1 320 000 personnes étaient directement assistées par les organismes spécialisés tels que la SUDENE, et 3 250 camions-citernes ont circulé dans le Nordeste pour approvisionner les populations en eau.

Heureusement, l'année 1984 a été relativement pluvieuse mettant fin à cette longue période sèche. Dans certaines régions les pluies ont été un peu en retard, la saison n'ayant commencé qu'au début du mois de mars. Mais leur régularité et leur abondance ont permis d'assurer de bonnes récoltes.

Un effort très important de distribution de semences a été fait au début de l'année, aussi bien par les organismes gouvernementaux que par les aides privées, pour permettre aux paysans complètement démunis d'assurer la prochaine récolte de produits de subsistance.

L'examen des totaux pluviométriques de janvier à juillet 1984 montre que dans presque tout le Nordeste la saison des pluies a été excédentaire. A l'exception de certaines régions de l'Agreste, le rapport du total de ces 7 mois à celui du total des moyennes mensuelles de la même période est généralement très supérieur à 1. Dans certaines zones particulièrement éprouvées par la dernière sécheresse (Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte) le rapport est souvent égal ou supérieur à 1,5. La figure 17 donne les valeurs de ce rapport pour 17 des 20 postes pluviométriques sélectionnés (cf. § 2,4).

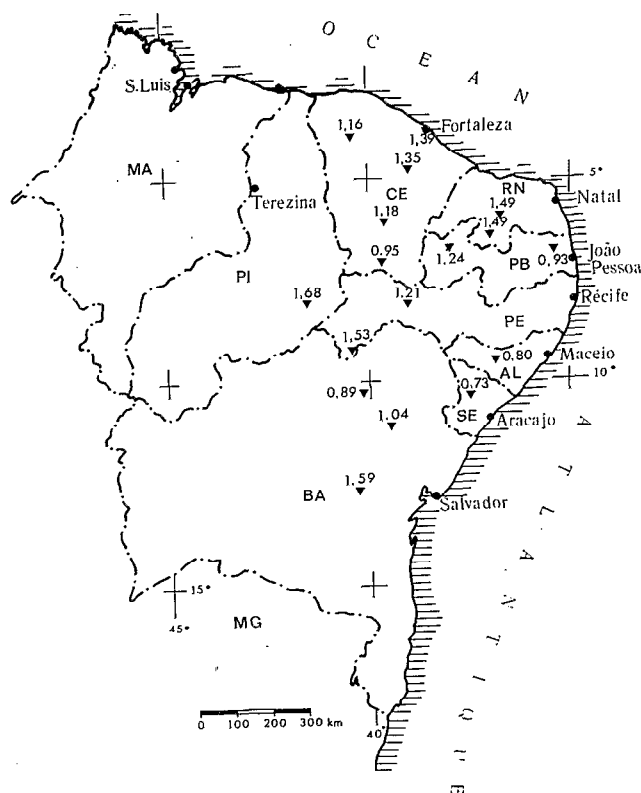


FIG. 17. — Rapport à la moyenne des précipitations de janvier à août 1984

5. CONCLUSION

L'étude de plus de 1 000 postes pluviométriques répartis sur une superficie d'environ 800 000 km² recouvrant la presque totalité du « polygone de la sécheresse » du Nordeste brésilien a permis d'apporter quelques précisions sur les sécheresses qui éprouvent périodiquement cette région. Ainsi, on a pu mettre en évidence la concordance des périodes sèches et humides dans l'ensemble du Nordeste ce qui semble confirmer que une ou plusieurs causes communes sont à l'origine de ces perturbations. Généralement les États les plus touchés sont ceux du Ceará et du Rio Grande do Norte, l'est du Piauí, l'ouest de la Paraíba et du Pernambuco, ainsi que le nord de la Bahia.

Mais surtout, cette étude a montré qu'il est illusoire de ne prendre en compte que les totaux annuels pour caractériser les périodes sèches. En effet, d'une part, les variations annuelles sont très importantes, et d'autre part, la répartition des pluies au cours de l'année est souvent très irrégulière. Il n'est pas rare d'observer que 40 à 50 % du total annuel tombent en moins d'une semaine lors d'une année normale et qu'au cours de l'hivernage d'une telle année, les pluies peuvent cesser durant plus de 40 jours consécutifs. Dans ces conditions, sans apport d'eau supplémentaire, les cultures ne peuvent se développer normalement compromettant la plupart des récoltes.

A cela il faut ajouter un taux d'évaporation très élevé, de l'ordre de 2,5 à 3 mètres par an dans le Sertão, qui prive les agriculteurs d'une grande partie de l'eau accumulée dans les réserves (barrages, açudes) au moment où ils en ont besoin.

Devant ces énormes problèmes économiques, agropastoraux, sociaux et humains, souvent explosifs, créés par ces catastrophes, les pouvoirs publics se sont généralement efforcés de trouver des remèdes et des solutions. Ainsi, les grandes sécheresses ont souvent provoqué la création de nouveaux organismes spécialisés. Ce fut le cas, en particulier, du DNOCS (Département National des Travaux contre les Sécheresses) en 1904, spécialisé dans la construction de grands açudes (barrages) et de leur périmètre d'irrigation, ainsi que de la SUDENE (Superintendance

pour le Développement du Nordeste) créée après la sécheresse de 1958, qui fut chargée de coordonner et de planifier les programmes socio-économiques du Nordeste.

Sensibilisés par les campagnes de presse de ces deux dernières années aussi bien au Brésil qu'à l'étranger, un certain nombre d'organismes non gouvernementaux ont voulu aider à soulager la misère du peuple nordestin, et tenter de compléter ainsi l'aide officielle. Si certaines de ces aides se sont avérées positives et efficaces, il est arrivé, hélas, que certains remèdes et solutions proposés aient été insuffisants et pas toujours adaptés à l'ampleur et à la complexité du problème.

En fait, si la sécheresse est la cause principale de tous les maux du Nordeste, elle ne peut expliquer à elle seule tous les problèmes que connaît cette région peuplée en grande majorité de petits propriétaires et de paysans sans terre. Dans cette région où 50 % de la terre appartient à moins de 2 % de la population, il apparaît de plus en plus que les solutions passent par une réforme agraire importante. Actuellement est mis en place le « Projet Nordeste » dont la finalité est d'augmenter l'aide au petit propriétaire rural, ce qui implique une réorganisation de l'ensemble de la politique du développement de cette région. Une de ses priorités est la redistribution des terres, tâche immense, mais conditionnant la réussite de l'ensemble du projet.

De plus, pour lutter contre un exode rural qui a touché récemment près de trois millions de personnes, il faut que les Sertanejos apprennent à vivre avec une sécheresse qui fait hélas partie du quotidien de cette région. Pour cela des instituts de recherches agronomiques comme l'EMBRAPA, aidés par des organismes d'extension rurale, s'emploient à développer et à adapter des techniques simples et peu coûteuses, facilement utilisables par les petits propriétaires terriens. De même, des organismes de développement régional tels que la SUDENE s'efforcent de promouvoir des techniques de petite irrigation, encore peu traditionnelles dans le Nordeste.

Pour rendre plus efficace cette politique de développement du Nordeste, il serait souhaitable de prévoir suffisamment tôt l'arrivée des sécheresses afin de les combattre plus efficacement. Dans ce domaine, un peu partout dans le monde, de nombreux programmes sont en cours et les données accumulées représentent une réelle richesse qu'il devient indispensable de faire fructifier grâce à une coopération interdisciplinaire et interorganisme accrue. On peut citer en particulier, les études concernant l'action de l'Atlantique tropical sur le régime des pluies du Nordeste. Des travaux en cours à l'INPE (Institut National de Recherches Spatiales - São José dos Campos-Brésil) sur les anomalies de température de l'Atlantique tropical semblent assez prometteurs. Il y a dans ce domaine une possibilité de coopération, d'ailleurs déjà amorcée, entre les climatologues de l'INPE, les océanographes (programme FOCAL), les hydrologues et les géographes de l'ORSTOM.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction
le 20-8-1985

BIBLIOGRAPHIE

- BJERKNES (I.), 1969. - Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Weath. Rev.*, 97 : 163-172.
- BRUNET-MORET (Y.), ROCHE (M.), 1975. - Persistance dans les suites chronologiques de précipitations. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, vol. XII, n° 3 : 147-166.
- CADIER (E.), 1984. - Método de avaliação dos escoamentos nas pequenas bacias do semi-árido. Brasil, SUDENE, série Hidrologia n° 21, 71 p.
- CADIER (E.), COCHONNEAU (G.), GUSMÃO (A.), 1981. - Estudo estatístico das precipitações diárias no Estado de Pernambuco; IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Vol. 1 : 414-422.
- CAMPELLO (S.), 1979. - Modélisation de l'écoulement sur des petits cours d'eau du Nordeste (Brésil). Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Paris VI, 23 mai 1979. Paris, ORSTOM, 121 p. *multigr.*
- CAVIEDES (C.N.), 1973. - Secas and El Niño : Two simultaneous climatological hazards in South America. *Proc. Assoc. Amer. Geograph.*, 5 : 44-49.
- CHARNEY (J.G.), 1975. - Dynamics of desert and drought in the Sahel. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 101 : 193-202.
- CUNHA (da E.), 1940. - Os Sertões (Campanha de Canudos). Francisco Alves, Rio de Janeiro, 646 p.
- DERBY (O.A.), 1885. - As manchas solares e as Secas. *Rev. de Engenharia*, 8 : 112-114.
- DUBREUIL (P.), GIRARD (G.), HERBAUD (J.), 1968. - Monographie hydrologique du Bassin du Jaguaribe. *Mém. ORSTOM* n° 28, 385 p.
- GILENO de CARLI, 1982. - A maior seca do século. Confederação Nacional da Agricultura, Recife, 285 p.
- GIRARDI (C.), TEIXEIRA (L.), 1978. - *Prognóstico do tempo a longo prazo*. CTA/IAE, São José dos Campos. SP. 21 p.
- GUSMAO (A.), 1983. - Avaliação das características do período de chuvas eficazes para a região sertaneja da Paraíba. M. Sc. Thèse, Université de Campina Grande, P.B. (Brésil).
- GOMES FILHO (M.F.), 1979. - Um estudo sobre a influência do albedo diferencial e da orografia na circulação atmosférica. M. Sc. Thèse, INPE 1640. TDL/015, São José dos Campos SP. 86 p.
- HASTENRATH (S.), HELLER (L.), 1977. - Dynamics of climate hazards in Northeast Brazil. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 103 : 77-92.
- HIEZ (G.), 1977. - L'homogénéité des données pluviométriques. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, vol. XIV, n° 2 : 129-172.

- HULL (F.R.), 1942. — A frequência das Secas no Estado do Ceará e sua relação com a frequência dos anos das manchas solares mínimas. *Boletim da Secretaria da Agricultura e Obras Públicas*, 4 : 58-63.
- JACCON (G.), 1982. — As precipitações anuais da região Paraibana. Recife SUDENE, 97 p.
- JACCON (G.), SECHET (P.), 1980. — Base de données hydroclimatologiques du nord-est brésilien. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, vol. XVII, n^{os} 3-4 : 177-219.
- MARKHAM (C.G.), 1974. — Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza, Ceará, Brazil. I. *Appl. Meteor.*, 13 : 176-179.
- MARKHAM (C.G.), McLAIN (D.R.), 1977. Sea surface temperature related to rain in Ceará, northeast Brazil. *Nature*, 265 : 320-323.
- MOLINIER (M.), 1979. — La sécheresse 1978 dans le sud-ouest congolais. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, vol. XVI, n^o 2 : 77-88.
- MOURA (A.D.), SHUKLA (S.), 1981. — On the dynamics of droughts in north-east Brazil : observations, theory and numerical experiments with general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 38 : 2653-2675.
- NIMER (E.), 1973. — Climatologia da região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, IBGE, vol. 34, n^o 2 : 3-51.
- NOUVELOT (J.F.), FERREIRA (P.A.S.), CADIER (E.), 1979. — Bacia Representativa do Riacho do Navio — Relatório final. Brasil. SUDENE, Série Hidrologia n^o 6, 193 p.
- OLIVRY (J.C.), 1983. — Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal-Gambie et aux Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, vol. XX, n^o 1 : 47-70.
- SAMPAIO FERRAZ (de J.), 1950. — Iminência duma grande Seca no Nordeste. *Rev. Bras. Geogr.*, 12 : 3-15.
- SIRCOULON (J.), 1976. — Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses « 1913 » et « 1940 ». *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, vol. XIII, n^o 2 : 75-174.
- SUDENE, 1981. — As secas do Nordeste. MINTER-SUDENE CDU 551.577.38 (812/814), Recife-PE, 81 p. Anexos.
- SUDENE, 1983. — Secas no Nordeste — 1979-1983. O longo flagelo e as ações do Governo. — Recife, SUDENE, 30 p.

ANNEXE 1. - PLUVIOMÉTRIE ANNUELLE

ENSEMBLE NORDESTE				F O R T A L E Z A							
ANNEE	PLUVIO	ANNEE	PLUVIO.	ANNEE	PLUVIO.	ANNEE	PLUVIO.	ANNEE	PLUVIO.	ANNEE	PLUVIO.
1912	962.4	1950	649.9	1849	1992.0	1886	1399.0	1923	1558.5	1960	937.2
1913	792.6	1951	452.1			1887	1320.0	1924	2042.9	1961	1802.7
1914	1034.6	1952	685.5	1850	852.0	1888	736.0	1925	1249.7	1962	956.0
1915	257.1	1953	577.1	1851	1806.0	1889	784.0	1926	1455.2	1963	1932.0
1916	905.8	1954	582.1	1852	1356.0			1927	1275.5	1964	2424.5
1917	885.2	1955	517.2	1853	1222.0	1890	1534.0	1928	936.6	1965	1628.2
1918	773.8	1956	532.1	1854	1590.0	1891	880.0	1929	1297.7	1966	1041.6
1919	162.7	1957	675.9	1855	1273.0	1892	1281.0			1967	1962.8
		1958	362.4	1856	1772.0	1893	1462.0	1930	954.1	1968	1236.6
1920	663.7	1959	694.4	1857	1734.0	1894	2793.0	1931	1137.8	1969	1712.5
1921	907.0			1858	1457.0	1895	2392.0	1932	824.0		
1922	833.2	1960	839.4	1859	1357.0	1896	1985.0	1933	887.1	1970	919.2
1923	626.0	1961	408.6			1897	1942.0	1934	1739.8	1971	2146.6
1924	1301.5	1962	555.4	1860	1716.0	1898	527.0	1935	1972.5	1972	1209.8
1925	599.9	1963	698.1	1861	1445.0	1899	2770.0	1936	861.9	1973	2539.5
1926	850.1	1964	1164.0	1862	1468.0			1937	1308.1	1974	2898.8
1927	617.5	1965	594.3	1863	1452.0	1900	573.0	1938	1591.7	1975	1758.2
1928	384.6	1966	841.1	1864	1098.0	1901	1545.0	1939	1929.7	1976	939.0
1929	871.5	1967	966.5	1865	1238.0	1902	878.0			1977	1822.9
		1968	643.3	1866	2478.0	1903	789.0	1940	1479.8	1978	1774.9
1930	516.0	1969	778.1	1867	832.0	1904	1136.0	1941	884.3	1979	1004.4
1931	542.3			1868	1290.0	1905	1189.0	1942	775.9		
1932	400.3	1970	693.9	1869	1470.0	1906	1430.0	1943	1076.0	1980	973.7
1933	653.1	1971	765.8			1907	697.0	1944	1165.7	1981	850.0
1934	654.1	1972	619.4	1870	1628.0	1908	834.0	1945	1919.5	1982	996.4
1935	1024.3	1973	914.2	1871	1459.0	1909	1015.0	1946	1801.6	1983	939.1
1936	657.5	1974	1438.1	1872	2256.0			1947	1903.1		
1937	720.4	1975	918.5	1873	2057.0	1910	2051.0	1948	1438.2		
1938	427.9	1976	663.1	1874	1467.0	1911	1478.0	1949	1853.2		
1939	641.6	1977	982.7	1875	1526.0	1912	2655.9				
		1978	881.1	1876	1569.0	1913	1874.2	1950	1516.1		
1940	899.0	1979	615.6	1877	468.0	1914	1682.7	1951	569.6		
1941	607.7			1878	503.0	1915	553.1	1952	1326.8		
1942	382.0	1980	686.1	1879	597.0	1916	1860.6	1953	917.8		
1943	560.0	1981	580.9			1917	1757.0	1954	992.8		
1944	600.3	1982	498.1	1880	1539.0	1918	1504.0	1955	945.3		
1945	767.3	1983	466.0	1881	1423.0	1919	464.4	1956	816.4		
1946	518.5			1882	1146.0			1957	1264.8		
1947	927.4			1883	1418.0	1920	1544.7	1958	234.4		
1948	751.9			1884	1057.0	1921	2118.5	1959	1487.6		
1949	778.7	MOY.	700.0	1885	1307.0	1922	1695.1			MOY.	1405.2

ANNEXE 2. - PLUVIOMÉTRIE ANNUELLE

ANNEE	CARIÉ	CEDRO	IBICUA	SANTANA DO CARIRI	FLORÂNIA	SOUSA	CAICO	SIMPLICIO MENDES	PETROLINA	SALGUEIRO	AREIA	GARANHUNS	MAJOR ISIDORO	FREI PAULO
1911	-	628.9	-	-	400.6	731.2	428.7	-	-	-	1299.0	-	-	-
1912	-	916.5	1015.8	816.7	958.2	969.7	822.3	-	458.8	899.5	1723.0	-	850.0	-
1913	-	1115.5	787.1	1075.5	823.1	887.1	754.5	-	460.4	788.7	1341.5	-	613.0	859.7
1914	830.6	958.9	1050.0	893.0	979.7	860.2	930.0	-	199.9	759.4	2015.2	-	967.1	1194.7
1915	179.5	280.3	284.1	640.0	254.0	232.3	154.5	494.8	194.1	380.3	832.4	-	414.7	694.2
1916	1104.6	1059.2	788.4	1452.9	542.8	1130.2	716.3	888.0	304.1	609.7	1215.4	-	696.6	782.7
1917	1516.0	1404.9	1248.9	2641.8	847.2	1133.4	845.5	978.1	395.2	743.4	1067.9	-	724.5	959.4
1918	976.2	929.5	1127.0	1512.3	549.6	721.2	519.3	567.9	313.2	485.8	1340.9	-	694.5	797.7
1919	200.9	124.6	185.6	264.9	87.4	173.7	107.1	572.9	226.8	360.1	1041.4	-	503.0	720.3
1920	854.5	772.5	826.6	889.0	657.7	650.8	539.0	817.3	506.4	597.6	1130.6	-	629.3	1043.8
1921	1475.7	1296.1	1027.5	1811.6	831.1	882.9	850.0	1028.9	679.4	838.6	1256.1	847.8	1055.0	1308.2
1922	885.6	1174.5	1117.1	2000.2	711.5	860.0	704.6	713.5	489.2	693.7	1173.1	932.6	745.3	1081.0
1923	965.5	723.2	650.0	1317.9	611.4	630.0	573.4	774.3	484.2	539.1	900.3	646.9	537.2	763.4
1924	1841.7	1585.7	1230.0	-	1357.4	1300.0	956.3	1315.7	846.4	1145.3	1679.3	1296.0	923.9	1074.3
1925	1247.3	1281.1	1020.0	-	935.2	782.9	1085.1	578.7	491.3	474.1	1642.6	664.6	373.7	376.1
1926	1472.3	769.7	702.0	-	946.3	606.9	764.5	1256.3	698.8	829.6	1070.3	558.4	484.1	931.8
1927	1404.2	669.4	710.0	-	799.9	588.9	570.0	402.5	466.7	258.8	1022.1	387.5	597.7	562.2
1928	576.8	725.2	536.0	-	398.4	395.4	264.8	614.5	280.4	595.3	1322.3	414.2	353.2	387.5
1929	1011.3	1018.6	719.5	-	858.0	586.6	699.6	912.5	372.7	792.7	1565.6	636.4	544.6	718.3
1930	598.5	626.0	710.3	-	204.4	531.0	439.5	712.8	368.8	325.7	870.8	598.8	640.9	716.2
1931	637.6	621.4	473.9	562.6	447.2	530.0	460.0	-	246.2	258.2	1674.2	828.4	497.6	627.6
1932	444.3	251.9	403.3	418.4	262.8	280.0	250.0	423.0	151.7	253.1	1112.0	491.9	268.3	413.0
1933	1023.5	755.9	673.1	987.6	670.0	811.2	645.2	844.9	239.1	571.0	1155.1	706.2	672.6	790.4
1934	1360.8	1211.5	1067.9	1185.4	607.4	1278.4	1064.7	786.9	379.5	460.0	1558.4	799.6	602.6	780.0
1935	778.9	782.1	1044.0	991.9	1019.2	994.1	796.8	910.1	391.7	993.9	1838.7	715.2	848.7	1113.2
1936	553.9	799.4	665.5	464.5	387.2	797.7	364.1	510.6	391.7	528.3	1378.9	585.6	690.8	718.8
1937	696.7	677.8	725.3	766.4	535.3	776.0	627.9	867.6	457.9	674.8	1121.5	819.9	584.4	798.8
1938	812.2	750.2	644.5	578.7	399.7	752.4	420.9	430.4	347.5	485.6	957.3	697.8	329.7	561.5
1939	1170.7	603.0	653.3	673.0	647.2	882.6	617.1	372.6	292.8	293.8	1572.0	706.0	512.5	709.5
1940	1136.9	1048.3	1144.9	1123.5	936.3	1249.8	953.1	905.4	578.4	555.3	2064.8	920.7	812.6	918.0
1941	578.6	439.8	615.6	782.2	243.4	824.3	324.0	583.8	349.3	579.3	1690.8	865.0	552.0	770.2
1942	474.4	434.3	380.0	466.8	204.4	386.0	222.1	640.8	394.5	351.7	1237.5	665.8	508.6	630.3
1943	676.7	529.2	581.7	783.0	524.1	414.3	450.3	628.2	201.0	423.2	1055.8	612.7	518.9	695.3
1944	739.1	696.3	600.8	825.4	559.3	662.5	531.3	836.9	341.7	697.1	1094.0	1133.7	1136.9	1033.4
1945	974.0	1005.2	777.1	996.2	725.3	780.7	680.5	803.4	364.2	597.9	1630.3	850.6	917.4	875.2
1946	819.2	749.2	1119.2	1172.7	461.2	707.9	474.7	689.7	293.3	468.2	1059.8	488.5	509.0	622.2
1947	1043.5	1164.6	1214.7	1641.2	781.6	1232.0	1143.7	910.7	703.9	894.5	1394.8	1035.4	1041.9	929.3
1948	520.6	637.9	852.5	678.5	663.8	470.2	1061.1	555.3	306.9	576.3	1270.0	935.0	911.5	998.0
1949	769.5	857.5	496.3	860.1	641.1	750.0	711.4	631.7	355.0	695.3	1406.4	876.2	730.9	875.0

ANNEXE 3. - PLUVIOMETRIE ANNUELLE

ANNEE	CARIRÉ	CEDRO	IBICUA	SANTANA DO CARIRI	FLORÂNIA	SOUSA	CAICO	SIMPLICIO MENDES	PETROLINA	SALGUEIRO	AREIA	GARANHUNS	MAJOR ISIDORO	FREI PAULO
1950	686.7	758.5	904.5	565.3	648.5	461.9	764.1	707.3	244.6	437.0	1551.3	721.3	627.0	650.1
1951	538.9	534.8	375.0	641.5	241.5	509.4	251.1	436.7	174.0	366.1	1622.5	1159.7	700.3	772.5
1952	579.3	670.3	689.7	689.1	693.3	389.2	722.9	601.9	269.0	609.6	876.8	469.5	699.9	778.2
1953	293.6	418.6	385.9	499.8	265.1	490.9	273.5	571.6	340.0	345.2	1022.6	647.2	682.8	586.0
1954	487.5	535.9	654.7	808.2	519.7	752.8	409.7	555.4	385.5	394.9	1007.8	739.2	538.5	633.9
1955	1016.2	750.7	652.7	282.4	659.1	700.0	488.9	515.4	283.2	328.9	1187.9	782.3	452.1	584.6
1956	550.3	603.1	740.4	983.5	539.0	820.0	531.3	586.4	318.1	601.3	1516.3	681.4	491.8	750.6
1957	820.6	577.2	912.2	872.7	550.3	670.0	652.8	925.6	586.7	932.8	1198.6	778.3	765.8	1105.6
1958	225.9	432.3	378.4	385.2	124.0	330.0	170.2	358.9	218.0	405.7	1050.0	589.0	554.2	697.1
1959	837.3	769.0	705.2	964.4	544.7	659.0	627.5	585.2	234.0	247.2	1450.0	468.2	381.9	532.3
1960	568.2	843.3	631.4	1234.9	472.0	620.0	794.6	815.4	614.1	-	1340.0	1172.4	765.5	946.8
1961	1288.0	1102.3	503.8	927.3	695.5	881.6	1052.2	696.9	226.0	422.3	1653.2	998.5	697.5	627.1
1962	934.5	867.5	918.1	851.3	695.5	530.8	520.0	656.9	314.5	434.5	1230.0	-	559.4	841.5
1963	1307.5	1009.1	1021.7	934.3	917.0	1229.9	1148.4	598.5	293.8	624.4	1155.7	-	659.5	1035.3
1964	1437.1	1463.7	1149.2	1051.4	1373.4	1095.0	1351.5	776.4	1009.7	620.4	2127.1	-	1046.7	1182.1
1965	1440.0	595.7	1045.4	977.0	871.1	909.0	851.4	742.4	418.4	520.1	1210.8	854.8	544.2	498.4
1966	525.1	524.7	830.0	738.6	671.3	676.1	663.9	798.1	485.0	633.3	1696.7	1091.7	968.8	979.9
1967	1175.4	1002.0	1130.0	1197.8	984.3	1286.6	792.6	841.0	771.5	720.8	1759.6	718.0	715.7	1061.0
1968	1432.6	817.6	910.0	971.9	950.4	617.0	832.2	851.1	362.8	577.8	1105.5	732.1	923.2	1103.0
1969	962.7	1038.0	770.0	680.7	800.0	804.2	695.4	696.6	513.8	664.6	1586.9	-	959.4	1293.0
1970	389.1	592.5	580.7	590.4	280.5	429.0	455.1	362.2	391.4	516.7	1384.6	-	356.4	741.1
1971	920.7	820.0	745.1	1073.6	938.2	1149.0	964.1	794.6	514.4	798.8	1383.8	653.8	548.5	825.0
1972	724.7	708.6	778.4	835.3	641.5	871.8	979.7	607.4	565.8	428.6	1420.2	1004.9	905.8	1060.1
1973	1242.6	1030.0	1025.2	1067.3	743.0	909.8	648.8	917.7	652.5	884.6	1537.9	752.8	509.3	1047.1
1974	1818.8	1680.9	1348.5	1509.4	1398.2	1556.0	1560.5	-	729.1	750.5	1899.0	-	800.6	941.1
1975	1229.8	1107.7	1095.8	1167.9	911.9	910.3	1162.6	-	520.4	661.4	1446.0	1036.7	969.6	1069.2
1976	801.3	637.0	630.7	874.2	650.3	722.9	617.3	665.0	499.4	365.8	1450.7	826.4	554.0	1000.7
1977	1184.5	1172.0	722.4	843.2	1016.1	1349.3	1144.0	837.9	670.4	1028.3	1410.1	1098.6	1100.5	1045.0
1978	1036.5	727.0	867.0	1020.4	697.5	989.4	838.1	879.0	695.0	565.9	1678.3	-	801.9	1288.2
1979	718.4	550.5	733.1	883.0	484.0	910.4	500.6	654.5	429.1	842.6	1172.0	677.5	724.4	644.7
1980	658.7	790.7	860.2	822.4	313.0	691.9	423.0	816.5	690.4	663.7	1165.7	850.6	718.5	658.2
1981	629.6	577.6	571.4	798.2	584.0	815.8	519.9	622.5	448.1	532.2	1411.0	846.1	530.0	630.8
1982	815.3	858.7	487.8	617.0	582.5	927.2	648.3	575.0	282.9	369.5	1393.0	955.1	487.8	676.0
1983	303.8	326.4	473.0	360.8	204.4	587.7	300.1	464.0	543.9	519.4	1120.6	489.4	324.5	373.0
NBR. ANS	70	73	72	65	73	73	73	66	72	71	73	56	72	71
MOY.	884.7	807.8	779.4	922.9	645.6	773.8	669.5	704.1	426.6	581.5	1356.2	777.0	664.9	823.8

ANNEXE 4. - PLUVIOMETRIE ANNUELLE

ANNEE	SENHOR DO BOMFIM	QUEIMADAS	MORRO DO CHAPEU	BARRA	JOÃO AMARO
1911	-	-	-	-	-
1912	775.9	744.7	872.3	908.1	885.9
1913	656.6	512.4	807.5	796.4	675.5
1914	1131.3	651.6	1070.1	668.6	975.2
1915	628.7	370.9	1017.0	765.5	707.1
1916	738.1	740.7	1072.6	908.5	832.2
1917	668.6	433.6	950.6	895.6	655.3
1918	855.8	426.8	791.3	885.8	783.2
1919	656.3	521.6	518.3	866.5	761.4
1920	966.9	683.9	818.8	821.5	697.9
1921	1101.4	599.0	770.2	894.7	817.8
1922	908.8	557.3	709.2	853.8	490.0
1923	733.3	355.3	571.4	647.1	442.7
1924	1302.2	863.9	1247.8	1238.1	739.0
1925	481.6	406.0	760.6	774.0	575.2
1926	898.7	772.3	1055.0	956.2	808.9
1927	687.4	505.9	826.9	791.6	593.1
1928	742.5	459.7	610.0	731.3	432.0
1929	966.5	885.6	645.3	848.1	454.1
1930	753.8	582.4	641.1	589.2	523.1
1931	463.2	371.8	274.5	543.8	315.3
1932	437.0	253.3	438.7	310.0	382.9
1933	712.0	633.3	725.4	825.7	622.9
1934	681.6	233.6	404.2	525.3	321.6
1935	1152.8	595.3	944.2	769.4	1026.5
1936	714.7	409.1	744.2	903.2	820.1
1937	918.4	447.2	635.3	1039.0	541.7
1938	744.8	432.8	432.9	405.3	328.6
1939	709.9	628.1	573.1	491.4	493.4
1940	1217.2	787.1	894.1	895.9	840.2
1941	857.6	552.0	847.5	617.7	590.6
1942	541.8	600.4	820.5	839.6	797.0
1943	802.3	445.1	663.3	682.6	487.3
1944	813.8	734.7	884.4	850.2	779.8
1945	974.3	475.4	1013.9	1298.3	472.5
1946	542.8	336.6	468.6	566.5	311.8
1947	1132.6	721.6	1038.4	1081.8	880.4
1948	1087.2	694.8	746.8	795.2	720.0
1949	1014.8	496.8	508.7	635.0	341.4
1950	594.6	405.9	524.2	395.8	365.6
1951	776.0	396.1	541.7	621.7	272.5
1952	651.8	512.9	775.7	396.8	597.7
1953	581.3	374.2	423.3	479.3	582.2
1954	703.8	290.8	581.8	579.1	559.8
1955	611.3	469.0	513.3	799.5	693.2
1956	742.7	330.5	444.9	786.5	495.6
1957	1047.5	603.4	856.1	873.1	644.7
1958	811.0	524.8	705.4	962.5	562.3
1959	442.9	261.2	517.6	325.1	220.6
1960	1161.9	1028.9	1157.3	1154.6	893.0
1961	390.7	257.9	409.5	403.9	388.5
1962	614.3	475.6	535.7	587.9	505.0
1963	654.0	466.9	680.9	705.7	772.0
1964	1520.9	876.2	1010.1	754.3	1415.3
1965	705.5	387.8	577.7	950.4	472.8
1966	1374.1	787.2	846.8	774.7	859.7
1967	1051.2	616.6	921.3	961.1	671.1
1968	1112.4	437.6	675.7	904.5	825.6
1969	1321.4	749.2	877.9	1194.7	701.2
1970	803.5	450.9	916.9	681.2	683.1
1971	743.3	286.9	637.6	597.2	489.0
1972	924.7	429.4	604.2	-	775.1
1973	850.2	502.0	583.5	692.0	585.0
1974	1550.7	749.8	1045.0	-	611.7
1975	1035.4	819.7	-	718.4	1044.8
1976	676.8	349.2	-	-	634.5
1977	946.8	485.0	-	-	786.0
1978	979.5	574.0	-	-	955.0
1979	699.2	389.0	578.4	1063.0	615.9
1980	927.5	762.0	837.6	958.6	648.2
1981	754.7	749.6	945.3	565.0	615.4
1982	598.5	463.8	389.4	496.8	382.0
1983	679.8	467.6	439.2	541.3	462.6
NBR. ANS	72	72	68	67	72
MOY.	836.3	537.2	726.0	761.8	635.1

La sécheresse de 1983 en Guadeloupe

M. HOEPFFNER, M. MORELL et D. ROSSIGNOL (1)

RÉSUMÉ

L'utilisation de la méthode des indices pluviométriques annuels et des méthodes d'ajustement de lois statistiques à de longues séries d'observation permet de caractériser la répartition des déficits pluviométriques de l'année 1983 sur la Guadeloupe et les Petites Antilles, et de comparer les déficits de l'année 1983 à ceux des années précédentes, pour ce qui concerne les pluviométries annuelles et mensuelles comme les écoulements annuels et les étiages.

C'est ainsi que l'on a pu constater comme les sécheresses peuvent affecter différemment les îles de cette région selon leurs reliefs.

MOTS-CLÉS : Guadeloupe – Sécheresse – Indices pluviométriques annuels – Répartition des déficits pluviométriques – Influence du relief.

ABSTRACT

DROUGHT 1983 IN GUADELOUPE

Yearly rainfall index method and statistical law fitting used in the case of long time-series data are taken to characterize the repartition deficits in Guadeloupe and Lesser Antilles for the year 1983. Such methods allow to compare the deficits of this year to those of previous years as well for yearly and monthly rainfalls as for yearly runoff and low waters.

The relief influence of these islands on drought variation is pointed out in this paper.

KEY WORDS : Guadeloupe – Drought – Yearly rainfall index – Rainfall deficit repartition – Relief effect.

1. INTRODUCTION

Les relevés pluviométriques ont été effectués en Guadeloupe depuis la fin du siècle dernier, sur un certain nombre de sites, pendant des périodes de durées variées.

Le travail essentiel de saisie et de traitement de toutes les données obtenues depuis le début de ces observations jusqu'en 1978 a été réalisé par l'ORSTOM pour établir l'inventaire des ressources en eaux de surface de la Guadeloupe, demandé pour le Conseil général de la Guadeloupe par la Direction départementale de l'Agriculture.

Le premier des traitements réalisés a consisté à homogénéiser les données pluviométriques originales par la méthode des indices pluviométriques annuels, définie dans l'article publié par Y. BRUNET-MORET dans les Cahiers ORSTOM (1978).

Cette méthode permet d'établir une série d'indices annuels z_i pour une zone pluviométrique considérée comme homogène.

L'indice z_i , pour l'année i , est la moyenne, sur cette zone, des rapports de la pluviométrie annuelle à la valeur interannuelle M de chacun des postes,

$$\text{avec } z_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{P_{i,j}}{M_j},$$

(1) Centre ORSTOM de Guadeloupe, B.P. 1020 – 97178 Pointe-à-Pitre Cedex

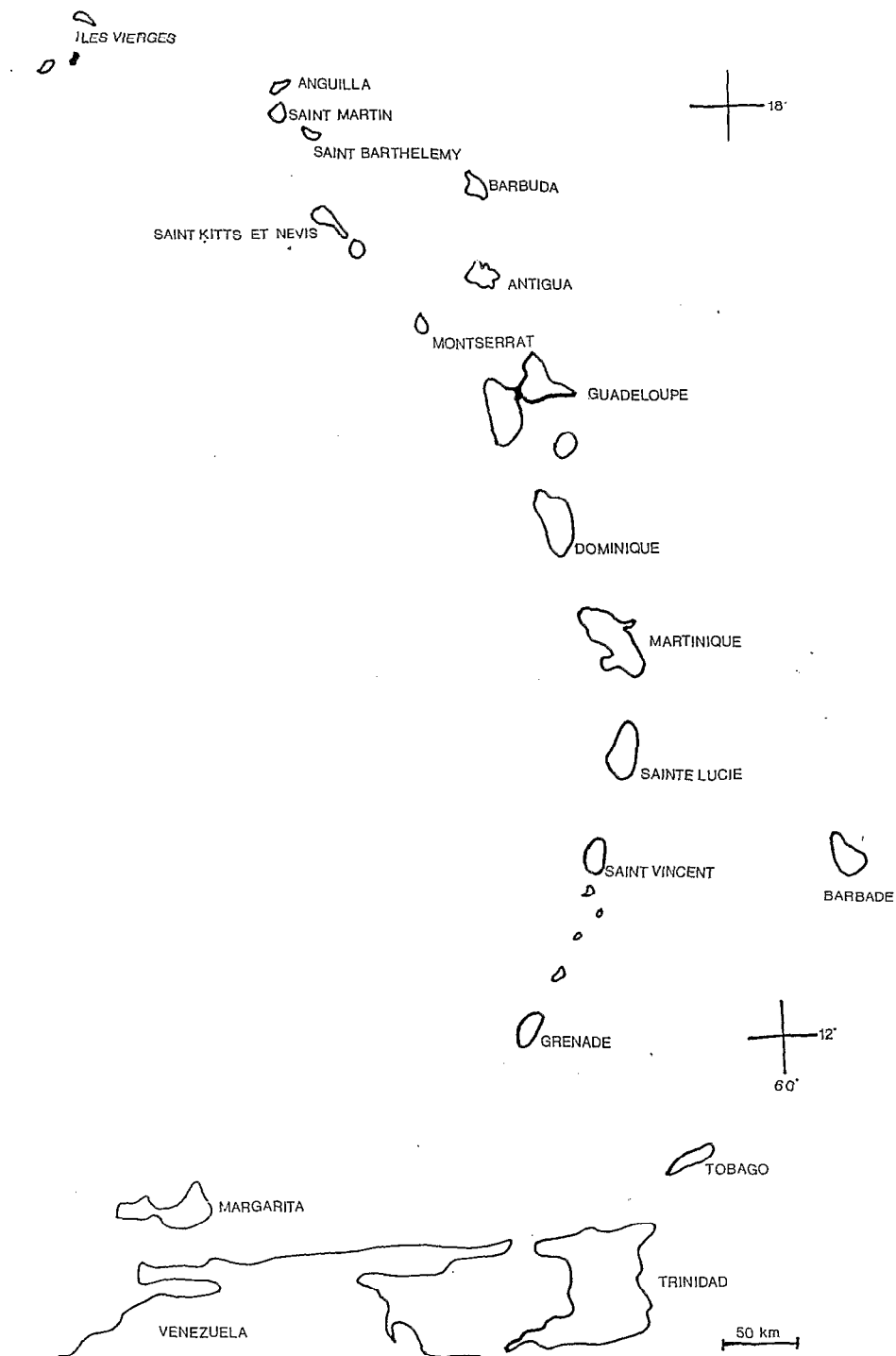


FIG. 1. - Les Petites Antilles

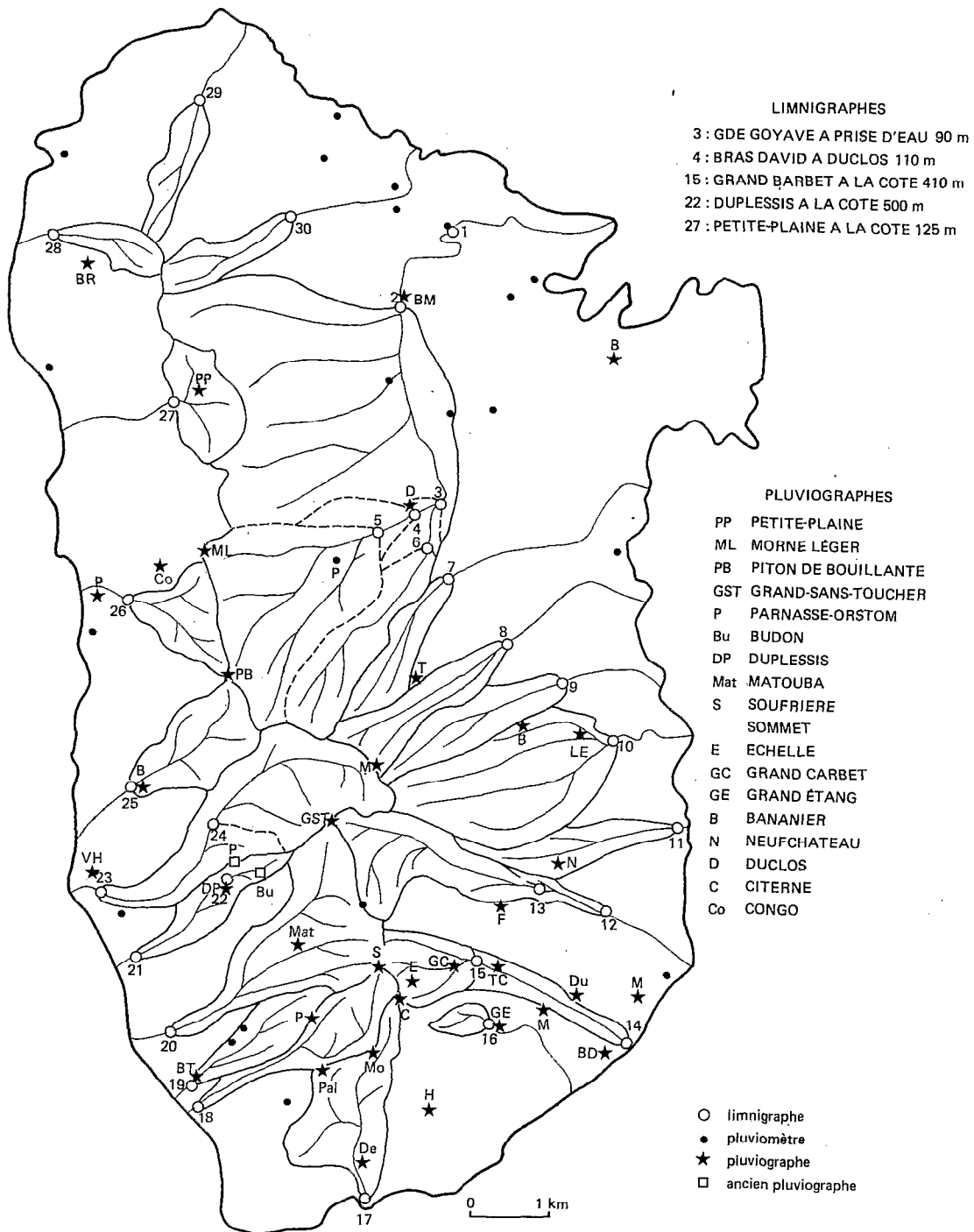


FIG. 2. - Le réseau de mesure de la Basse-Terre

- P_{ij} est la pluviométrie obtenue durant l'année i au poste j ;
- M_j la pluviométrie interannuelle du poste j pendant la période prise en compte après homogénéisation ;
- m le nombre de postes pluviométriques pris en compte dans la zone de constitution du vecteur régional.

Pour la Guadeloupe Y. L'HOTE (1982) a défini 5 vecteurs régionaux, constitués par :

- le nord de la Grande-Terre, de 41 indices, de 1938 à 1978,
- le sud-est de la Grande-Terre, de 29 indices, de 1950 à 1978,
- le sud-ouest de la Grande-Terre, de 50 indices, de 1929 à 1978,
- la côte au vent de la Basse-Terre, de 50 indices, de 1929 à 1978,
- la côte sous le vent de la Basse-Terre, de 27 indices, de 1952 à 1978.

Les modes de constitution de ces zones pluviométriques homogènes prennent en compte essentiellement le caractère relativement homogène des indices annuels obtenus à chacun des postes d'une même région.

Il est intéressant de compléter ces séries avec les données obtenues depuis 1978. Sur ces 5 années nouvelles à prendre en compte :

- 2 sont nettement excédentaires :
 - 1979 sur l'ensemble de la Guadeloupe,
 - 1981 sur le sud-est et le sud-ouest de la Grande-Terre.
- 2 sont particulièrement déficitaires :
 - 1980 sur l'ensemble de la Guadeloupe,
 - 1983 de même, mais plus particulièrement sur le nord et le sud-est de la Grande-Terre.

Le caractère exceptionnel de ces années sera déterminé, zone par zone, à l'aide de la période de retour des indices annuels.

D'autre part, l'ORSTOM a continué durant ces années à étudier les régimes hydrologiques des principaux cours d'eau guadeloupéens.

Ces données permettent de comparer la variabilité des lames annuelles écoulées durant cette période de 5 ans à celle des pluies annuelles.

2. LES DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES ANNUELLES

2.1. EN GUADELOUPE

Les données pluviométriques utilisées pour le calcul des indices régionaux de 1979 à 1983 sont celles des postes que P. CHAPERON *et al.* (1982) avaient sélectionnés pour la période antérieure (tableaux I à V en annexe).

Des essais ont été tentés en incluant dans le fichier opérationnel les données de certains postes récents. Les modifications obtenues ne sont pas très significatives, dans la mesure où la période d'observation de ces postes est limitée à moins de 10 ans.

Seuls les trois postes implantés par l'ORSTOM dans les Grands-Fonds en 1968 (Port-Blanc et Barot) et en 1971 (Bombo) ont été ajoutés au fichier primitif pour constituer avec ceux de la plaine des Abymes (Boyvinière, Dothémare et Belle-Plaine) un nombre suffisant de postes pour le calcul des indices du sud-ouest de la Grande-Terre (tableau III en annexe).

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau I.

Nous avons par ailleurs cherché à étendre la série des indices moyens du nord de la Grande-Terre à la période de 1929 à 1937, en prenant en compte quelques données écartées lors de la constitution du fichier opérationnel. Ainsi apparaît l'année 1930 qui a été exceptionnellement sèche sur cette région, puisque la valeur de son indice serait bien inférieure à celle de 1983 (de l'ordre de 0,45) (tableau I bis en annexe).

Les valeurs données ci-dessus sont des moyennes régionales. Il était intéressant de compléter cette information sur les disparités régionales, par une représentation graphique de la répartition des indices ponctuels. Les courbes d'égal indice représentées sur les figures 4 et 5 permettent de délimiter convenablement les zones sur lesquelles les déficits ont été les plus sévères durant les quatre années les plus sèches (1930, 1971, 1973 et 1983) sur la période de 1929 à 1983 en Guadeloupe.

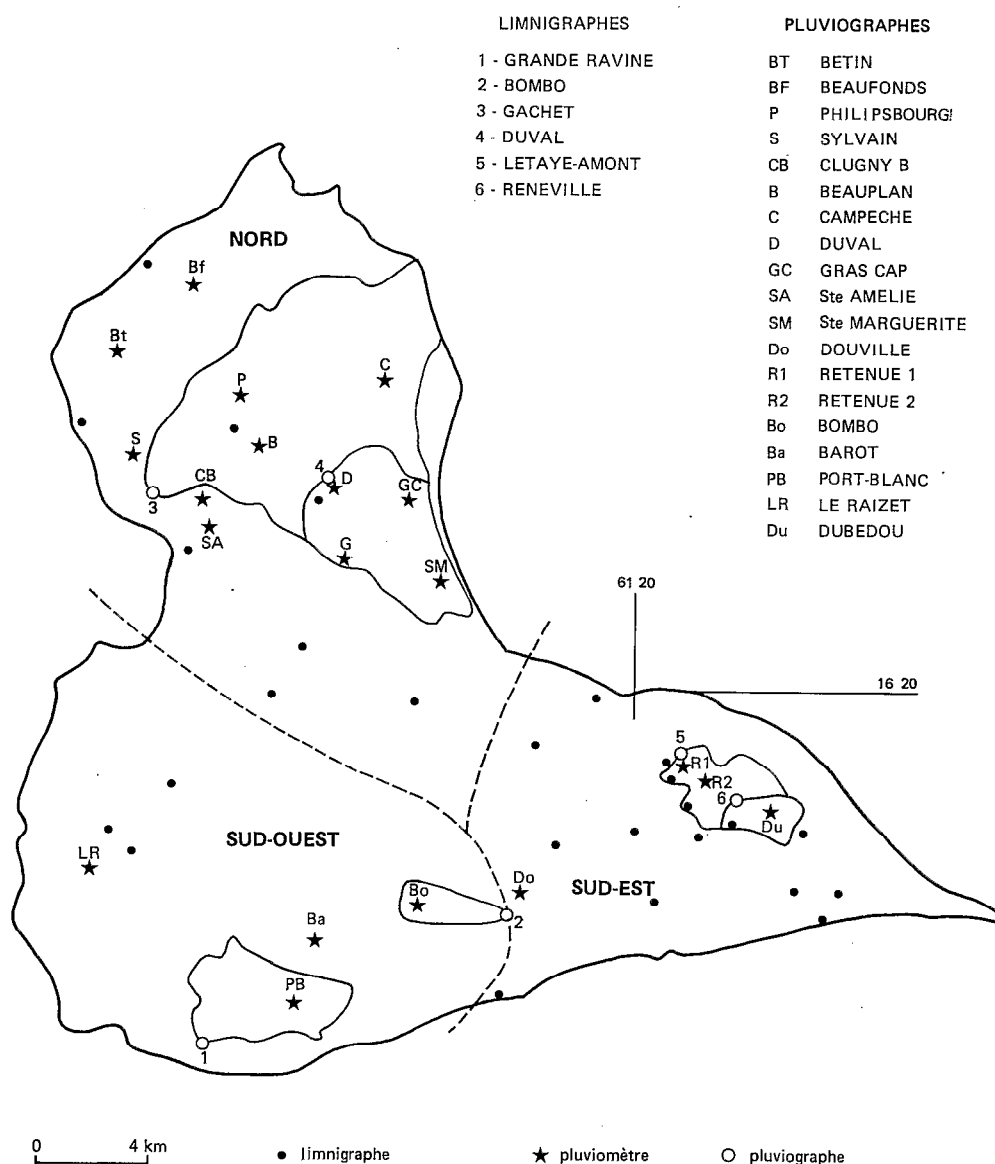


FIG. 3. - Le réseau de mesure de la Grande-Terre

TABLEAU I

ZONE	Grande-Terre			Basse-Terre	
	Nord	Sud-est	Sud-ouest	Côte au vent	Côte sous le vent
1979	1,39	1,36	1,33	1,24	1,13
1980	0,80	0,74	0,83	0,87	0,95
1981	1,12	1,41	1,39	1,33	1,21
1982	0,94	1,05	0,95	0,95	1,05
1983	0,58	0,60	0,62	0,80	0,80
Moyenne	0,97	1,03	1,02	1,05	1,03
Extrêmes précédents	Max.	1,60 (1970)	1,54(1970)	1,41(1970)	1,38(1936 et 1941)
	Min.	0,68 (1939)	0,62(1971)	0,60(1973)	0,66(1971)
					1,29 (1958)
					0,74 (1973)

Ces zones sont :

- le nord-est de la Grande-Terre et le sud-ouest de la Grande-Terre en 1971 et 1973,
- le nord de la Grande-Terre en 1930 et 1983.

Ces figures nous permettent aussi de vérifier le caractère relativement homogène, à l'échelle régionale, de la distribution spatiale des indices ponctuels.

On peut par ailleurs remarquer la forte disparité annuelle :

- entre le nord-est et le sud-ouest de la Basse-Terre en 1971,
- entre la Basse-Terre et la Grande-Terre en 1983.

Mais, pour 1930, nous n'avons de données fiables que sur le nord-est de la Basse-Terre et le sud-ouest de la Grande-Terre et quelques données seulement sur le nord et le sud-est de la Grande-Terre.

Pour confirmer la sévérité de ces années-là, nous avons cherché à définir leurs périodes de retour, à partir de l'ajustement des séries d'indices annuels à des lois statistiques (fig. 6).

Les résultats obtenus, en périodes de retour, sont les suivants (tableau II).

TABLEAU II

Périodes prises en compte	Grande-Terre				Basse-Terre	
	Nord		Sud-est	Sud-ouest	Côte au vent	Côte sous le vent
	1938 à 1983	1929 à 1983	1950- 1983	1929-1983	1929-1983	1952-1983
Loi	Galton	Galton	Galton	Gauss	Gauss	Gauss
Années						
1930	-	> 300	-	35	25	-
1971	14	10	46	30	33	10
1973	18	11	10	60	30	50
1983	150	50	65	45	7	20

Nous retrouvons effectivement le caractère exceptionnel :

- des années 1930 et 1983 au nord de la Grande-Terre,
- de l'année 1973 dans le sud-ouest de la Grande-Terre,
- des années 1973 et 1971 sur la côte au vent de la Basse-Terre,
- de l'année 1973 en côte sous le vent de la Basse-Terre.

2.2. DANS LES ILES DES PETITES ANTILLES

2.2.1. Répartition temporelle

La très faible pluviométrie de l'année 1930 sur le nord de la Grande-Terre mérite d'être confirmée, car nous n'avons pour cette année-là, dans cette région de la Guadeloupe, que quelques rares totaux annuels.

Nous avons pu obtenir du chef du Service météorologique de la Barbade les données recueillies au poste d'Edgecumbe de 1855 à 1983.

L'île de la Barbade appartient à l'archipel des Petites Antilles, à 400 km au sud-est de la Guadeloupe (fig. 1), avec un relief et des dimensions comparables à ceux de la Grande-Terre.

Les valeurs annuelles obtenues à ce poste de 1855 à 1983 sont réparties selon une loi de Galton.

Le total annuel le plus faible (29,8 inches, soit 54 % de la moyenne sur 129 ans) est celui de l'année 1930. Il correspond à une période de retour de l'ordre de 300 ans (280 ans pour l'échantillon intégral de 129 ans et 310 ans pour l'échantillon restreint de 55 ans comprenant les années 1929 à 1983).

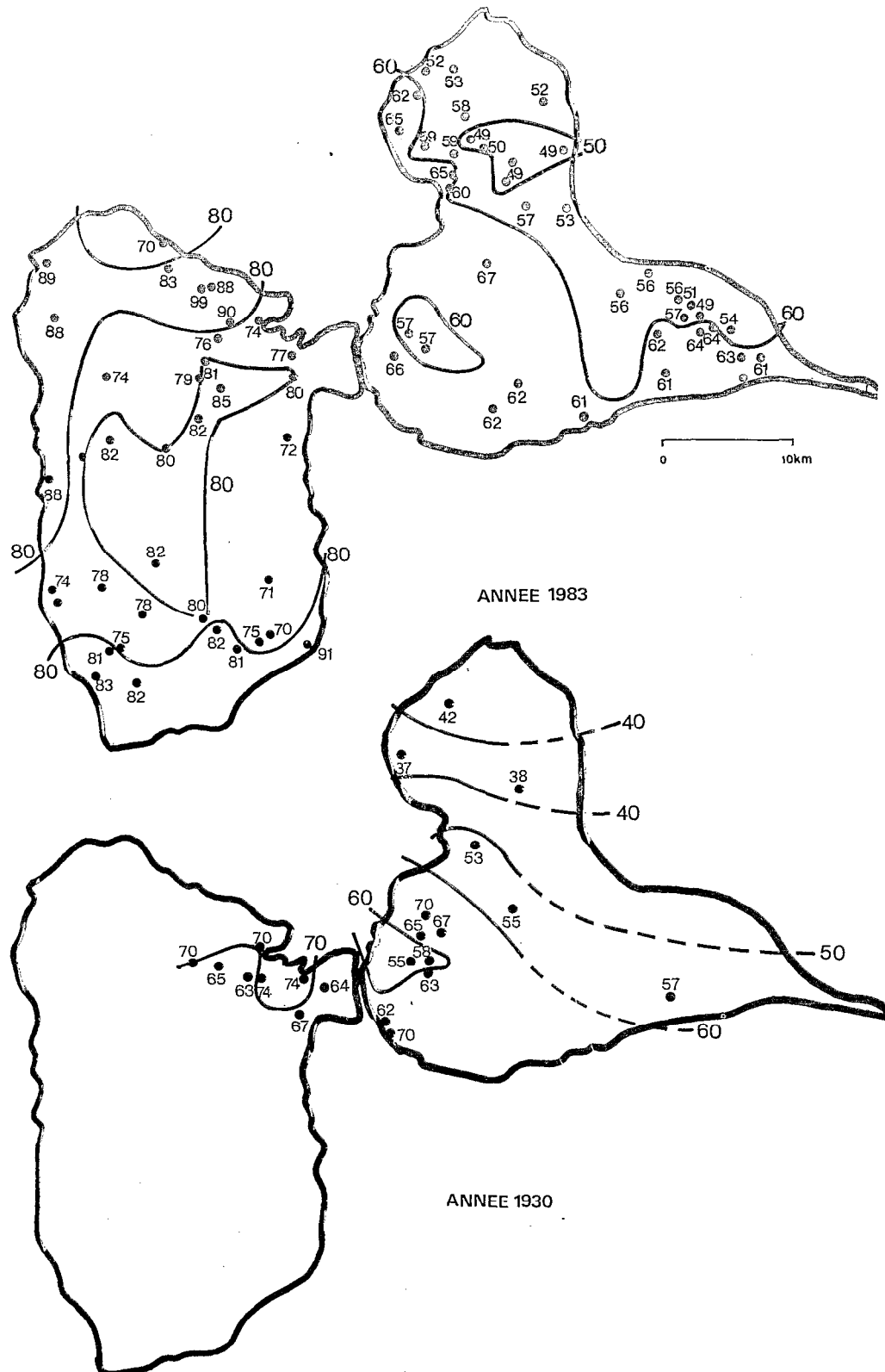


FIG. 4. - Répartition spatiale des indices pluviométriques des années 1930 et 1983

DEFICITS PLUVIOMETRIQUES ANNUELS (%)

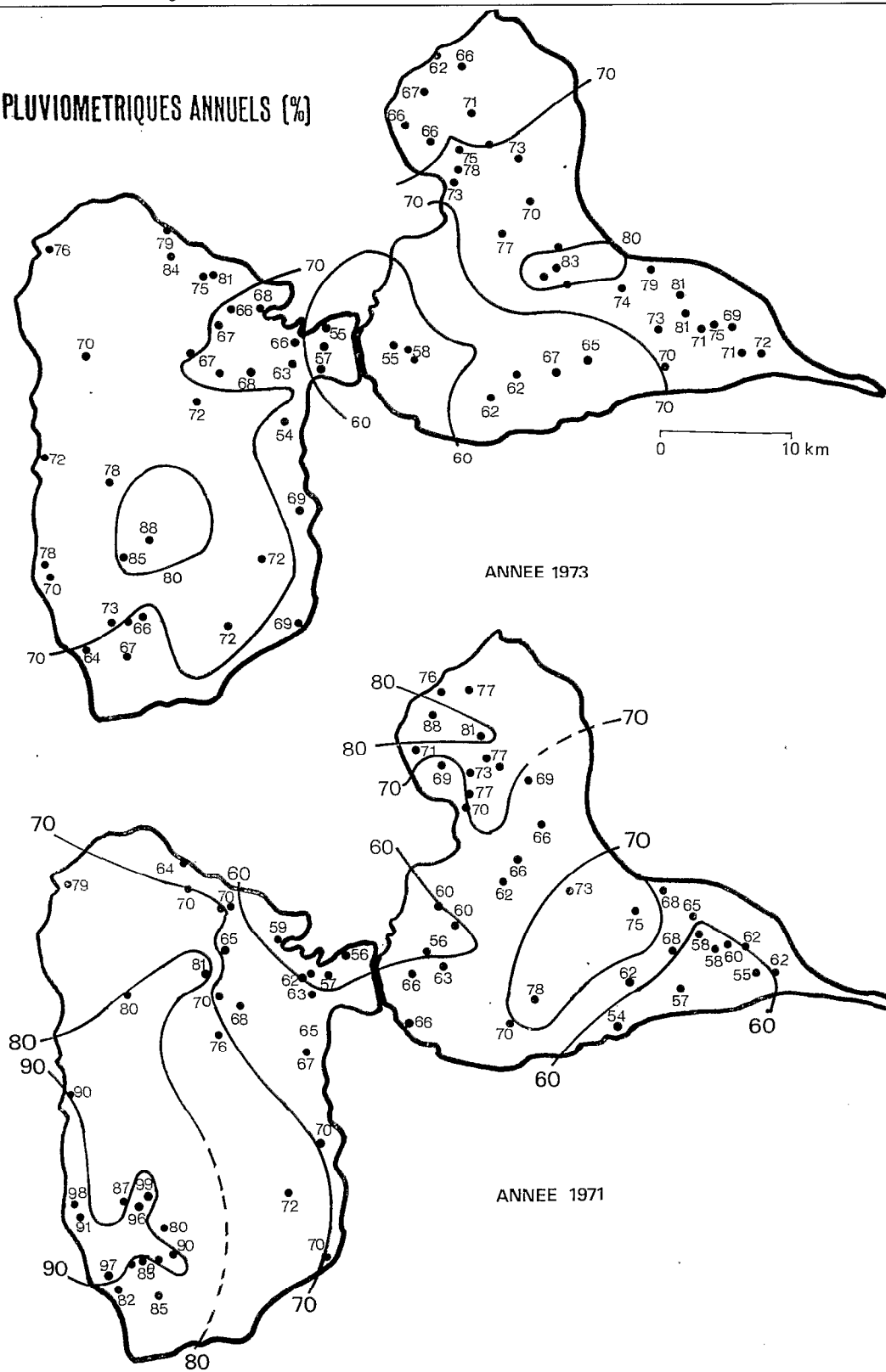


FIG. 5. — Répartition spatiale des indices pluviométriques des années 1971 et 1983

On peut remarquer que l'échantillon limité aux années 1938 à 1983 (durée de 46 ans) donne une période de retour de près de 180 ans pour la deuxième valeur (32,2 inches 1947), alors qu'elle est de 80 ans pour les échantillons précédents de 55 et 129 ans.

2.2.2. Variabilité spatiale

Nous avons fait apparaître sur la figure n° 4 la différenciation très nette des indices pluviométriques entre la Basse-Terre et la Grande-Terre pour l'année 1983.

Nous la retrouvons entre :

- D'une part, l'île d'Antigua, située à 80 km au nord-ouest de la Grande-Terre (fig. 1), où la pluie en 1983 a une période de retour de l'ordre de 100 ans, équivalente à celle de l'année 1930, pour un échantillon de 110 ans obtenu à partir :
 - d'une série de pluies moyennes annuelles établies par le bureau d'études « Sir William Halcrows and partners » (1977) pour la période 1874-1976,
 - de la série de pluies obtenue à la station de Coolidge de 1960 à 1983.
- D'autre part, les îles de la Dominique, de la Martinique et de Sainte-Lucie, où les pluies annuelles de l'année 1983 n'ont pas atteint les valeurs de fréquence décennale sèche.

Or, l'île d'Antigua appartient avec la Grande-Terre à l'arc ancien des Petites Antilles, avec des reliefs peu marqués, alors que les îles de la Basse-Terre, de la Dominique, de la Martinique et de Sainte-Lucie font essentiellement partie de l'arc volcanique actuel, composé de chaînes montagneuses, dont les sommets peuvent dépasser 1 000 m en altitude.

3. PLUVIOMÉTRIES MENSUELLES EN 1983

Pour comparer les hauteurs mensuelles obtenues en Guadeloupe au cours de 4 années particulièrement sèches (1930, 1971, 1973 et 1983), nous avons sélectionné deux postes pluviométriques pour lesquels nous avons de longues périodes d'observations incluant ces 4 années.

Nous avons retenu les postes de :

- Belcourt, situé au nord de la côte au vent de Basse-Terre, avec 50 années de relevés,
- Dothémare, au sud-ouest de la Grande-Terre (54 ans d'observations).

A ces deux stations nous avons ajouté celle de Philipsbourg au nord de la Grande-Terre, où la période d'observation (41 ans) ne comprend pas l'année 1930.

Les valeurs mensuelles de ces postes au cours de 4 années sélectionnées ont été comparées sur le tableau III aux valeurs mensuelles des médianes (Md), des quartiles inférieurs (Qi) et des minimums (Min).

A partir des courbes de pluies mensuelles cumulées obtenues avec les années 1930, 1971, 1973 et 1983 ainsi qu'avec le cumul des médianes et des quartiles inférieurs, on peut distinguer, pour l'année 1983, 3 périodes (fig. 7) :

- la première, qui se termine en avril-mai, pendant laquelle les pluies cumulées, à Philipsbourg et Dothémare, sont les plus faibles,
- la deuxième, d'avril-mai à août, où les pluies cumulées de 1983 sont « normales » (ou supérieures à la normale, à la station de Belcourt),
- la troisième, à nouveau déficitaire, de septembre à décembre.

Par contre, les pluies cumulées des autres années sèches suivent d'autres variations.

Ainsi :

- En 1930, les variations des cumuls des pluies mensuelles aux deux postes de Belcourt et de Dothémare (nous n'avons pas de données mensuelles pour le nord et le sud-est de la Grande-Terre cette année-là) sont assez contrastées :
 - des valeurs excédentaires à Belcourt en début d'année jusqu'en avril-mai, puis un début de saison des pluies déficitaire, et enfin, à partir d'août, le maintien d'un déficit cumulé constant par rapport aux valeurs médianes ;
 - des valeurs à Dothémare constamment inférieures à la normale, proches des cumuls des quartiles inférieurs entre avril et octobre.

□ 1930 ■ 1971 ★ 1973 ◆ 1983

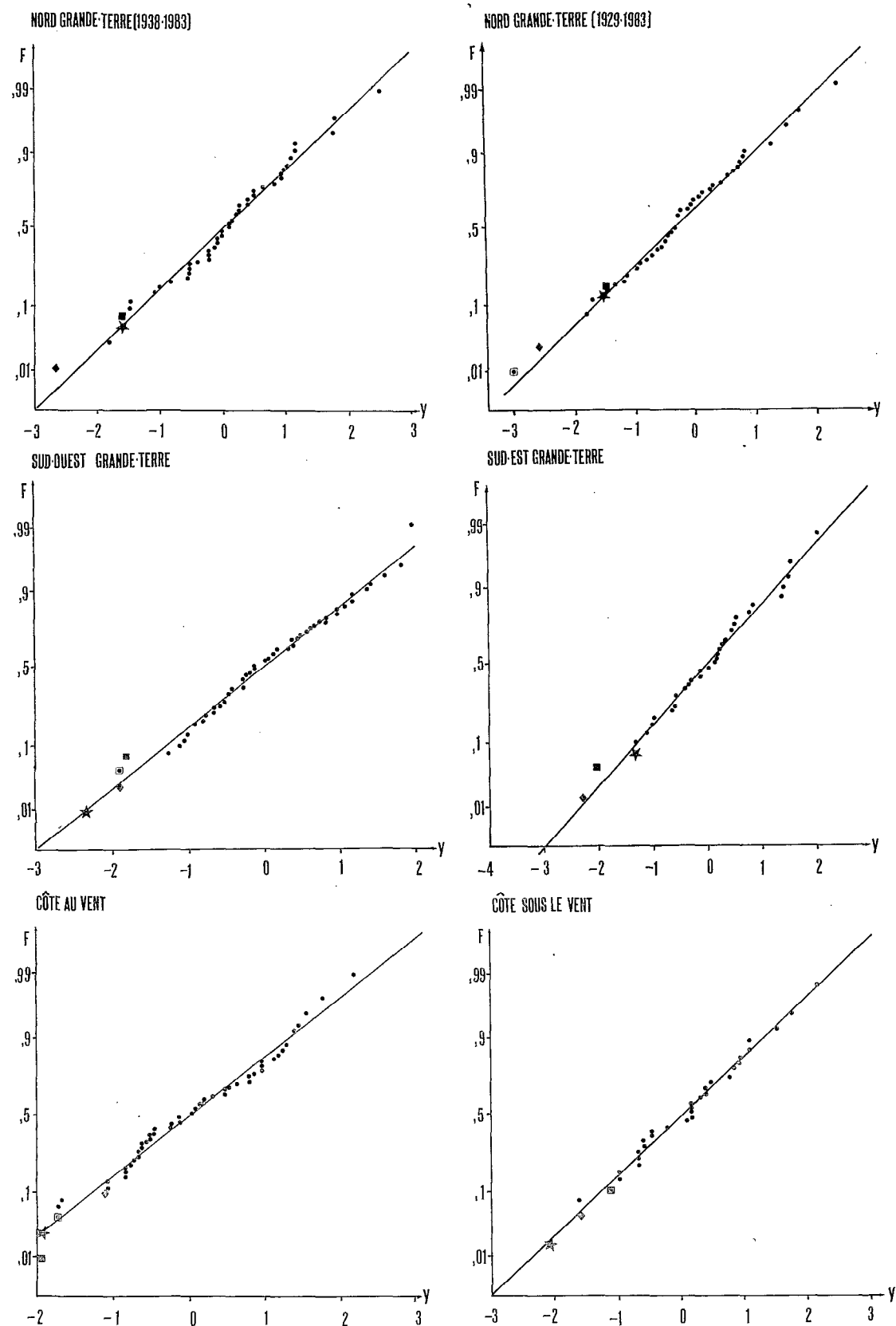


FIG. 6. - Ajustements statistiques aux indices régionaux pluviométriques

TABLEAU III
Pluviométries mensuelles en 1930, 1971, 1973 et 1983

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1930	152	70	0	50	40	128	20	48	230	199	267	90
1971	163	115	23	23	105	22	57	108	54	201	46	91
1973	35	26	33	48	5	123	39	106	317	124	57	81
1983	52	10	70	76	307	39	182	179	163	164	161	103
Min	0	9	0	5	5	16	20	48	54	67	46	32
Q.I.	47	25	27	40	67	77	91	132	173	173	118	70
Méd	70	51	48	84	115	124	147	211	228	237	187	105

Belcourt (côte au vent Basse-Terre)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1930	84	34	20	21	81	141	45	75	223	119	265	47
1971	168	72	50	56	97	47	89	134	82	211	34	86
1973	50	74	47	57	15	89	51	142	215	84	127	86
1983	28	7	69	44	206	55	183	77	153	79	47	80
Min	20	7	12	2	14	19	45	59	82	79	34	32
Q.I.	56	29	32	42	64	89	110	142	154	146	141	76
Méd	83	59	51	76	116	119	158	189	213	214	209	118

Dothémare (sud-ouest Grande-Terre)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1971	59	81	28	107	187	45	79	92	88	162	51	100
1973	38	34	40	68	16	102	41	190	151	63	85	101
1983	46	8	24	96	138	37	125	76	115	63	40	62
Min	2	0	12	16	16	13	19	57	74	63	6	23
Q.I.	47	25	27	32	54	46	74	94	130	110	77	67
Méd	60	41	44	52	89	71	101	141	154	164	128	190

Philipsbourg (nord Grande-Terre)

— En 1971, une période nettement excédentaire en début d'année jusqu'en mai-juin, se prolongeant jusqu'en novembre au nord de la Grande-Terre.

— En 1973, des variations assez proches de celles du quartile inférieur à Belcourt et Dothémare pendant toute l'année (jusqu'en août à Philipsbourg).

4. ÉCOULEMENTS ANNUELS

Il était intéressant de comparer les variabilités des pluies et celles des écoulements au cours de ces cinq dernières années, de 1979 à 1983.

Pour ce qui concerne les écoulements, P. CHAPERON *et al.* (1982) ont pu homogénéiser les lames d'eau annuelles :

- sur 28 ans, de 1951 à 1978, pour 14 stations hydrométriques de la Basse-Terre,
- sur 21 ans, de 1958 à 1978 pour la ravine Gachet de la Grande-Terre (fig. 3).

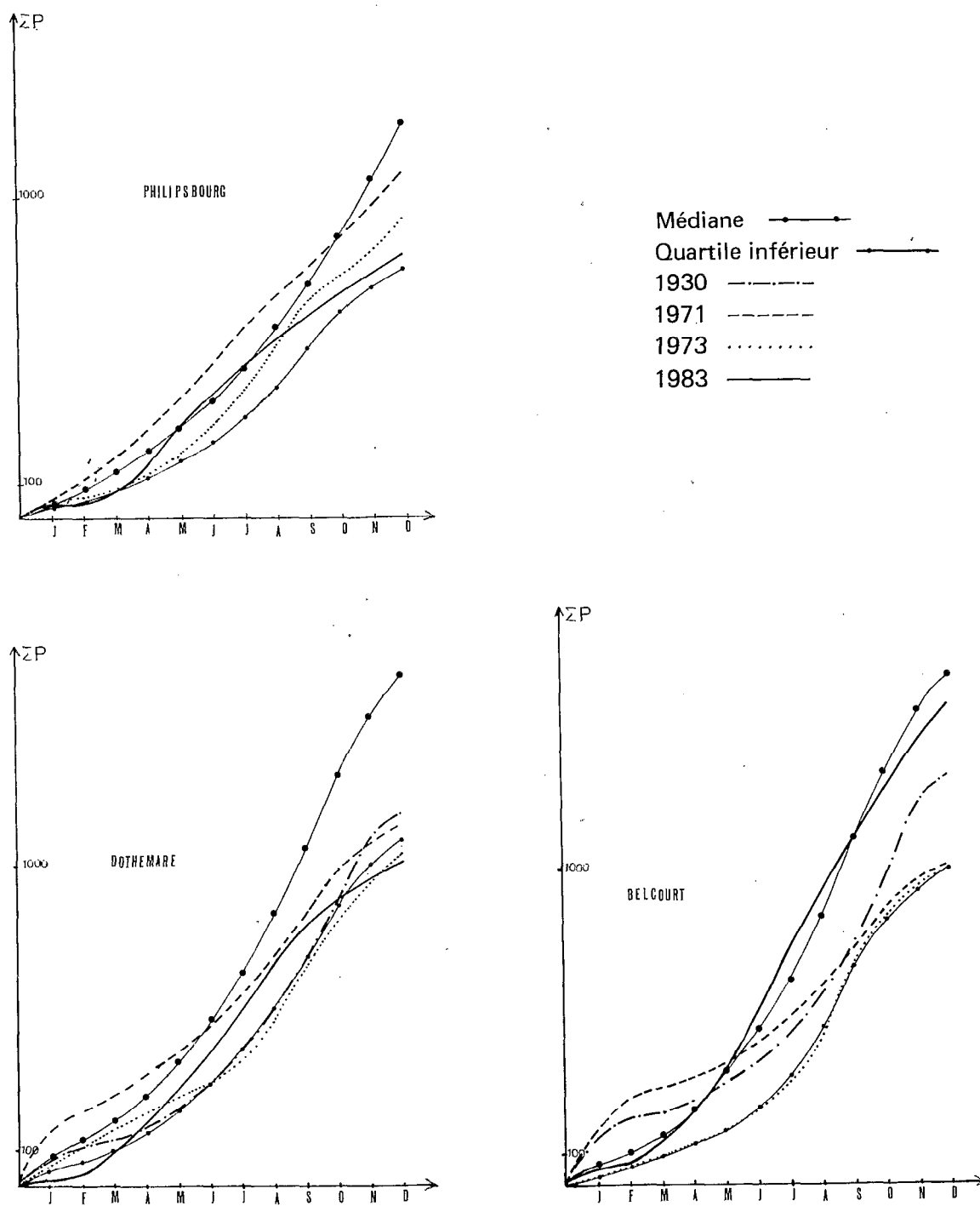


FIG. 7. — Pluies mensuelles cumulées
des années 1930, 1971, 1973 et 1983

Depuis 1978, l'étude des régimes hydrologiques de ces bassins versants a été poursuivie. Pour caractériser les répartitions spatiales et temporelles des écoulements, nous avons retenu sept bassins versants considérés comme représentatifs d'une zone donnée.

A ces écoulements annuels sont comparés des index pluviométriques I_p basés sur des pluviométries annuelles relevées ou enregistrées sur leur superficie.

En effet, si le nombre de postes fiables situés sur les bassins versants de Gachet (10) ou de Gardel (7) est suffisant pour y déterminer correctement les pluviométries moyennes, par contre les postes qui étaient en place dès 1979 sur les bassins versants de Duplessis (1), de Petite-Plaine (1), de Grand-Carbet (1), de Bras-David (4) et de Grande-Ravine (1) sont trop peu nombreux et les données trop peu représentatives de zones où les gradients pluviométriques sont importants, pour permettre d'obtenir actuellement une bonne estimation des pluies moyennes annuelles.

Seule nous intéressera ici la variabilité des pluies ponctuelles d'une même zone, que peut bien caractériser un tel index I_p .

Toutes ces données sont fournies sur le tableau IV.

TABLEAU IV
Variabilité des pluies et des écoulements annuels entre 1979 et 1983 en Guadeloupe

ZONE	BASSE-TERRE												GRANDE-TERRE									
	Côte sous le vent						Côte au vent						Sud-ouest			Sud-est			Nord			
BASSIN-VERSANT	Duplessis			Petite-Plaine			Grand-Carbet			Bras-David			Gde-Ravine			Renéville			Gachet			
Station (cote en m)	500			125			410			110			10			22			1			
Superficie	2,09			8,8			7,3			37,5			15,9			6,8			63,5			
Années	Ip mm	L mm	L/Ip (%)	Ip	L	L/Ip	Ip	L	L/Ip	Ip	L	L/Ip	Ip	L	L/Ip	Ip	L	L/Ip	Ip	L	L/Ip	
	1979	(3090)	2110	68	2710	1775	66	(6370)	5450	(86)	4440	4020	91	1710	165	10	1875	411	22	2065	419	20
	1980	2550	1705	67	2260	1170	52	5570	5080	91	3430	3270	95	1155	99	9	900	3,5	0,4	1075	25	2
	1981	2695	1795	67	3545	2325	66	7050	6310	89	4290	4000	93	2015	292	14	1630	363	22	1525	78	5
	1982	3335	2175	65	2835	1185	42	7100	6490	91	4150	3630	87	1385	87	-6	1100	135	12	1350	104	8
	1983	2060	1445	70	2040	1280	63	5030	4415	88	(3200)	2950	92	896	0	0	625	2,6	0,4	715	0	0
M (mm)	2745	1845	67	2680	1545	58	6224	5550	89	3900	3575	92	1430	129	9	1225	183	15	1350	125	9	
S (mm)	492	301		582	501		912	863		552	465		443	109		517	195		505	170		
S/M	0,18	0,16		0,22	0,32		0,15	0,16		0,14	0,13		0,31	0,84		0,42	1,1		0,38	1,35		
Postes pris en compte pour le calcul de Ip	Duplessis (cote 500m)			Petite-Plaine (389 m)			Grand-Carbet (625 m)			Duclos (110 m) Providence (275 m) Morne Léger (608 m) Piton de Bouillante (1088 m)			Port-Blanc (100 m)			Gardel Monplaisir Renéville Pombiray Labarthe Ret. 1 Ret. 2 Dubedou			Phillipsbourg Campeche Gros Cap Ste Marguerite Beauplan Mangles Duval Girard Godet Beuthier			

On peut y constater que, sur ces cinq années, les coefficients de variation S/M des pluies de la Basse-Terre varient de 0,15 (Grand-Carbet) à 0,22 (Petite-Plaine), et :

- sont du même ordre que ceux des écoulements en Basse-Terre (de 0,13 à 0,32),
- inférieurs de moitié à ceux des pluies de Grande-Terre (de 0,31 à 0,42),
- cinq fois moins importants que ceux des écoulements de Grande-Terre (de 0,84 à 1,35).

Aux lames annuelles écoulées sur six de ces bassins versants ont été ajustées des lois statistiques (fig. 8). Les résultats obtenus sont les suivants :

- Si l'on compare les déficits des années 1973 et 1983, on peut constater que les écoulements ont été beaucoup plus faibles en 1973 sur l'ensemble de la Basse-Terre, avec des périodes de retour supérieures à 30 ans sur tous

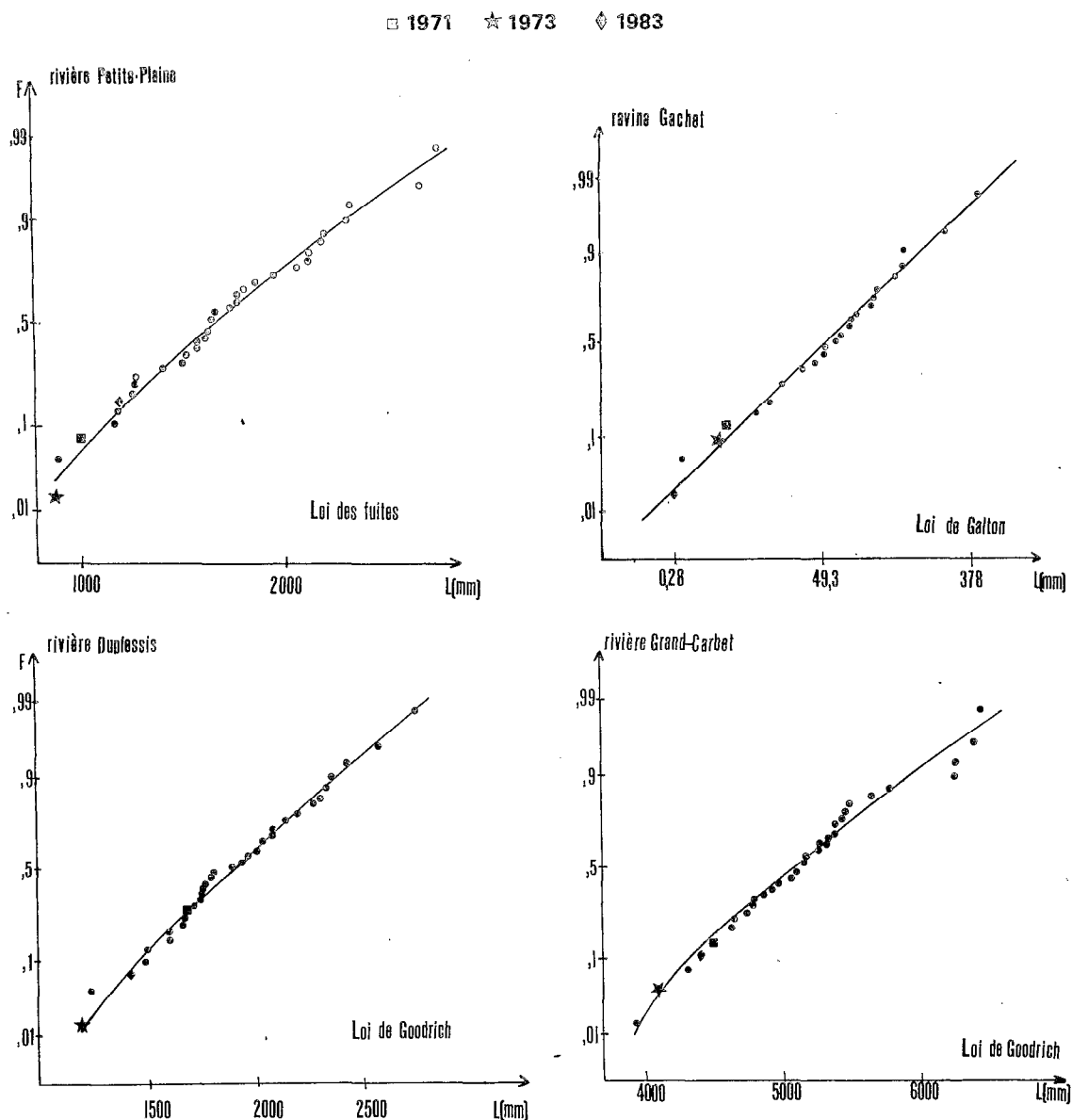


FIG. 8. — Ajustements statistiques des écoulements annuels de surface

les cours d'eau, alors que les périodes de retour sont inférieures à 15 ans en 1983 sur cette île. Par contre, en Grande-Terre, le déficit est plus important en 1983 sur le nord.

— Si l'on étudie plus attentivement les périodes de retour des écoulements de la Basse-Terre pour les années 1971 et 1973, les zones nord et sud se différencient assez bien, avec un déficit plus important dans le nord en 1971, et plus marqué dans le sud en 1983. Ceci n'apparaissait pas dans l'analyse des répartitions zonales des pluies, dans la mesure où les données pluviométriques obtenues sur le sud de la côte au vent et sur le nord de la côte sous le vent sont peu nombreuses.

Si l'on retourne aux données ponctuelles obtenues à des postes fiables, on en obtient la confirmation pour les périodes de retour (en années) :

TABLEAU V

POSTES	DESHAIES	DUCLOS (INRA)	NEUFCHATEAU (IRFA)	GOURBEYRE
ZONES	Nord Côte sous le vent	Nord Côte au vent	Sud Côte au vent	Sud Côte sous le vent
1971	7	10	22	6
1983	3	6	24	8

– Les coefficients d'irrégularité K_3 restent invariants sur les bassins versants de la Basse-Terre, quel que soit l'échantillon (1951-1978 ou 1951-1983). Par contre, ceux de la Grande-Terre augmentent sensiblement avec ces cinq années supplémentaires :

- de 17 à 21 pour la ravine Gachet,
- de 18 à 30 pour la Grande-Ravine,

(avec il est vrai une augmentation de 25 à 50 % de l'effectif pour la Grande-Terre, pour 15 % en Basse-Terre).

5. LES DÉBITS MINIMAUX ANNUELS

En 1983, les débits minimaux annuels obtenus sont donnés dans le tableau VI, pour les quatre bassins versants déjà retenus précédemment pour l'île de la Basse-Terre, avec ceux des étiages précédents les plus sévères, en l/s.

TABLEAU VI

RIVIERES ANNEES	DUPLESSIS (1962-1983)	PETITE-PLAINE (1964-1983)	BRAS-DAVID ((1951)- 1983)	GRAND-CARBET (1962-1983)
1979	37	42	591	176
1980	37	40	1210	235
1981	115	43	1300	331
1982	116	56	1080	340
1983	66	38	932	282
1955	–	–	(390)	–
1971	47	80	(807)	210
1973	42	70	840	180
FREQUENCE				
0,50	105	54	950	240
0,20	73	44	750	200
0,10	56	41	650	183

Les étiages obtenus en 1983 au nord comme au sud de la côte au vent de la Basse-Terre sont légèrement supérieurs aux étiages de fréquence annuelle, alors que ceux de la côte sous le vent sont particulièrement faibles, avec une disparité marquée entre le nord et le sud de cette zone, puisque cet étiage est :

- exceptionnel sur la rivière Duplessis, avec une période de retour supérieure à 30 ans,
- moins exceptionnel sur la rivière Petite-Plaine (période de retour de l'ordre de 7 ans), au nord de la côte sous le vent, comme le montre la figure 9.

■ 1971 ★ 1973 ♦ 1983

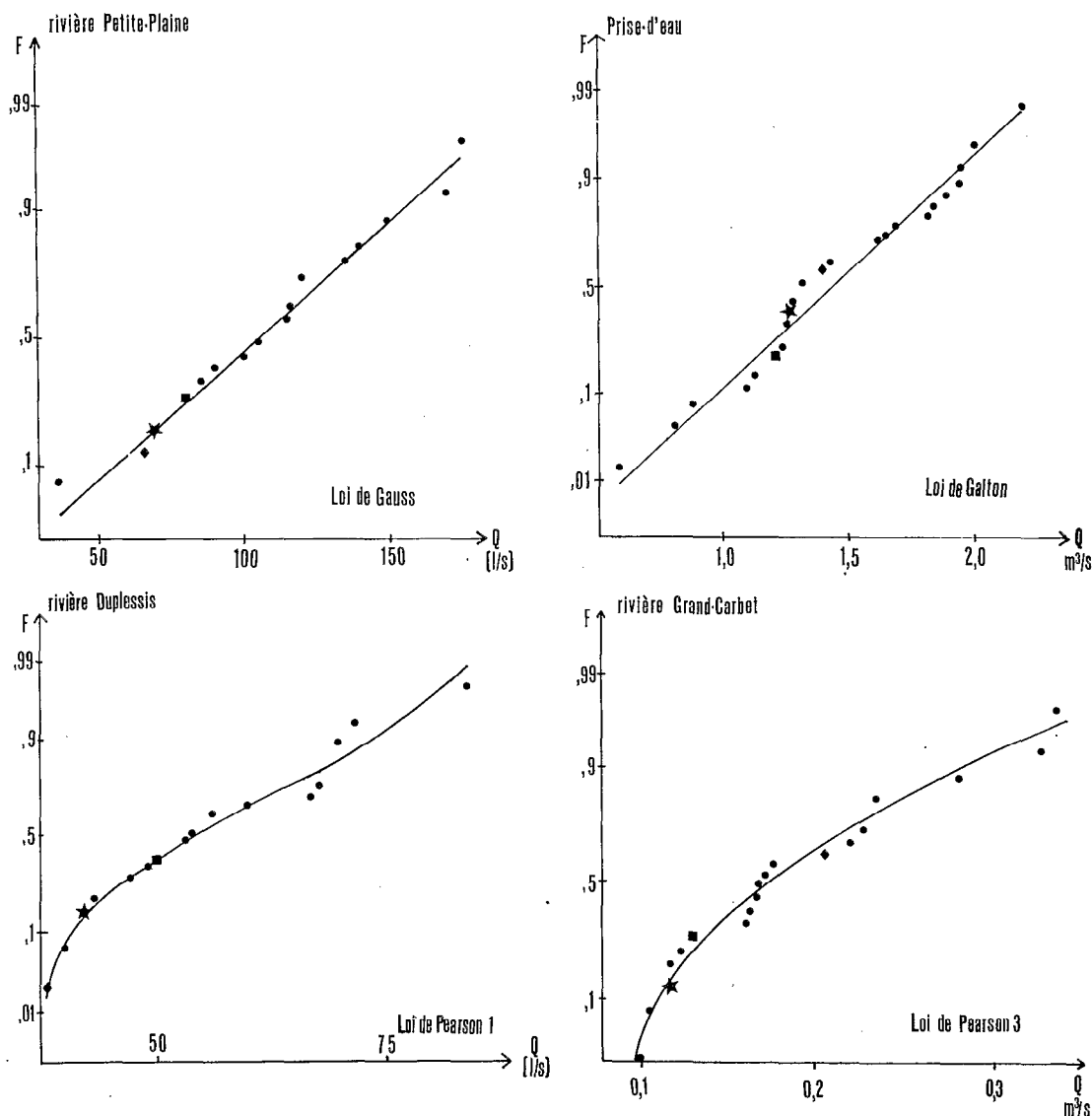


FIG. 9. — Ajustements statistiques des étiages annuels

6. CONCLUSION

Nous avons montré que l'utilisation conjuguée de la méthode des indices pluviométriques régionaux et des méthodes d'ajustement de lois statistiques à de longues séries de données permet de mesurer le caractère exceptionnel des années sèches et d'apprécier la répartition spatiale et temporelle des pluies correspondantes sur les Petites Antilles.

En particulier, il ressort que la sécheresse de l'année 1983 a affecté différemment les îles plates comme la Grande-Terre, avec des périodes de retour qui peuvent être supérieures à 100 ans pour certaines zones, et les îles montagneuses comparables à la Basse-Terre, qui ont subi un déficit moins marqué, mais variable, selon la position par rapport aux vents dominants et aux reliefs, avec une accentuation de ces disparités au niveau des écoulements.

La part de l'influence respective du relief et des anomalies de la circulation générale de l'atmosphère dans la répartition des pluies annuelles et mensuelles doit être analysée. A ce titre, pour mieux expliquer les inégalités de ces répartitions, il convient :

- d'approfondir l'étude des séries chronologiques disponibles dans les îles des Petites Antilles,
 - de leur appliquer la méthode des indices pluviométriques régionaux, à différentes échelles de temps,
 - d'étudier de manière détaillée l'influence spécifique des reliefs sur plusieurs sites remarquables de la Guadeloupe (doline des Mangles, morne de Port-Blanc, volcan de la Soufrière, ...) par la prise en compte des effets de l'intensité et de la direction des vents sur la mesure et la répartition des pluies,
 - de rechercher les causes des événements exceptionnels dans les anomalies de la circulation générale de l'atmosphère.
- De fait, une approche de la recherche de liaisons entre les années exceptionnelles et la circulation générale de l'atmosphère est possible en étudiant des relations entre la pluviométrie et la structure verticale de l'atmosphère mesurée par les radiosondages.

Ainsi, l'étude menée actuellement en Guadeloupe sur la recherche des types de temps basée sur une classification automatique des radiosondages devrait permettre d'expliquer les causes des événements exceptionnels par la fréquence d'apparition des différents types de temps.

Mais, dès à présent, et à partir des données qui sont fournies dans cet article, nous avons voulu faire apparaître l'homogénéité relative des diversités régionales, à partir de situations exceptionnelles comme celles qu'ont connues la Guadeloupe et les Petites Antilles au cours de l'année 1983.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction
le 2 janvier 1986

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- BRUNET-MORET (Y.), 1978. - Homogénéisation des précipitations. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, vol. XV, n° 3, 147-170.
- CHAPERON (P.), L'HOTE (Y.) et VUILLAUME (G.), 1982. - Les ressources en eau de surface de la Guadeloupe. ORSTOM, Conseil Général de la Guadeloupe, DDA, 578 p.
- HIEZ (G.), 1977. - L'homogénéité des données pluviométriques. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, vol. XIV, n° 2, 129-172.
- HOEPPFNER (M.), MORELL (M.) et ROSSIGNOL (D.), 1984. - Variabilité des pluies et des écoulements en Guadeloupe. *Bulletin Agronomique de l'INRA*.
- SIR HALCROW AND PARTNERS, 1977. - An engineering study of the water resources of Antigua.

ANNEXES

Pluviométries annuelles prises en compte pour le calcul des indices régionaux

TABLEAU I
Nord Grande-Terre (1938-1983)

TOTAUX PLUVIOMETRIQUES ANNUELS

Années	RICHE	ANSE	BEAU	BEAU	BETI	BLAN	BLAN	CLUG	CLUG	DUVA	GIRA	LENE	MARC	MORN	PETI	PHIL	SYLV	PORT	STEA	REUT
1938				1736		1777	2079		2125	1649			2294							
1939				1605		1001	1137		1248	799			1256							
1940	1624			1317		1492	1657	1436	1857	1478			1789			1287	1248		1180	
1941	1723			1398		1143	1568	1499	1507	1363			1618			1239	1371		1418	
1942	2345					2012	2445	2015	2691	1776			2725			1806	1818		1643	
1943	1735					1734	1678	1541	1863	1238			1914			1230	1386		1267	
1944	1676			1394		1306	1661	1415	1680	1257			1838			1379	1235		1348	
1945	1654			1417		1632	1788		1622	1368		1358	1830			1255			1593	
1946	1393			1165		1066	1310		1481			1090	1417			1054			1027	
1947	1158			1041		1033	1148		1252	1166		1059	1164			862			982	
1948	1722			1294		1260	1329		1601	1330		1114	1588			1277			1466	
1949	1730			1627		1586	1990		2125	1657		1601	2056			1406			1600	
1950	1554			1494			1694		1685	1457		1392	1916			1361			1458	
1951	2015			1643			1905		2109	1632		1618	2159	1833		1525		1644	1490	
1952	1895			1579			1959		1797			1646	2135	2010				1788	1613	
1953	1894						1927		1817				2100	1575	1684	1391		1559	1444	
1954	1705			1263			1644		1741			1324	1811	1646	1619	1175		1451	1218	
1955	1624			1256			1347		1593			1122	1677	1226	1367	1187		1294	1139	
1956	2091			1691			2175		2216			1671	2247		1782	1668		1663	1586	
1957	1629			1517	1139		1410		1839	1412	1073	1123	1500		1626	1242	1438	1411	1328	
1958	2038	1775			1474		2041	1697	2201	1645	1685	1598	2041		1933	1619	1680	1654	1594	
1959	1282	1024			767		1379	1164	1481	911	820	981	1291		1110	908	1005		898	
1960	1649	1169			1158		1572	1322	1452	1345	1324	1330	1399		1352	1133	1382		1271	
1961	1731	1179			1345		1821	1663	1807	1500	1257	1257			1806	1396	1533		1448	
1962	1698	1563			1454		1915	1728	2039	1465	1669	1546			1726	1591	1601		1551	
1963	1602	1167	1315		1055		1286	1440	1753	1232	1116				1387	1433	1266		1264	
1964	1755	1387	1357		1291		1417	1625	1707	1560	1367					1545	1400		1451	
1965	1662	1240	1138		1050		1157	1341	1257	1101	1175		1387	1177	1089	1261		1144		
1966	1769	1645	1372		1437		2134	1725		1571	1605		1949	1656	1504	1650	1630	1552		
1967	1328	1078	870		968		1416	1294		1130	1191		1136	1269		1077	1108	1205		
1968	1540	1301	1148		1046		1574	1434		1293	1313		1470	1421	1233	1330	1272	1297		
1969		1442	1240		1356		1691	1686		1370	1201		1744	1678	1343	1430	1420	1492	1331	
1970	2187	1964	1961				2772	2457		2234	2142		2481	2305	2196	2196	2180	2219	2176	
1971	1110	961	875		986		1209	1093		934	848		991	1063	1059	956	981	1043	1050	
1972	1593	1296	1207		1230		1781	1474		1386	1219		1562	1720	1269	1263	1322	1537	1411	
1973	1261	785	754		779		1365	1103		967	906		1228	1096	930	913	916	1054	915	
1974	1469	1095	1043		983		1378	1411		1284	1061		1426	1246	1309	1307	1264	1208	1325	
1975	1312	1107	969		1065		1316	1265		1155	1092		1400	1167	1255	1317	1288	1204	1146	
1976	1293	1131	1140		1143		1303	1175		1229	993			1368	1226	1181	1109	1267	1347	
1977	1503	1277	1159		1242		1535	1387		1392	1084			1729	1317	1438	1271	1416	1589	
1978	1618	1262	1166		1146		1487			1422	1532		1442	1585		1576	1566	1343	1411	
1979	2326	1614	1511				2283	2092			2105		2058	2276	1535	2114	1856	1729	2122	
1980	1158	973	974		934		1196	1219		1015	1110		1287	1273	1100	1326	1124	898	1101	
1981		1376	1249		1298		1686	1653		1505	1569		2003	1584	1395	1687	1473	1487	1517	
1982		1190	1120		1092			1442			1348				1297	1172	1364	1126	1295	1280
1983		656	602		495			873			737				912	755	820	902	875	628

MOYENNES PLUVIOMETRIQUES INTERANNUELLES

Nom du poste	Moy. inter. en mm	Période	Nb. années
RICHEV	1667	1940 1980	40
ANSEBERT	1258	1958 1983	26
BEAUFOND	1151	1963 1983	21
BEAUFORT	1403	1938 1957	17
BETIN	1125	1957 1983	25
BLANCHAR	1420	1938 1949	12
BLANCHET	1654	1938 1981	44
CLUGNYE	1489	1940 1983	30
CLUGNYD	1769	1938 1965	28
DUVAL	1359	1938 1981	37
GIRARD	1279	1957 1983	27
LENERCIE	1343	1945 1962	17
MARCHAND	1816	1938 1960	23
MORNEAU	1593	1951 1981	20
PETITCAH	1507	1953 1983	30
PHILIPPS	1310	1940 1983	41
SYLVAIN	1391	1940 1983	32
PORTLOUI	1395	1951 1983	26
STEARLI	1353	1940 1983	44
BEUTHIER	1357	1969 1983	15

TABLEAU I b
Nord Grande-Terre (1929-1983)

TOTAUX PLUVIOMETRIQUES ANNUELS

Année	RICH	ANSE	BEAU	BEAU	BETI	BLAN	BLAN	CLUG	CLUD	DUVA	GIRA	LEME	MARC	MORN	PETI	PHIL	SYLV	PORT	STEA	BEUT	BERT	LARO	MAIS	MONT	ERNI
1929												1365						1316			1295				
1930								518				532						501					613	633	
1931								1436						1482				1750			1365		1450	1390	1338
1932								1780		1885		1641		2079				1708			1679	1541	1671	1621	1599
1933								1258		1293				1622				1159			1300	1163	1177	1153	1366
1934								1401	1155	1290		1014	1404	1433	1084			1135			932	1135	1027	866	948
1935								1341	1021	1159			1417	1317	993										823
1936								2447		2120			2690												
1937								1945	1982	1618			1925												
1938			1736		1777	2079			2125	1649			2294												
1939			1005		1001	1137			1248	799			1256												
1940	1624		1317	957	1492	1657	1436	1857	1478				1789				1287	1248		1180					
1941	1723		1398	1229	1143	1588	1499	1507	1363				1618				1239	1371		1418					
1942	2345			1849	2012	2445	2015	2691	1776	1780			2725				1806	1818		1643					
1943	1735			1232	1734	1678	1541	1863	1238	1274			1914				1230	1386		1267					
1944	1676		1394	1223	1306	1661	1415	1680	1257	1438			1838				1379	1235		1348					
1945	1854		1417	968	1632	1788		1622	1388			1358	1830				1255	1322		1593					1194
1946	1393		1165	876	1066	1310		1481	994	938	1090	1417					1054	977		1027					773
1947	1158		1041	794	1033	1148		1252	1166	917	1059	1164					892	760		982					772
1948	1722		1294		1260	1329		1601	1330	1326	1114	1588					1277	1382		1466					
1949	1730		1627	1493	1586	1990		2125	1657	1351	1461	2056					1406	1640		1600					
1950	1554		1494	1152		1694		1684	1457	1462	1392	1916					1381	1472		1458					
1951	2015		1643	1717		1905		2108	1632	1753	1618	2159	1833				1525	1753	1644	1490					
1952	1895		1579	1515		1959		1797			1646	2135	2010				1779	1788	1613						
1953	1893			985		1927		1817	1413	1157		2100	1575	1684	1391	1329	1559	1444							
1954	1705		1283	1037		1844		1741	1255	1417	1324	1811	1646	1619	1175	1371	1451	1218							
1955	1623	1121	1256	1173		1347		1593	1263	1059	1122	1677	1226	1367	1187	1268	1294	1139							
1956	2091		1691	1641		2175		2216	1615	1667	1671	2247		1782	1668	1455	1663	1586							1181
1957	1629		1517	1139		1410		1839	1412	1073	1123	1500		1626	1242	1438	1411	1328							1065
1958	2837	1775		1474		2041	1697	2281	1645	1685	1598	2041		1933	1619	1680	1654	1594							
1959	1281	1024		767		1379	1164	1481	911	820	981	1291		1110	988	1005	868	898							
1960	1649	1189		1158		1572	1322	1452	1345	1324	1330	1399		1352	1133	1382	1228	1271							
1961	1731	1179		1345		1821	1663	1807	1500	1257	1257			1806	1396	1533	1763	1448							
1962	1698	1583		1454		1915	1728	2039	1465	1669	1546			1726	1591	1601	1538	1551							
1963	1802	1167	1315	1055		1286	1440	1753	1232	1116				1387	1433	1266	1321	1264							
1964	1755	1387	1357	1291		1417	1625	1707	1560	1367					1545	1400	1225	1451							
1965	1662	1240	1138	1050		1157	1341	1257	1101	1175				1387	1177	1089	1261	1495	1144						
1966	1969	1645	1372	1437		2134	1725		1571	1605				1949	1656	1504	1600	1630	1552						
1967	1320	1078	876	968		1416	1294		1130	1191				1136	1269		1077	1108	1205						
1968	1540	1301	1148	1046		1574	1434		1293	1313				1470	1421	1233	1330	1272	1297						
1969		1442	1240	1356		1691	1686		1370	1201				1744	1678	1343	1430	1420	1492	1331					
1970	2287	1964	1961			2772	2457		2234	2142				2481	2305	2196	2196	2180	2219	2176					
1971	1110	961	875	986		1209	1093		934	848				991	1063	1059	956	981	1043	1050					
1972	1593	1296	1207	1230		1781	1474		1386	1219				1562	1720	1269	1263	1322	1537	1411					
1973	1281	785	756	779		1365	1103		987	906				1228	1096	930	913	916	1054	915					
1974	1489	1095	1043	983		1378	1411		1284	1061				1426	1246	1309	1307	1264	1208	1325					
1975	1312	1187	969	1065		1316	1265		1155	1092				1400	1167	1255	1317	1288	1204	1146					
1976	1293	1131	1140	1143		1303	1175		1229	993					1368	1226	1181	1109	1267	1347					
1977	1503	1277	1159	1242		1535	1387		1392	1084					1729	1317	1438	1271	1416	1589					
1978	1610	1262	1166	1146		1487	1262		1422	1532				1442	1585	1063	1576	1566	1343	1411					
1979	2326	1614	1511			2283	2092		2105					2058	2276	1535	2114	1856	1729	2122					
1980	1158	973	974	934		1196	1219		1015	1110				1287	1273	1100	1326	1124	898	1101					
1981		1376	1249		1298	1686	1653		1505	1569				2003	1504	1395	1609	1473	1487	1517					
1982		1190	1120		1092		1442			1348					1297	1172	1364	1126	1295	1200					
1983		656	602		695		873			737					912	755	820	902	875	628					

Nom du poste	Noy. inter. en mm	Période	Nb. années
RICHEVAL	1675	1940 1980	40
ANSEBERT	1253	1955 1983	27
BEAUFOND	1151	1963 1983	21
BEAUFORT	1403	1938 1957	17
BETIN	1170	1940 1983	41
BLANCHAR	1461	1937 1949	13
BLANCHET	1666	1934 1981	48
CLUGNYB	1461	1931 1983	36
CLUD30	1742	1934 1965	32
DUVAL	1345	1930 1981	45
GIRARD	1302	1942 1983	40
LEMERCIE	1304	1929 1962	21
MARCHAND	1822	1934 1960	27
MORNEAU	1591	1931 1981	25
PETITCAN	1478	1934 1983	32
PHILIPSE	1304	1940 1983	42
SYLVAIN	1387	1940 1983	44
PORTLOUI	1366	1929 1983	39
STEANELI	1353	1940 1983	44
BEUTHIER	1357	1969 1983	15
BERTHAUD	1314	1929 1934	5
LAROCHE	1113	1930 1934	4
MAISONCE	1172	1930 1957	7
MONTAGNE	1074	1931 1947	8
ERMITAGE	1313	1931 1934	4

TABLEAU II
Sud-est Grande-Terre

TOTAUX PLUVIOMETRIQUES ANNUELS

Année	COUR	DOUV	FERM	GARD	LABA	LECL	MARL	MONP	MOUL	POMR	RENE	SAIN	SAIN	SAIN	ZEVA
1950	1376			1437				1348		1450					
1951				1491	1542			1702	1760	1608	1689	1449			1389
1952				1586	1341			1488	1477	1322	1539				1269
1953				1553	1493			1609	1570	1498	1528	1272			1362
1954				1331	1385			1345	1224	1266	1358	1198	1058		1178
1955				1108	1094			1123	1131	1060	1172	1133	909		1008
1956				1498	1445			1544	1411	1484	1653	1233	1172		1308
1957				1313	1262			1397	1415	1316	1516	1237	1121		1128
1958				1663	1769			1975	1817	1671	1669	1672	1462		1495
1959				1163	1118			1288	1166	1014	1249	1044	870		1013
1960				1000	1007	1087		1084	1139	967	967	974	807		921
1961				1605	1572	1566		1625	1482	1505	1597	1560	1286		1468
1962		1635		1436	1517	1723		1506		1437	1496	1188	1126		1335
1963				1275	1196	1423		1269		1211	1295	1060	926		960
1964		1446		1465	1434	1343		1460	1358	1439	1376	1284	1033		1324
1965		1295		1111	899	1170	1248	1102	1099	992	1036	868	777		972
1966		1963	1769	1900	2047	1820	1921	1862	1651	1770	1878	1774	1621		1747
1967		1277	1015	1195		1246	1345	1207	1332		1272			888	
1968	1217	1309	963	1095	1126	1283	1289	1223	1086	1182	1134	1269	1064		817
1969	1494	1514	1359	1329	1424	1488	1546	1438	1532	1391	1310	1511	1427		1149
1970	2281	2187	1929	2105	2131	2236	2215	2210	2150	1917	2274	1985	1794		
1971	804	865	668	878	837	1040	983	815	928	784	800	753	772		
1972	1574	1482	1282	1381	1432	1412	1603	1468	1302	1364	1429	1447	1355		
1973	987	906	671	1093	921	1031	1041	1137	1068	981	981		897		
1974	1384	1354	1210	1255	1304	1204	1472	1356	1196	1341	1489	1212	1176		
1975	1075	1239	886	1053	975	1247	1179	1110	994	1023	1086		845		
1976	1349	1418	1036	1067	1075	1081	1271	1167	1178	1090	1265	1323	987		
1977	1337	1215	1164	1472	1250	1402	1331	1335		1219	1452	1294	1110		
1978	1454	1227	1160	1206	1179	1225	1212	1268		1177	1295	1447	1251		
1979	1706		1804	1978	1898	2018	1998	2005	1971	1737	1779	1877	1798	1085	
1980	1037		980	932	1006	1043	1170	967	1032	635	820	1061	890	905	
1981	2118		1830	1907	1863	1779	2019	2023	1570	1750	1848	2123	1915		
1982	1542		1189	1365	1345	1767	1466	1383	1410	1445	1382	1519	1334	933	
1983	858		769	765	727	779	883	842	742	830	838	873	760	643	

MOYENNES PLUVIOMETRIQUES INTERANNUELLES

Nom du poste	Moy. inter. en mm	Période	Nb. années
COURCELL	1388	1950 1983	17
DOUVILLE	1396	1962 1978	16
FERMEY	1216	1966 1983	18
GARDELON	1353	1950 1983	34
LABARTHE	1335	1951 1983	32
LECLUSE	1392	1960 1983	24
MARLY	1431	1965 1983	19
MONPLAIS	1400	1950 1983	34
MOULE	1359	1951 1983	29
POMERAY	1301	1951 1983	32
RENEVILL	1386	1950 1983	34
SAINTEAN	1407	1966 1983	14
SAINTEAN	1233	1951 1983	31
SAINTEFRA	1029	1954 1983	20
ZEVALOS	1244	1951 1966	16

TABLEAU III
Sud-ouest Grande-Terre

TOTAUX PLUVIOMETRIQUES ANNUELS

Année	BELE	BELP	BOIS	BOYV	DAR	DOTH	LARE	LEON	LEKA	MALA	MARI	PTPE	PAPH	POIN	PORT	SARD	REPS
1929	1463		1486	1599	1294	1733		1357									1362
1930	1181	962	1054	1155	1108	1138		1100									1085
1931	1522	1690		1621	1516	1723		1630									1437
1932	2099	1987	1813	2005	1731	1930	1921	2036		1728	1987						1592 1785
1933	1592	1627	1501	1672	1513	1606	1564	1536		1580	1444						1435 1628
1934	1426	1359	1279	1329	1158	1391	1357	1412		1400	1351						1113 1239
1935	1213	1614	1485	1352	1262	1651	1239	1314		1559	1493						1318 1228
1936	1942	2159	2136	1818	1762	2406	2049	1860		2203	2246						1805 1936
1937	1620	1578	1618	1486	1534	1614	1746	1659		1536	1643						1486 1627
1938	2290	2227	2257	2273	1981	2196	2092	2157		2234	2427						2118 1984
1939	1250	1247	1301	1264	1202	1289	1186	1075		1412	1491						1276 1141
1940		1721	1642	1683	1878	1620	1621	1627		1862	1963						1955 1553
1941		1678	1730	1753	1666	1716	1486	1498		1750	1666						1591 1558
1942		2241	2689	2285	2456	2427	2401	2158		2402	2373						2313 2165
1943		1619	2058	1692	1523	1807	1579	1653		1625	1614						1473 1619
1944		1664	1606	1669	1839	1957	1685	1496		1798	1764						1738
1945		2033	1852	2075	1731	2154	1702	1928		2040	1989						1773
1946		1394	1445	1374	1307	1478	1213	1397		1413	1383						1262
1947		1322	1505	1367	1439	1387	1411	1363		1275	1236						1349
1948		1732	1874	1997	1918	2109	1563	1806		1875	1860						1705
1949		1884	2425	2139		2178	1992	2071									2137 1948
1950		1967	2136	1870			1825	1877									1764
1951		1633	1958	2357	1989		2279	1958	1706	2137							1973
1952		1882	2140	2036	1858		2039	2013	1858	2153							1903
1953		2309	2193	2045	1913		2037	1821	2015	2018							1896
1954		1651	1750	1671	2119		1740	1791	1871	1648							1574
1955		1637	1811	1531	1445		1619	1401	1572	1789							1735 1681 1541
1956		2001	1975	2213	2156		2157	1949	2166	2233							2017 1899 2042
1957		1732	1497	1638	1764		1537	1563	1576	1752							1564 1528
1958		1973	2195	2188	2102		2157	2145	1999	2059							1971 2273 2024
1959		1449	1741		1242	1539	1515	1262	1196	1448							1531 1408 1303
1960		1600	1496		1503	1545	1567	1474	1517	1630							1482 1356
1961		1980	1726		1746	1767	2025	1764	1812	1936							1866 1940
1962		1876	1741		1819	1822	1960		1847	1884							1844 1866
1963		1593	1813		1763	1826	1920		1811	2111							1799 1762
1964		1825	1677		1698	1605	1833		1696	1925							1568 1579
1965		1441	1360		1440	1656	1546			1774							1549 1462
1966		1993	2207		2142	2120	2237			2318							2105 2268
1967		1310			1233	1214	1433			1400							1450
1968		1654			1737	1575	1875			1716							1817
1969		1600			1715	1713	1973			1905							1617 1548 1552
1970		2197			2413	2119	2631			2510							2181 2199 2322
1971		1612			1845	1853	1126			1190							919 1803 1151
1972					1832	1606	2034			1971							1694 1746
1973						906	1037			995							886 911 1020
1974					1366	1400	1777			1807							1344 1233 1360
1975					1727	1287	1692			1613							1375 1510 1588
1976					1369	1568	1444			1646							1329 1358 1497
1977					1520	1504	1572			1545							1343 1231 1465
1978					1975	1494	1613			1737							1460 1407 1434
1979		2702			2297	2190	2444			2236							1705 1989 1883
1980					1362		1583			1559							1151 1242 1212
1981		2274			2321		2598			2490							2012 2152 2117
1982		1484					1600			1661							1382 1504 1603
1983		999					1028			1194							892 912 993

MOYENNES PLUVIOMETRIQUES INTERANNUELLES

Nom du poste	Moy. Inter. en mm	Période	Nb. années
BELESPEL	1698	1929 1971	32
BELPLAIN	1767	1930 1983	41
BOISRIPE	1813	1929 1958	29
BOYVINY	1731	1929 1981	52
DARBOUSS	1593	1929 1979	41
DOTHENAR	1799	1929 1983	54
LAREDOUT	1692	1932 1961	30
LEONIE	1685	1929 1964	36
LEKAIZET	1818	1951 1983	33
MALMAISO	1747	1932 1940	17
MAMIEL	1762	1932 1948	17
PTPEROU	1762	1953 1966	14
PAPHOPIT	1625	1929 1959	20
POINTEDO	1675	1932 1971	40
PORTBLAN	1422	1969 1983	15
BAROT	1462	1969 1983	14
BOMBO	1493	1972 1983	12

TABLEAU IV
Côte au vent de la Basse-Terre

TOTAUX PLUVIOMETRIQUES ANNUELS

Année	BOUB	ARNO	BELC	BLAC	CHAN	CONV	DUPU	GERM	GROS	LARE	PASQ	TRIN	VERS	VOUN	HOUE	BELL	LEZA	STER	BONN	LANE	BIRA	LAJA	DUCL	PTBO	STEC	CAPE	KARQ	NEUF	GRAN
1929		1488	1326	1388	1398			1554					1635	1688								1435							
1930		1285	1294	1213	1278			1222						1339					1601			1889							
1931		1683	1368	1746	1776			1676					2042	1683					1858			1562							
1932		2840		2314	2413		1959	2278			2302	2160	2308	2047					2364			1968							
1933				1913	2221		1971	2309			1767	2332	2249	1877					2234										
1934		1096		1154	1457		1249	1232			1459	1356	1280	1189			1528		1682			1190							
1935		1570	1702	1524	1479		1546				1731	1756		1562			1636		1953			1532					2452		
1936		2579	2480	2465	2809		2418	2567			2758	2979		2374			2989		3160								3147		
1937		1883	1636	1635	1933		1792	1810			2007	2285		1733		2388	2320	2345			1489						2895		
1938		2539	2192	2220	2249		2263				2295	2633		2091		2529	2703	2709			2231						3267		
1939		1742	1520	1561	1543						1668	1678		1540		1738	1780				1342								
1940		2215	2122	1917	2003		2064				2211	2511		2247		2469	2680	2589			2079								
1941			1783	1568	1861		1857				1685	2069		1727		2049	2117	2291									2238		
1942		2684		2349	2570		2532				2453	2671		2267		2983	2925	2551									3292		
1943		1968		1649	2054		1879	1853			2087	2084		1817		1967	2151												
1944		1762	1812	1818	1947		1935	1776			1961	1983	1693	1694		1838	2016	1973			1660				2435		2119		
1945		1959	2177	2828	2316		1995	2080			2199	2426	2424	2075		2463	2646	2456			1980	1823			2962		2449		
1946		1799	1546	1471	1791		1824	1797			1677	1858	1920	1672		1789	2122	1938			1486	1461					1926		
1947		1399	1652	1583	1523		1361	1443			1464	1573	1346	1343		1690	1748	1602			1385	1353			1918		2232		
1948		2638	1999	1813	1941		1938	2012			2266	2273	2097	2241		2029	2092				1942	1919							
1949		2133	2064	1806	2151		2467	2253			2251	2599	2556	2063		2585	2826	2351			1928	2105							
1950		2139	1858	2042	2314		2085	2347			2297	2363				2469	2544	2149			1968	1897			3218		4144		
1951		2088	2141	2446	2448		2195	2327	2497		2609	2289				2635	2560	2254	2641	2049	2142	2032	2322				2916	4968	
1952			2141	1994	2412		2214	2385	2644		2491	2618				2788	2621	2718	2126	1873	2126		2834				3105	4671	
1953			1756	1911	1988		1845	2061	2288	2261	2063					2322	2152	1967	2325	2157	1804	1673	2132				2660	4316	
1954			1984	2051	2255	2672	2218	2232	2797	2729	2679				2046	2413	2839	2176	2740	2896	1759	1857	3373	2467			2984	4178	
1955		2230	1988	1729	1825	2227	1921	1705	2537	2337	2640				2084	2475	2632	1760	2258	1839	1835	1941	2953	2726			2345	3622	
1956	3162	2258	2225	2274	2367	2165	2232	2528	2587	2410	2351				2351		2469	2497	2971	2212	2029	1948	3586	2355			2704	4654	4756
1957	2457	1658	1564	1735	1932	1765	1774	1798	2413	2040	2088				1884	2059	2370	1652	2283	1503	1396	1438	3687	2353			2659	3831	
1958	2947	2603	2323	2829	2315	2450	2315	2281	2979	2594	3075				2443	2738	3105	2240	2501	2107	1959			2732			2857	4726	5204
1959	2678	1696	1693	1554	1582	1506	1567	1616	2091	1613	1751				1454	1695	1976	1610	2090	1469	1457			1958			1988	3121	3875
1960		1691	1551	1566	1605	1558	1585	1552	2044	1752	1587				1546	1432	1936	1720	1653	1475	1245	1572			1879		1926	3342	3629
1961	2253	1842	1858	1891	1856	1851	1896	1848	2049	2009	2065				1866	2067	2179	1847			1867	1661	1778	2489	2084			3623	3276
1962	2566	1897	1953	1960	1946	1828	1818	1874	2337	2056	1972				1840	2074	2202	1971			1756	1865	1781	3656	2216			4426	
1963	2105	1623	1510	1515	1681	1745	1747	1713	1939	1886	1617				1706	1886	1974	1633			1848	1668	1595	2473				3877	3548
1964	2418	1808	1721	1980	2067	1946	1801	1958	2366	2071	2281				1907		2396	1728			2191	1736	1488	3062				3780	3693
1965	2329	1546	1523	1461	1857	1671	1561	1765	1964	1918	1682				1626			1694			1558	1478	1544	2448				3376	3099
1966	2416		1897	1751	1958	1988	1875	1721	2369	2229	2223				1863			1711			1826	1716		3682				2468	
1967	1756	1146	1093	1245			1637	1343		1614	1456				1588			1394			1391	1629		1977	1481			1716	
1968	2823	1835	1590	1490			1632	1673		1688	1936				1538			1762			1516	1574		2419	1984			2669	
1969	2698	2339	2042	1952			2329	2032		2517					2158			2030			1933	1667		3383	2561			2483	
1970	2994	2184	2173	1971			2267	2171		2756					2431			2166			1982			3619	3841			2858	
1971	1461		1064	1024			1162	1088		1505			1270					1161				928		2166	1434	1577			2698
1972	2634		1973	1723			1776	1911		2250			1916					1704				1743		3087	2170	2552			4198
1973	1522		994	1179			1158	1196		1506			1390					1418			1189	902		2032	1156	1560			2693
1974	2813		1854	1412			1628	1549		1982			1741					1549			1664	1436		2452	2274	1949			3541
1975	1878		1276				1462	1609		1898			1745					1717			1520	1588		2475	2174	2075			3265
1976	2224		1562				1792	1428		2151			1799					1539			1406	1327		2607	1814	1827			3215
1977	1862		1379	1427			1780	1394		2082			1896					1727			1672	1302		2932	2251	2388			3752
1978	1818		1524	1514			1655	1698		1993			1924					1975			1610	1628		2554	1882	2521			3417
1979	2797		1875	1945			2624	2130		2573			2858					2359			2604	2344		3617	2661	2354			3675
1980	1807		1269	1279			1867	1522		1958			1860					1576			1541	1272		2464	1824			3385	4699
1981	3193		2544	1951			2812	2192		2984								2265			2389			3748	2907			4554	5194
1982	2868		1456				1973	1433										1691				1515		2784	1646			3707	4762
1983	1799		1508	1298			1474	1398		1887								1266			1616			2340	1543			2668	3121

MOYENNES PLUVIOMETRIQUES INTERANNUELLES

Nom du poste	Moy. inter. en mm	Période	Nb. ann. Bees
BOUBERS	2275	1956 1983	27
ARNOUVIL	1895	1929 1970	36
BELCOURT	1750	1929 1983	50
BLACHON	1738	1929 1983	52
CHANTILL	1973	1929 1966	38
CONVEHAN	1842	1954 1983	30
DUPUY	1812	1932 1983	50
GERMILLA	1933	1929 1966	33
GROSSEMO	2210	1953 1983	30
LARETRAI	2135	1951 1968	18
PASQUERE	2001	1932 1949	18
TRINITE	2172	1932 1970	39
VERSAILL	1967	1929 1980	24
VOUNCHE	1815	1929 1949	21
HOUELOU	1831	1954 1968	15
BELLEVERA	2205	1937 1963	26
LEZARDE	2330	1934 1964	31
STEROSE	1812	1951 1983	32
BONMERUS	2292	1930 1960	28
LAMENTIN	1802	1951 1983	30
BIRAINGA	1632	1945 1980	36
LAJAILLE	1697	1929 1965	30
DUCLOS	2038	1954 1983	27
PIBOURG	2159	1951 1983	29
STECLAIR	2257	1944 1979	13
CAPESTER	2172	1965 1983	17
MARQUISA	2602	1935 1960	20
NEUFCHAT	3750	1950 1983	33
GRANDETA	3888	1955 1983	22

TABLEAU V
Côte sous le vent de la Basse-Terre

TOTAUX PLUVIOMETRIQUES ANNUELS																
Années	DESH	BUDO	BEAU	GOUR	LPLA	GDST	LEBO	PARN	PTPL	MATO	EAST	BONT	PIGE	MONT	BEAU	FITO
1952	1900			2559							1789					3456
1953	1718			2512							1486					4152
1954	1685			2831							1608					4174
1955	1694			1800							1172					2546
1956	2231			2956							2008					4220
1957	1558			2759						5068	1595					3734
1958	2256			3285						5834	2224					4336
1959	1453			2269						5012	1416					3525
1960	1534			2425						4640	1436					3222
1961	1919			2617						5284	1513					3356
1962	1640			2805						5570	1915					4010
1963	1811			2718						4952	1594			1826		
1964	2011	1135	2866					4861			1706			2277	1808	2987
1965	1270	951	2425					4085			1500			2588	1799	3534
1966	1924	1349	2682					4776	3569	5395	1659		1262	2134	1389	2794
1967	1220	824	2359					4285	2502	4554	1320		1639	2450	1543	3384
1968	1498	941	2213					933	3992	2442	4793	1429		1234	1883	1309
1969	1505	3283	950	2302				974	3868	2917	4427	1585		1332		2466
1970	2033	4256	1050	2836				1068	4794	3382	4843	1691		1629	1850	3239
1971	1278	3513	878	2171				970	3877	2206	3993	1273	2088	1228		3478
1972	1605	4149	1097	2774	7396			1126	4718	3194	5246	1625	2653	1537		5761
1973	1243	2785	690	1698	1806	5505		767	3276	2136		991	1780	972		3888
1974	1378	4103	947	2872	2732	6926		954	4470	2918	4915	1579	2478	1475		3645
1975	1591	3655	868	2125	2488	6383		782	4163	2625	4520	1239	2413	1284		3881
1976	1667		933	2954				987		3173				1187		5266
1977	1198	763	1969	2598	5783	842		2763			1336			1249		4923
1978	1587	979	2561	2437	5770	942	4216	2722				2434	1339			5112
1979	1683	1228	3455	2886	6128	1347	4275	2707			1651	2556				5312
1980	1400		1045	2549	2216			1132	3507	2258		1465	2362			4954
1981	2126	1189	3018	3225				1181	4677	3542	5179	1859	3244	1873		5230
1982	1221		2638	2377	6594	1004	5144	2835	6134	1591	2614	1385				6128
1983	1450		2087		5767	735		2040	3853	1294	1846	1150				3259

MOYENNES PLUVIOMETRIQUES INTERANNUELLES

Nom du poste	Moy. inter. en mm	Période	Nb. années
DESHAIES	1641	1952 1983	32
BUDON	3678	1969 1975	7
BEAUSOLE	991	1964 1981	18
GOURDEYR	2553	1952 1983	31
LPLAINES	2572	1973 1982	10
GDSTOUCH	6250	1972 1983	9
LEBOUCHU	984	1968 1983	16
PARNIPO	4293	1964 1982	17
PTPLAINE	2775	1966 1983	18
MATOUBA	4959	1957 1983	19
EASTJABO	1552	1952 1983	30
BONTERRRE	2406	1971 1983	11
PIGEON	1365	1965 1983	16
MONTVAL	2233	1963 1968	6
BEAUVAIL	1565	1962 1971	10
FITONB	4974	1972 1983	12
PARNORST	2853	1963 1974	12
CAMPJACO	3712	1952 1962	11

La sécheresse en Afrique de l'Ouest

*Comparaison des années 1982-1984
avec les années 1972-1973*

J. SIRCOULON (1)

RÉSUMÉ

La sécheresse qui règne sans interruption au Sahel depuis 1968 présente deux paroxysmes ; l'un en 1972 et 1973, l'autre de 1982 à 1984.

Au cours de ces accentuations du déficit hydropluviométrique, la sécheresse déborde largement des zones sahéliennes et fait sentir ses effets jusqu'aux régions subéquatoriales, voire équatoriales.

L'examen des données de précipitations et de débits montre que la période 1982 à 1984 est encore plus rigoureuse que celle de 1972-1973.

La persistance des déficits depuis plus de quinze ans entraîne une diminution spectaculaire des ressources en eau de surface (eaux courantes comme eaux stockées). La situation actuelle dépasse en sévérité ce qui avait été observé au cours des années « 13 ».

Il est encore trop tôt pour dire si l'amélioration constatée en 1985 est l'amorce d'un retour à des conditions pluviométriques « normales » ou une simple pause dans une dégradation climatique continue du Sahel.

MOTS-CLÉS : Sahel – Sécheresse – Pluies – Eaux de surface – Étiage exceptionnel – Fluctuations climatiques – Séries chronologiques.

ABSTRACT

THE DROUGHT IN WEST AFRICA. 1982-1984 COMPARED WITH 1972-1973

The drought prevailing in the Sahelian zone since 1968 presents two severe peaks in the years 1972 to 1973 and from 1982 to 1984. During the increasing of the hydropluviometrical shortage, the drought overspreads the regions in the south and the effects are felt up to the equatorial regions.

The survey of the collected rainfall and discharge data shows that the period 1982 to 1984 is more acute than the period 1972-1973.

The persistence of rainfalls below « normal » for 17 consecutive years induces a spectacular lowering of the surface water resources (running waters as stored waters). The situation is the worst ever recorded and exceeds in severity the « 13 s ».

The increase in rainfall observed in 1985 cannot give an answer about future rainfall conditions : is there a return to « normal » rainfalls or only a pause in a long term climate deterioration with a progressive dessication in the subsaharian zone ?

KEY WORDS : Sahel – Drought – Rainfall – Surface water – Exceptional low flow – Climatic fluctuation – Time-series.

(1) Laboratoire d'Hydrologie et Département A, ORSTOM, Bondy.

1. INTRODUCTION

La sécheresse qui affecte le Sahel présente une persistance tout à fait remarquable ; elle dure en effet depuis 1968, soit maintenant dix-huit ans, si l'on prend en compte l'aspect quantitatif des précipitations et des écoulements.

Les années 1972 et 1973 ont marqué la première phase aiguë, tristement célèbre par son cortège de catastrophes : troupeaux décimés, récoltes insuffisantes, populations affamées et souvent déplacées. Après 20 ans de relatif équilibre dû à des pluies abondantes, les médias faisaient connaître au restant du monde le drame vécu par le Sahel. Les climatologues et les hydrologues notaient les nombreux records pluviométriques locaux et la faiblesse de l'écoulement à l'échelle de l'abondance annuelle, de sa répartition saisonnière et de ses extrêmes : crues et étiages. Mais, les données disponibles montraient que des sécheresses importantes s'étaient déjà produites dans le passé, vers les années « 13 » et les années « 40 ».

En 1974 et 1975, des pluies plus proches des normales et mieux réparties dans la saison culturale avaient permis des récoltes correctes et donc soulevé l'espoir d'un retour à des conditions de vie normale pour les populations du Sahel.

Malheureusement la sécheresse actuelle, même si elle présente des variations d'intensité et une extension variable suivant les années, n'a jamais cessé de régner. Après des années à nouveau sévères en 1976, 1977, 1980, la période de 1982 à 1984 marque une nouvelle recrudescence de la sécheresse avec souvent une aggravation par rapport à ce qui avait été observé en 1972-1973. Les totaux pluviométriques annuels sont en maints endroits encore plus faibles que ceux relevés dix ans plus tôt ; l'effet cumulatif des déficits consécutifs sur les grands fleuves a abouti en 1984 aux plus faibles écoulements jamais observés sur tous les grands fleuves parvenant au Sahel : Sénégal, Niger, Logone-Chari.

Au cours de ces années, l'extension de la sécheresse vers les pays situés plus au sud est également impressionnante et pire encore qu'en 1972 et 1973, puisque la raréfaction des pluies concerne les deux hémisphères : 21 pays africains sur 50 seront déclarés « sinistrés » par la sécheresse.

Les bonnes récoltes de 1985 au Sahel dues à des pluies coïncidant bien avec les moments où les cultures en avaient le plus besoin apportent à nouveau soulagement et espoir en l'avenir.

Mais les pluies de 1985, bien que nettement supérieures à celles de 1984, restent encore en dessous des normales et les ressources en eau de surface très déficitaires (le module du Sénégal à Bakel ne représentera, en année hydrologique, que la moitié du débit moyen interannuel) ; on sait également d'après la décrue des cours d'eau que les étiages seront encore très rigoureux entre mars et juin 1986.

La présente note fournit quelques données chiffrées permettant de comparer les deux paroxysmes 72-73 et 82 à 84 et de situer leur importance par rapport à l'ensemble des observations hydropluviométriques recueillies depuis le début de ce siècle. Le choix du total pluviométrique annuel ou du débit moyen annuel peut paraître simpliste. Il ne satisfait pas par exemple l'agronome pour lequel répartition des pluies et espacement entre ces pluies sont des caractères essentiels. La prise en compte « globale » a au moins l'avantage de la commodité et de fournir des repères intéressants mais ce n'est qu'une approche et qu'un moyen de représenter la sécheresse.

2. LES DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES

2.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

On fait débiter en général la période de sécheresse actuelle en 1968, car la pluviométrie de 1967 a été très largement excédentaire, toutefois, dès 1965, de vastes régions du Mali au Tchad au nord de l'isohyète 500 mm ont subi un fort déficit pluviométrique se répétant l'année suivante...

Comme nous l'avons vu dans l'introduction, deux paroxysmes de sécheresse sont particulièrement sévères et étendus, celui des années 1972 et 1973 et celui des années 1982 à 1984 ; on observe au cours de ces deux périodes un déficit pluviométrique rigoureux avec de nombreuses valeurs à caractère exceptionnel et un large « débordement » de la sécheresse vers le sud du Sahel, atteignant les régions équatoriales. Ces deux paroxysmes méritent donc une description assez détaillée (cf. ci-après) mais entre ces deux périodes la sécheresse n'a jamais cessé, même si elle présente des caractères moins spectaculaires car moins excessifs et une extension plus réduite. Ce jugement doit d'ailleurs être nuancé car si 1974 et 1975 ont véritablement semblé montrer une pause sur le plan hydropluviométrique, les années 1976 et surtout 1977 ont parfois été presque aussi mauvaises que 1972 (102 mm à Saint-Louis, plus basse valeur observée depuis le début des observations en 1851) avec un déficit pluviométrique systématique au Togo et au Bénin qui connaissent souvent des conditions pires que la fameuse sécheresse subéquatoriale de 1958.

2.2. SITUATION PLUVIOMÉTRIQUE EN 1972 ET 1973

En 1972, pour la première fois depuis le début de la sécheresse actuelle tous les postes pluviométriques des pays sahéliens sont déficitaires (à part une zone étroite allant de Houndé à Ouagadougou au Burkina Faso), ainsi que ceux de la moitié nord de la Côte d'Ivoire (sauf la région d'Odienne) et du Bénin (sauf à Tanguéta). Par ailleurs, la moitié des postes du Cameroun et de la Centrafrique présentent des déficits importants. A l'échelle mensuelle la répartition des précipitations montre que si les mois de mai et de juin sont à peu près normaux, de juillet à septembre, par contre, le déficit mensuel atteint souvent 30 à 40 %. Pour le seul Sénégal, une vingtaine de stations suivies depuis au moins 40 ans connaissent leur minimum absolu. A Dakar même, le total annuel n'est que de 117 mm de pluie pour une médiane de 500 mm (déficit de 80 % par rapport à la moyenne).

Par bandes pluviométriques, la situation est la suivante pour cette année-là :

- Bande inférieure à 100 mm : dans la zone désertique où il n'est pas rare que les précipitations annuelles soient nulles (cas de Fada au Tchad), les données des très rares stations existantes ne sont pas d'un grand secours. On sait simplement de façon qualitative que l'année 1972 a été très sèche.
- Bande comprise entre 100 et 300 mm : dans la zone subdésertique, la densité des stations est suffisante pour que l'on puisse arriver à une impression générale. Depuis le Soudan jusqu'à l'Atlantique, l'année 1972 a été extrêmement sèche sur cette bande limitée au sud par une ligne qui passe un peu au nord du fleuve Sénégal, à l'ouest, et qui coupe le lac Tchad à l'est. Dans cette région, quelques données tendaient à prouver que, tous les 30 ou 50 ans, les précipitations annuelles descendaient jusqu'à des valeurs comprises entre 30 et 60 mm pour des moyennes de longue durée de 200 à 300 mm. Ceci a été largement confirmé puisque, dans la zone en question, ont été observées en 1972 un bon nombre de hauteurs annuelles comprises entre 45 et 80 mm (déficit de l'ordre de 75 %). Pour de telles hauteurs, les phénomènes de ruissellement deviennent très rares.
- Bande comprise entre 300 et 750 mm : en zone sahélienne proprement dite, le déficit en valeur relative paraît nettement moins élevé mais les conséquences pratiques ont été tout aussi graves : entre les isohyètes 300 et 400 mm, le déficit varie généralement de 60 à 50 % ; enfin, plus au sud, il varie entre 40 et 25 %.
- Bande comprise entre 750 et 1 200 mm : le sud du Sénégal, du Mali et du Burkina Faso sont très touchés, la ville de Bamako ne reçoit que 728 mm de pluie, record absolu, contre 1 040 mm en année médiane.
- Bande supérieure à 1 200 mm : le déficit pluviométrique est beaucoup plus modeste et ne dépasse pas, en général, un temps de récurrence de 10 ans dans les régions nord des pays côtiers. A l'est de la zone étudiée, il atteint une récurrence plus rare dans les régions montagneuses de l'ouest du Cameroun. En RCA et jusqu'à environ 4° de latitude nord, la diminution des pluies et la mauvaise répartition de celles-ci dans l'année conduisent à un temps de récurrence élevé pour l'écoulement (Sanaga, Oubangui).
- En 1973, les précipitations sont déficitaires à tous les postes des pays du Sahel, sauf sur une poche très localisée de Téma à Kaya au Burkina Faso et dans la région de Baïbokoum au Tchad. A l'échelle mensuelle, la répartition des pluies montre que l'arrivée de la saison des pluies a été très tardive. Les mois de mai et juin sont beaucoup plus faibles qu'en 1972, juillet et août sont légèrement supérieurs, septembre et octobre sont à nouveau plus faibles.

Globalement, on peut considérer que la sécheresse se maintient aux sommets de 1972, car si elle régresse de façon toute relative en Mauritanie et au Sénégal, les deux tiers du pays ont encore un déficit égal ou supérieur à 40 % ; elle est plutôt plus accentuée du Mali au Tchad. Certaines régions, relativement épargnées en 1972, ne l'ont pas été en 1973 (au Burkina Faso et dans le sud du Mali notamment) et l'on retrouve pour cette dernière année un nombre non négligeable de valeurs minimales absolues correspondant à des récurrences rares pour des postes qui, en 1972, avaient présenté des fréquences nettement plus élevées. C'est le cas, entre autre, d'Abéché au Tchad qui reçoit seulement 188 mm de pluie contre 420 mm en année médiane.

2.3. SITUATION PLUVIOMÉTRIQUE DE 1982 À 1984

En 1982, tous les postes synoptiques du Sahel sont à nouveau déficitaires et seule une zone très limitée du Burkina Faso est relativement épargnée. On enregistre localement des records de déficits comme à Kiffa en Mauritanie (100 mm) ou à Segou au Mali (391 mm). L'isohyète 500 mm subit un décalage vers le sud variant de 100 à 200 km, le centre et le nord-est de la Côte d'Ivoire sont très touchés également, de même que la moitié nord du Centrafrique, avec un minimum annuel de 1 205 mm à Bangui.

En 1983, le déficit pluviométrique s'accroît dans tout le Sahel (les déficits atteignant couramment 50 à 60 % dans la bande 300 à 750 mm) et de nombreuses stations enregistrent un minimum annuel absolu, en battant parfois la valeur atteinte en 72 ou 73 (quinze stations de base pour le seul Sénégal, dont Saint-Louis 100 mm, Kaolack 304 mm, Sedhiou

697 mm). Le Mali et le Burkina Faso sont plus atteints que lors du premier paroxysme (Tombouctou 74 mm, Niore du Sahel 255 mm, Ouahigouya 358 mm). L'isohyète 500 mm avance vers le sud par rapport à sa position en année moyenne de 250 km sauf entre les méridiens 4° W et 4° E où sa progression n'est que de 100 km environ ; les pays plus au sud sont également très touchés jusqu'au golfe de Guinée, Côte d'Ivoire dans sa totalité (36 % de déficit à Abidjan), le Togo et le Bénin et plus à l'est le Cameroun (31 % à Douala et 38 % à Garoua), le Centrafrique et certaines régions de Congo et du Gabon. On note ainsi pour ce dernier pays une sécheresse prolongée de juin à septembre tout à fait exceptionnelle.

En 1984, la sécheresse présente les mêmes caractères de sévérité et d'extension. On peut à certains égards la considérer comme encore plus rigoureuse qu'en 1983 mais elle montre des particularités. La pluviométrie manifeste une légère amélioration par rapport à 1983 sur une grande partie du Sénégal, le sud du Mali et du Burkina Faso, mais ailleurs les conditions sont pires, en particulier sur le reste du Burkina Faso, sur le delta intérieur du fleuve Niger au Mali, sur quasiment toutes les régions agricoles du Niger et la majeure partie du Tchad. Au titre des records absolus, on citera Boutilimit en Mauritanie (30 mm pour une normale 31-60 de 202 mm), Agadès au Niger (4 mm pour une normale 31-60 de 182 mm) et N'Djamena au Tchad (293 mm pour 590 mm en année médiane). Mais ce qui rend l'année 1984 absolument catastrophique au niveau agricole est la répartition mensuelle aberrante des précipitations au Sahel : la saison des pluies commence plutôt précocement et jusqu'à la mi-juillet les valeurs sont relativement satisfaisantes. A cette période, se produit alors un arrêt prolongé et dramatique des précipitations liée à une redescente rapide du F.I.T. Le mois d'août est très peu arrosé, réduisant à néant les cultures. En septembre, les précipitations reprennent trop tardivement. Cette répartition saisonnière anormale des pluies se concrétise sur les hydrogrammes du Sénégal et du Niger par deux maximums de crue bien distincts et très faibles. En fin d'hivernage, on assiste même localement à des averses fortes et intenses qui peuvent remplir d'un seul coup des mares (cas de la mare d'Oursi, avec 93 mm à Dori le 30 septembre), mais aussi détruire les maigres ressources et les habitations (cas de la ville d'Atar en Mauritanie) et créer des pointes de crues brèves et violentes (pointe d'un mètre sur l'hydrogramme du Niger à Niamey après une pluie de plus de 200 mm à Tillabery). Au sud des pays sahéliens, la sécheresse se fait sentir de façon diverse, elle régresse sur les pays côtiers du golfe de Guinée comme la Côte d'Ivoire, s'accroît au Cameroun (468 mm à Garoua contre 632 mm l'année précédente, le record de l'année 1950 est battu) et est remplacée au Gabon par des excédents pluviométriques remarquables (à titre d'exemple, la station de Libreville-aviation reçoit entre le 1^{er} juin et le 30 septembre, 50 mm en 1983 et 1 265 mm en 1984 !).

2.4. « NORMALES » ET MOYENNES SUR 10 ANS

Sans vouloir dresser ici le bilan pluviométrique de la période 1968 à 1984, on peut à travers l'exemple de quelques stations esquisser l'évolution des normales trentenaires ou des moyennes décennales (ALBERGEL *et al.*, 1984 ; PUECH, 1983).

Si l'on reprend en l'actualisant l'exemple fourni par OLIVRY de la pluviométrie de plusieurs stations placées le long du fleuve Sénégal, on a bien la confirmation que la basse vallée du Sénégal qui reçoit en année normale (base 31 à 60) 300 à 400 mm de pluie ne reçoit plus en moyenne, depuis 17 ans, que 200 à 300 mm seulement. Si l'on adopte la normale 51 à 80, forcément nettement plus faible, le déficit oscille toujours autour de 30 % ; à Kayes, station plus arrosée, le déficit est encore de 20 % (cf. tableau I).

En règle générale, les isohyètes 300, 400, 500 mm (à titre d'exemple) se trouvent déplacées en moyenne de 100 à 200 km vers le sud au cours de la sécheresse actuelle et ce phénomène est valable pour toute la bande sahélienne (DOSSEUR et TOUCHEBŒUF, 1984 ; PUECH, 1983). Une telle constatation permet ainsi aux médias d'annoncer que le désert avance de 10 km ou plus vers le sud par an.

TABLEAU I
(Valeurs en mm)

STATION	SAINT-LOUIS	PODOR	MATAM	KAYES
1) Normale 31-60	347	336	537	787
2) Normale 51-80	294	280	455	719
3) Normale 68-84	225	192	301	591
Ecart (%) à 1	- 35	- 43	- 44	- 25
à 2	- 23	- 31	- 34	- 18

Cette image est frappante mais doit être nuancée, car dans ces zones, l'irrégularité spatio-temporelle est énorme et permet ainsi à des « îlots de résistance » de subsister. D'autre part, la fluctuation des isohyètes s'effectue à l'échelle d'une vie humaine largement dans les deux sens.

On note ainsi que les isohyètes correspondant à la décennie 1951-1960 occupent les positions les plus septentrionales connues (depuis l'installation d'un réseau pluviométrique de base au début des années 20) et représentent souvent une remontée vers le nord de 100 km par rapport à la décennie 1941-1950.

TABLEAU II
Pluviométrie annuelle par périodes en mm

STATION	PAYS	NORMALE 31-60	NORMALE 51-80	DEC 51-60	DEC 61-70	DEC 71-80	MINIMUM ET SON ANNEE
AKJOUJT	Mauritanie	111	88	123	98	42	13 (59)
AGADES	Niger	182	147	198	136	106	4 (84)
BOUTILIMIT	Mauritanie	202	171	227	174	111	30 (84)
GAO	Mali	265	240	305	216	197	60 (31)
NEMA	Mauritanie	313	294	375	266	241	43 (83)
ABECHE	Tchad	(508)	(427)	520	421	(340)	188 (73)
MOPTI	Mali	(554)	541	633	537	453	324 (82)
DORI	Burkina	(554)	550	612	592	446	244 (26)
OUAHIGOUYA	Burkina	718	672	749	699	568	358 (83)
SEGOU	Mali	722	709	777	729	621	391 (82)

Le tableau II où l'on présente les résultats de stations allant de la Mauritanie au Tchad et comprises entre les isohyètes interannuelles 100 et 750 mm montre ainsi que la période 51-60 est partout supérieure à la normale 31-60. Dans ces conditions, les valeurs de la décennie 71-80 qui voient un effondrement sensible des moyennes rendent la « migration » des isohyètes décennales vers le sud d'autant plus spectaculaire. La décennie 1975-1984 donnerait des chiffres encore plus faibles ; nous ne les donnons pas dans le tableau II en raison des données incomplètes pour la Mauritanie et surtout le Tchad, mais nous verrons que dans le cas des stations de longue durée (cf. 2.5), cette décennie est souvent la plus rigoureuse (voir tableau III).

2.5. ÉPISODES PLUVIEUX LES PLUS SECS AUX STATIONS DE LONGUE DURÉE

Le tableau III donne pour 9 stations pluviométriques existant au moins depuis 1907 (mais avec quelques lacunes pour Kayes, Tombouctou, Zinder et N'Djamena) le record pluviométrique annuel absolu et la moyenne annuelle des épisodes secs les plus intenses sur 2, 5 et 10 ans consécutifs. Cette comparaison est grossière car elle s'appuie sur un trop petit nombre de postes et certains d'entre eux sont soit peu représentatifs de la zone sahéenne (comme Saint-Louis) ou ont connu des déplacements de site fréquents (Dakar). Ces réserves étant faites, on constate que :

- A l'échelle de l'année la plus faible ou de 2 années consécutives, la sécheresse de 1913 l'emporte à Ouagadougou, Niamey et Zinder ; à Kayes, la période 1898-1899 a été la pire de toute la période d'observation ; à Saint-Louis, Dakar, Segou, Tombouctou et N'Djamena, les records absolus s'observent ces dernières années.

- A l'échelle de 5 années consécutives, Ouagadougou, Niamey et Zinder sont encore les plus déficitaires durant les années « 1913 » (mais de peu pour le poste de Niamey) ; pour les autres, c'est soit la période 1970-1974, soit la période 1980-1984 qui l'emporte.

- A l'échelle de 10 années consécutives, c'est la période 1975-1984 qui est la plus sévère (pas d'observations à N'Djamena de 1979 à 1981) sauf pour Ouagadougou et Niamey, mais ces deux capitales semblent avoir été relativement épargnées par la sécheresse actuelle en particulier Ouagadougou.

Cette présentation est très schématique ; mais c'est la seule permettant de prendre en compte les données des années « 13 », disponibles à une quinzaine de postes seulement pour toute la zone sahéenne francophone, puisque le réseau pluviométrique de base de l'Afrique occidentale ne date que des années 1921-1922.

TABEAU III
Épisodes pluvieux les plus secs (moyenne annuelle en mm)

STATION	TOTAL ANNUUEL MEDIAN	MOYENNE ANNUELLE LA PLUS FAIBLE SUR			
		1 AN	2 ANS	5 ANS	10 ANS
SAINT-LOUIS	320	100 1983	101 83-84	206 80-84	215 75-84
DAKAR	500	117 1972	196 83-84	263 70-74	314 76-85
KAYES *	700	361 1898	414 98-99	518 79-83	596 74-83
SEGOU	680	391 1982	458 82-83	498 80-84	602 75-84 630 40-49
TOMBOUCTOU *	200	73 1983	93 82-83	137 70-74	146 65-74
OUAGADOUGOU	800	408 1913	505 12-13	580 10-14	669 7-16 722 75-84
NIAMEY	560	281 1915	319 14-15	383 12-16 409 80-84	(443) 10-19
ZINDER *	480	215 1912	222 12-13	305 11-15	391 65-74 409 75-84
NDJAMENA *	590	293 1984	338 83-84	487 70-74	525 65-74

* Données incomplètes

Toutefois, les données pluviométriques disponibles dans les pays anglophones (nord de la Nigeria notamment) et les informations socio-économiques des années « 13 » montrent que la première grande sécheresse du siècle présente de fortes analogies avec la sécheresse actuelle : sévérité et extension remarquables jusqu'aux zones subéquatoriales, mais celle-ci n'a toutefois pas connu la persistance constatée actuellement. La sécheresse des années « 40 » a un caractère assez différent puisqu'elle présente entre 1940 et 1949 des années déficitaires par « paquets » n'affectant pas simultanément tout le Sahel. On note cependant une persistance prononcée de 1940 à 1944 sur les bassins amont des fleuves Sénégal et Niger.

3. LES DONNÉES SUR L'ÉCOULEMENT

3.1. LES COURS D'EAU SAHÉLIENS

Une connaissance précise de l'état des ressources en eau et de leur variabilité à partir des cours d'eau endogènes est difficile pour de nombreuses raisons :

- Les stations sont très peu nombreuses, les observations ne commençant dans le meilleur des cas que vers 1954-1955 ; les écoulements ne sont approximativement connus de 1968 à 1978 que du nord-est du Burkina Faso au Tchad. Après cette date, l'information s'étend à la Mauritanie (mais pas au Mali) et disparaît au Tchad.
- Ces stations contrôlent des bassins de superficie très variable où la dégradation hydrographique est présente ; ce qui veut dire que le module annuel n'est pas proportionnel à la superficie du bassin versant.
- L'écoulement est très intermittent ; il présente un caractère exceptionnel en zone désertique où n'existent d'ailleurs pas de stations de mesure, se produit sous forme de quelques crues espacées en zone subdésertique et ne prend un caractère continu de plusieurs mois que lorsque les pluies dépassent 300 mm par an. La répartition spatio-temporelle des pluies joue un grand rôle et la contribution au ruissellement peut venir d'une faible partie imperméable du bassin. La crue maximale n'est donc là non plus pas proportionnelle à la taille du bassin.
- L'irrégularité interannuelle est énorme, la liaison avec l'abondance pluviométrique annuelle très variable.
- La qualité des observations est très inégale (difficultés d'accès, de mesure, de suivi en cours d'hivernage) et les débits observés sont de plus en plus rarement naturels (prélèvement ou stockage d'eau en amont).

Pour ces raisons, les valeurs fournies par les quelques stations en activité ne sont pas très représentatives et peuvent difficilement caractériser une sécheresse puisqu'il suffit parfois d'un épisode pluvieux isolé pour donner lieu à un écoulement local notable (ex. : Lac de Bam en 1974 et Mare d'Oursi en 1984, au Burkina Faso).

Il semble qu'à part le Tchad où les années 1972 et 1977 ont été particulièrement sévères (le Batha à Ati qui contrôle un bassin de plus de 4 500 km² et présente un module moyen de 20 m³/s n'a pratiquement pas coulé en 1977) l'hydraulicité la plus faible s'observe en 1968 puis en 1983 et 1984 en particulier au Burkina Faso et au Niger. Dans ce dernier pays, les mesures faites dans l'Aïr depuis 1975 indiquent que 1984 est tout à fait

exceptionnel : le bassin du Kori Telona à Azel, d'une superficie de 1 300 km², ne présente qu'une seule crue généralisée le 29 septembre. Le volume écoulé (1,3.10⁶ m³) correspond seulement à 10 % de la médiane 1975-1984 ; d'après les observations qualitatives faites par les religieuses d'Azel depuis 1956, il est vraisemblable de penser qu'il s'agit là du plus faible écoulement de ces trente dernières années. Bien que l'on n'ait aucune mesure pour les cours sahéliens du Tchad en 1984, il semblerait que le Batha à Ati n'ait pas coulé (lac Fitri asséché).

Mais, pour les raisons évoquées précédemment, de fortes crues peuvent se produire localement même pendant les années très déficitaires ; c'est le cas du Gorouol à Dolbel en 1982 dont le maximum de crue a atteint 186 m³/s contre seulement 59 m³/s en 1968 et 1972 (années présentant le plus faible module annuel). Les écarts d'hydraulicité sont parfois énormes d'une année à l'autre, c'est ainsi que le Kori de Badeguichéri au Niger voit son hydraulicité passer de 0,50 en 1973 à 3,80 en 1974 (module annuel 1,34 m³/s correspondant à l'hydraulicité 1).

3.2. FLEUVES TROPICAUX PARVENANT AU SAHEL

La faible représentativité de l'information fournie par les cours d'eau sahéliens fait que la sécheresse hydrologique est beaucoup mieux appréciée par les grands fleuves tropicaux représentés par le Sénégal, le Niger, le Bani et l'ensemble Logone-Chari qui proviennent pourtant de régions méridionales plus arrosées que le Sahel. La diminution de leurs apports montre cependant que la sécheresse déborde largement la zone sahélienne proprement dite. La longueur de la période d'observation permet en outre, pour les deux premiers fleuves cités, d'apprécier l'importance des trois périodes de sécheresse survenues depuis le début du siècle. Nous verrons que toutes les variables hydrologiques caractéristiques du régime de ces fleuves indiquent que la sécheresse actuelle est la plus rigoureuse.

3.2.1. Abondance annuelle

L'addition des apports annuels parvenant au Sahel donne, pour la période d'observation commune à tous ces fleuves (avec quelques lacunes pour le Bani) une valeur moyenne d'environ 121 milliards de m³.

On constate depuis 1968 inclus, que le total des apports de ces fleuves à la zone sahélienne est systématiquement déficitaire chaque année sauf pour l'année 1969 qui a présenté une hydraulicité de 1,07 pour le Sénégal, 1,43 pour le Niger et 1,01 pour le Bani.

Les années 1974 et 1975 présentent des déficits relativement modérés grâce à l'hydraulicité 1,07 du Sénégal en 1974 et l'hydraulicité 1,05 du Niger en 75.

Pour la période 1968 à 1984 inclus, le déficit annuel moyen est de 30 milliards de m³ soit 25 % environ.

TABLEAU IV
Variations des apports des grands fleuves tropicaux au Sahel en 10⁹ m³

SECHERESSES ACTUELLES							
Année	Sénégal à Bakel (1)	Niger à Koulikoro (2)	Total 1 + 2	Rang	Bani à Douna (3)	Chari à Ndjamena (4)	Total général (1 à 4)
1968	13,4	45,4	58,8		14,5	32,2	105,5
1972	8,0	35,6	43,6	10	5,4	16,9	65,9
1973	11,2	29,3	40,5	7	5,0	18,0	63,5
1977	10,2	26,5	36,7	4	5,0	25,6	67,3
1982	9,7	28,4	38,1	5	5,3	(21,4)	64,8
1983	7,0	28,1	35,1	3	2,6	16,5	54,2
1984	6,9	20,1	27,0	1	2,2	6,3	35,5
MOY. INT.	22,4	46,4	68,8		16,5	36,0	121,3
SECHERESSES PASSES							
1913	8,5	25,5	34,0	2	-	-	-
1914	14,0	29,0	43,0	9	-	-	-
1921	13,6	31,9	45,4	12	-	-	-
1942	13,8	31,2	45,0	11	-	32,5	-
1944	10,4	31,2	41,6	8	-	31,2	-

Le tableau IV regroupe les valeurs des années les plus intéressantes : on peut ainsi remarquer que pour 1972 et 1973 le déficit annuel total passe à près de 60 milliards de m^3 (50 %), ces chiffres se retrouvent en 1977 et 1982 puis en 1983 et 1984 l'aggravation est considérable (67 puis $85.10^9 m^3$, soit 70 % de déficit). Cela confirme bien que ces deux dernières années ont été nettement plus sévères sur le plan des apports que 1972 et 1973.

L'examen des apports survenus au cours des sécheresses passées montre en plus que si l'on additionne les volumes écoulés du Sénégal et du Niger, l'année 1913 vient en second rang après 1984 et que 1914 est comparable à 1972.

Si l'on s'intéresse maintenant non plus au total des volumes écoulés annuels mais au débit moyen annuel de chaque cours d'eau, on aboutit à des constatations similaires (ce qui va de soi).

Le tableau V regroupe ainsi les débits moyens annuels les plus représentatifs des périodes de sécheresse observées pour le Sénégal à Bakel, le Niger à Koulikoro et le Chari à N'Djamena. On constate que les valeurs de 1984 correspondent aux chiffres les plus faibles des périodes d'observation. Le module 1913 vient ainsi en 4^e position pour le Sénégal et en 2^e position pour le Niger (qui avait connu en 1972-1973 un déficit moins accentué que pour le Sénégal).

TABLEAU V

STATION ET PERIODE D'OBSERVATION	DEBIT MOYEN ANNUEL m^3/s	RANG	DEBIT MAXIMAL ANNUEL m^3/s	RANG
SENEGAL à BAKEL 1903-1984 (82 ans)	(moyenne = 710)		(moyenne = 4460)	
	1913 = 270	4	1913 = 1040	2
	1914 = 444	17	1914 = 1880	7
	1944 = 330	8	1944 = 1740	5
	1972 = 263	3	1972 = 1430	4
	1983 = 223	2	1983 = 1220	3
NIGER à KOULIKORO 1907-1984 (78 ans)	1984 = 219	1	1984 = 917	1
	(moyenne = 1470)		(moyenne = 5980)	
	1913 = 810	2	1913 = 3580	2
	1914 = 920	7	1914 = 4400	10
	1942 = 990	9	1940 = 3940	6
	1944 = 990	9	1942 = 4920	14
CHARI à NDJAMENA 1932-1984 (51 ans)	1972 = 1130	15	1972 = 3830	5
	1973 = 930	8	1983 = 3600	3
	1984 = 636	1	1984 = 2700	1
	(moyenne = 1140)		(moyenne = 3540)	
	1940 = 805	(9)	1940 = 2260	(7)
	1941 = 739	(7)	1941 = 2190	(6)
	1972 = 537	3	1972 = 1430	2
	1983 = 523	2	1983 = 1950	4
	1984 = 200	1	1984 = 785	1

L'effondrement du module du Chari à N'Djamena est très impressionnant en 1984, le déficit atteignant 82 % de la moyenne interannuelle. Mais la « palme » en ce domaine appartient au fleuve Bani qui est le principal affluent rive droite du Niger avant la cuvette lacustre : alors que son module annuel moyen établi sur 27 ans était de $727 m^3/s$ à la fin 1967, plus aucun de ses modules n'a depuis lors dépassé $550 m^3/s$. Pour la période 1968 à 1984, la moyenne tombe à $270 m^3/s$ et le déficit annuel dépasse 90 % en 1984 (module de $70 m^3/s$ environ) après une année 1983 tout aussi catastrophique.

La prise en compte de l'écoulement sur plusieurs années consécutives (tableau VI) est intéressante ; si l'on considère les 4 modules moyens les plus faibles, on voit que :

– A l'échelle de 3 ans consécutifs, la période 1982-1984 est la plus sévère ; les autres périodes ont des valeurs voisines mais la période 1912-1914 vient en 2^e rang à Koulikoro et au 4^e rang à Bakel ; pour les 2 fleuves, les années 1940 viennent en 3^e position.

– A l'échelle de 5 ans consécutifs, la période 1980-1984 est là aussi de très loin la plus rigoureuse, les autres périodes classées ont également des valeurs proches mais le module de la période 1940-1944 vient en seconde position et les débits 1970-1974 sont voisins de ceux des années « 13 ».

TABLEAU VI

SENEGAL à BAKEL (moyenne = 710)			
3 ANS CONSECUTIFS		5 ANS CONSECUTIFS	
MODULE	PERIODE	MODULE	PERIODE
250	82-84	314	80-84
401	71-73	455	40-44
427	40-42	476	70-74
435	12-14	486	10-14
NIGER à KOULIKORO (moyenne = 1470)			
3 ANS CONSECUTIFS		5 ANS CONSECUTIFS	
MODULE	PERIODE	MODULE	PERIODE
809	82-84	882	80-84
1010	12-14	1120	40-44
1060	42-44	1150	11-15
1120	71-73	1150	70-74

3.2.2. Les crues

En année normale les fleuves débordent largement de leur lit mineur et vont permettre, par irrigation ou submersion, le développement de vastes zones cultivées dans la basse vallée du Sénégal, le delta intérieur du Niger et les vastes plaines d'inondation du Logone-Chari ; lors des périodes de sécheresse, la pointe annuelle de crue est souvent remplacée par plusieurs maximums peu marqués et de faible durée ayant un effet très médiocre sur les cultures. Depuis 1972 où les surfaces pouvant être irriguées s'étaient réduites de façon dramatique, la situation n'est jamais revenue à la normale et s'est à nouveau aggravée sensiblement depuis 1982.

Dans la basse vallée du Sénégal (Walos) où la production agricole est directement fonction de la superficie de terres pouvant être submergées, la situation a depuis longtemps dépassé le seuil critique. En année médiane, le maximum de crue peut atteindre une cote de 11 m et dépasser la cote 5 m à l'échelle pendant trois mois consécutifs (débit de crue médian de 4 300 m³/s). En 1984, la cote maximale n'a pas dépassé 4,34 m (917 m³/s) ; la situation est pire qu'en 1972 (1 430 m³/s) et le minimum absolu de débit maximum de 1913 (1 040 m³/s) est battu.

Sur le bassin du Niger, la situation actuelle est également la pire depuis le début des observations en 1907. En amont de la cuvette lacustre, à Koulikoro, la crue annuelle médiane est voisine de 6 000 m³/s. Le minimum absolu (crue de 1913 avec 3 580 m³/s) avait déjà été approché en 1972 (3 840 m³/s), il l'a été de nouveau en 1982 (3 720 m³/s) puis 1983 (3 600 m³/s) avant d'être absolument « pulvérisé » avec une pointe de crue (débit naturel reconstitué compte tenu du barrage de Sélingué) de 2 700 m³/s seulement le 18 août 1984. Ces trois dernières années sont absolument catastrophiques car le remplissage des lacs de la cuvette et le fonctionnement des effluents est de plus en plus aléatoire. En 1984, le Niger n'est pas sorti de son lit mineur et les seuils qui contrôlent l'alimentation des principaux lacs n'ont pas été atteints. On notera ainsi l'assèchement total du lac Fabiguine ; ce phénomène ne s'était pas observé depuis 1942 (contrairement à certaines affirmations, le lac ne s'est pas asséché après le paroxysme 1972-1973).

A Niamey, loin en aval de la sortie de la cuvette lacustre, l'onde de crue du Niger arrive déformée avec un maximum se produisant en année moyenne à la mi-février. Ces dernières années, la pointe de crue est de plus en plus précoce (fin novembre – début décembre) et de plus en plus faible (record absolu en 1984). La décrue étant très rapide, la période de très basses eaux passe ainsi de plusieurs semaines à plusieurs mois rendant d'autant plus aléatoires tous les périmètres irrigués mis en place récemment et l'alimentation en eau de la ville de Niamey comme on le verra plus loin.

Sur le bassin du lac Tchad, la situation actuelle est moins bien connue mais les informations fournies par la Direction de l'Hydraulique sont éloquentes, ainsi la crue du Chari à N'Djamena n'a pas dépassé 785 m³/s fin septembre 1984, ce qui constitue de très loin le record, le précédent étant celui de l'année 1972 avec 1 430 m³/s.

3.2.3. Les étiages

La persistance de la sécheresse depuis près de vingt ans entraîne un appauvrissement catastrophique des nappes souterraines alimentant les cours d'eau en période de tarissement. La sévérité accrue des déficits pluviométriques depuis 1982 a entraîné une situation à la mi-1984 analogue à celle observée déjà à la mi-1974 : le Sénégal à Bakel qui s'était totalement arrêté de couler en juin 1974, s'est à nouveau complètement tari fin mai 1984 et fin mai 1985 après avoir connu des étiages quasi nuls en juin 1982 et juin 1983.

Des observations de basses eaux n'étant effectuées que depuis le début des années 1950, on ne connaît pas les étiages atteints au début du siècle. Il ne semble toutefois pas que le fleuve se soit arrêté de couler à Bakel lors des années « 13 » alors que ce phénomène tend maintenant à se répéter chaque année !

Sur le haut du bassin du fleuve Niger, la situation est également très critique : le Baoulé à Pankourou s'arrête à nouveau de couler comme en 1974, et des rivières réputées pérennes connaissent le même phénomène, c'est ainsi le cas du Bani à Douna dont les débits seront inférieurs à 20 l/s (ou même nuls) pendant tout le mois de mai 1984. En 1985, les étiages s'accroissent encore, le débit s'annulant de début mai à la mi-juin.

Plus en aval, après la confluence avec le Sankarani, les débits sont influencés par la présence du barrage de Sélingué qui fournit des lâchures en saison sèche de l'ordre de 100 m³/s. Ainsi, les étiages à Koulikoro ne sont plus significatifs mais l'influence de ces lâchures décroît très vite. A Niamey, le débit du fleuve qui s'était abaissé à 0,5 m³/s en 1974 aurait dû complètement s'assécher en juin-juillet 1984 si une remontée précoce (et fugitive) des affluents amonts de rive droite ne s'était manifestée.

La saison des pluies 1984 ayant été encore plus médiocre, dès la fin novembre 1984, les hydrologues de Niamey annoncèrent un arrêt certain de l'écoulement en mai-juin 1985 en l'absence de pluies précoces. La qualité de la prévision étant malheureusement en passe de se confirmer, amena les autorités à construire sur le fleuve, un barrage provisoire à Niamey début mai afin de se constituer une réserve de plusieurs millions de m³ permettant d'attendre la remontée des eaux au mois de juillet. Cette précaution a permis d'éviter à la population (400 000 habitants) de manquer d'eau puisque le fleuve s'est effectivement arrêté de couler à plusieurs reprises au cours du mois de juin 1985, événement jusqu'alors inconnu au cours de la période historique (se reporter à l'article de M. Billon).

Sur le fleuve Chari, les étiages de 1985 sont également exceptionnels et les plus bas observés. Sur la période 1938-1967, l'étiage médian est de 125 m³/s. En avril 1974, on avait déjà jaugé 38,6 m³/s, les mesures récentes donnent 25,5 m³/s en mai 1983 et seulement 7,3 m³/s le 9 avril 1985 ! Vu la faiblesse des étiages, le trafic par bac traditionnel a dû même être interrompu avec Kousséri, sur l'autre rive.

3.3. EXEMPLES DE COURS D'EAU NE PARVENANT PAS AU SAHEL

La sécheresse des années 1972 et 1973 avait fait sentir des effets jusqu'au golfe de Guinée et au bassin du Congo (Sircoulon, 1976) ; le second paroxysme 1982 à 1984 présente la même extension sur les pays africains francophones et a souvent une sévérité supérieure. En attendant l'établissement d'un bilan hydropluviométrique général de l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, au sens régional, on peut donner sommairement quelques chiffres assez éloquentes à partir de quelques cours d'eau tropicaux ou équatoriaux.

– Dans le cas de la Côte d'Ivoire, qui a connu en 1982 et 1983 une situation hydro-électrique catastrophique due au mauvais remplissage des retenues de Kossou et d'Ayamé, les déficits d'écoulement du Sassandra, du Bandama et de la Comoe sont supérieurs à ceux observés en 1972 ou 1973, et la sécheresse 1958 ne l'emporte plus en rigueur que sur le bassin du Bandama, les pluies très déficitaires sur le nord du pays en 1981 et 1982 provoquant des écoulements très médiocres. Si l'on prend le cas du N'Zi à Zienoa, suivi depuis 1953, le module 58 s'élève à 17,0 m³/s (moyenne interannuelle de 78,5 m³/s) ; celui de 1972 égale 43,4 m³/s ; celui de 1982 tombe à 21,9 m³/s (2^e rang). Au niveau des crues annuelles, le maximum de 1981 est plutôt plus faible que celui de 1958 (149 contre 150 m³/s).

– Dans le cas du Togo et du Bénin, les dernières années sont sensiblement plus sévères que 1972 et 1973. Nous prendrons deux exemples :

- d'abord le Mono à Tétetou suivi depuis 1955 ; son « module 58 », le plus faible de la série, est de 4,21 m³/s, le module 1982 est de 21,8 m³/s alors qu'en 1972 le débit moyen était de 28,7 m³/s ;

- ensuite l'Ouémé au pont de Savé suivi depuis 1951 : le « module 58 » est de 3,26 m³/s (moyenne interannuelle de 118 m³/s), le débit moyen annuel de 1972 est de 19,7 m³/s et celui de 1983 de 6,62 m³/s seulement. On voit donc que si l'année 1958 reste l'année des records absolus au Togo-Bénin, les valeurs de 1982 ou 1983 s'en rapprochent en particulier au Bénin.

– Au Cameroun, le Sanaga à Edea qui est contrôlée depuis 1944 présentait en 1972 le plus faible module de la série d'observations avec 1 440 m³/s mais en 1983, le débit moyen annuel a chuté de 1 020 m³/s (plus faible valeur relevée en 40 ans, soit un déficit de 48 % par rapport à la moyenne interannuelle de 1 950 m³/s).

– En Centrafrique, la sécheresse s'était fait sentir de façon très nette pendant trois ans de 1971 à 1973 et les cours d'eau alimentant le bassin tchadien ou drainés par l'Oubangui offraient des déficits considérables. Le réseau hydrologique de Centrafrique étant en cours de réorganisation, on ne connaît les débits de 1982 à 1984 qu'à la seule station de l'Oubangui à Bangui qui contrôle un bassin de 500 000 km². Cette station est la plus ancienne de ce pays puisque installée en 1911, mais il n'existe malheureusement pratiquement aucune donnée suivie jusqu'en 1935. La cinquantaine d'années d'observations utilisables montre néanmoins que les deux paroxysmes de la sécheresse actuelle se répercutent bien sur les écoulements et que la période 1982 à 1984 est la pire connue.

- en 1972-1973 :
 - le module annuel de 1973 s'abaisse à 2 710 m³/s (ce qui est alors le record) ;
 - le maximum de crue du 6/11/73 est de 7 030 m³/s (record) ;
 - l'étiage du 5/4/74 est de 445 m³/s (contre 440 m³/s le 3/5/45).
 - en 1982-1984 :
 - le module 1983 atteint seulement 2 340 m³/s,
 - le module 1984 ne dépasse pas 2 140 m³/s (record absolu, déficit de 50 %),
 - le maximum de crue du 26/10/83 est de 6 670 m³/s,
 - celui du 20/10/84 ne dépasse pas 5 670 m³/s (record absolu pour une crue médiane supérieure à 10 000 m³/s),
 - l'étiage du 21/3/85 est évalué à 315 m³/s seulement. Il s'agit là aussi de la plus faible valeur connue ; ce chiffre représente une bonne approximation puisque l'étalonnage de très basses eaux a pu être précisé grâce à une mission spéciale à Bangui de M. THIEBAUX fin mars 85.
- Au Congo-Brazzaville et au Zaïre, les stations de Kinshasa et de Brazzaville Beach permettent la constitution d'une série complète d'observations du fleuve Congo (qui draine plus de 3 500 000 km²) depuis 1902, ce qui représente la plus longue série de cette région d'Afrique. Sur ce grand fleuve dont les années les plus sèches sont 1913 et 1958 pour les modules annuels et les crues, la période 1972-73 s'inscrit de façon nette mais modérée (le module de 1972-73 vient au 14^e rang des modules classés avec 37 800 m³/s contre 41 000 m³/s en année moyenne), les déficits de la période 1982 à 1984 sont beaucoup plus marqués, c'est ainsi que :
- le module 83-84 est de 34 300 m³/s seulement, ce qui le place au 4^e rang après celui de 1913-14 (33 500 m³/s) ; celui de 1958-59 (33 800 m³/s) et celui de 1918-19 (34 100 m³/s) ;
 - la crue annuelle de 84-85 culmine à 45 500 m³/s le 10/12/84, ce qui la place au 3^e rang après celle de 1958 (45 000 m³/s) et celle de 1913 (45 200 m³/s) ;
 - l'étiage du 3/8/83 et 23 200 m³/s, ce qui le place après ceux de 1905 (21 400 m³/s), 1907 et 1919, soit au 4^e rang ; il est plus rigoureux que celui de l'année 1958 (24 000 m³/s).

3.4. ÉVOLUTION DU LAC TCHAD

L'évolution du lac Tchad au cours des années 72 à 74 a fait l'objet de nombreuses notes de la part de M. CHOURET. On sait que ce lac, dont l'importance est vitale pour la région (irrigation, pêche, agriculture, communication) et qui reflète fidèlement les variations d'apports du fleuve Chari (82 % des apports totaux au lac), connaît une baisse de son plan d'eau depuis 1965.

En janvier 1963, à ses plus hauts niveaux de la période d'observation et en prenant comme référence la station de Bol suivie depuis 1956, on évaluait la surface du lac à 23 500 km² (soit à un niveau proche du stade « Grand Tchad du Général TILHO) et le volume des eaux stockées à 105 milliards de m³ pour une cote moyenne un peu supérieure à 283 m.

Après les apports du Chari en 1967, qui donnaient une hydraullicité légèrement supérieure à 1, la baisse du plan d'eau s'amplifie répercutant les déficits annuels des apports qui s'élèveront jusqu'à 20 milliards de m³ en 1972 et 1973 (cf. tableau IV).

En avril-mai 1973, le lac se scinde en deux cuvettes avec exondation de la Grande Barrière. On estimait en juillet 73 que la surface du lac était tombée à 9 000 km² pour un volume stocké d'environ trente milliards de m³. A partir de cette date, l'alimentation souvent très insuffisante de la cuvette sud entraînant le passage de faibles quantités de liquide à travers la Grande Barrière, provoque l'assèchement total de la cuvette nord chaque année ; ce phénomène se produisant pour la première fois en novembre 1975.

En 1983 et 1984, les apports du Chari sont si faibles (30 milliards de m³ de déficit en 84 !) que la cuvette sud est très peu alimentée et la cuvette nord pas du tout. L'extrême déficit de l'année 1984 conduit ainsi à un assèchement presque total du lac Tchad (CHOURET, 1985), réduit en mai-juin 1985 à une seule poche d'eau de 2 000 km² environ en face du delta du Chari. Durant toute l'année 1984, la région de l'archipel de Bol serait restée totalement à sec, ce qui n'avait jamais encore été observé.

A partir de juillet 85, la crue du Chari fait à nouveau sentir ses effets, les apports 85 seront suffisamment abondants (hydraulicité voisine de l'unité ?) pour permettre la remise en eau presque normale (?) de la cuvette sud et une certaine réalimentation de la cuvette nord (d'après les données satellitaires).

4. CONCLUSION

Après la période 1972-73 qui marquait le premier paroxysme de la sécheresse actuelle, on estimait que la sécheresse des années « 13 » restait la plus rigoureuse des trois périodes déficitaires observées depuis le début du siècle en Afrique de l'Ouest. Après le second paroxysme de 1982 à 1984 qui possède un caractère déficitaire encore plus accentué, le doute n'est plus permis : la dernière sécheresse (exprimée de façon globale à partir des pluies et de l'écoulement) l'emporte largement sur les autres par son caractère de persistance et sa sévérité, que ce soit au niveau des précipitations (minimums absolus observés et importance des déficits) comme au niveau de l'écoulement (volume écoulé annuel, crues maximales et étiages). Elle égale en extension celle des années « 13 » en provoquant sur le bassin du Congo des écoulements presque aussi faibles et conduit quasiment en mars-avril 85 à l'assèchement du lac Tchad.

La bonne année agricole 1985 au Sahel suscite bien des espoirs, mais les pluies ont été bien réparties sans être vraiment abondantes. Assiste-t-on seulement à une pause dans la désertisation irréversible du Sahel comme l'estiment certains paléoclimatologues ou au contraire à l'amorce d'un retour à des conditions climatiques « normales » dans les années à venir ?

Si l'état de nos connaissances ne permet toujours pas de trancher, il existe toutefois un motif d'optimisme : l'exemple de l'année 1985 montre que les phénomènes de rétroaction (« feedback ») peuvent être contrariés.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction
le 26-12-1985

BIBLIOGRAPHIE

1. ALBERCEL (J.), CARBONNEL (J.P.), GROUZIS (M.), 1984. - Pluies. Eaux de surface. productions végétales, Haute-Volta (1920-1983). ORSTOM-Ouagadougou, B.P. 182, DGRST-Ouagadougou, B.P. 7047, 64 p., 16 fig.
2. Annuaire hydrologique de la république du Tchad, années 1979-1982. Direction des ressources en eau et de la Météorologie, Service Hydrologique, Ndjamena, octobre 1984.
- 3a. Annuaire hydrologiques du Mali, Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Énergie, Bamako.
- 3b. Annuaire hydrologiques du Burkina-Faso, Direction Générale de l'Hydraulique et de l'Équipement rural, Ouagadougou.
4. BILLON (B.), 1985. - le Niger à Niamey. Décrue et étiage 1985. In : *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XXI, n° 4, 1984-85.
5. Bulletins agrométéorologiques décennaires régionaux pour les pays du C.I.L.S.S. CILSS/PNUD/OMM, programme ACRHYMET, Niamey.
6. CHOURET (A.), 1982. - La crue 1982 du Niger au Mali. Comparaison avec les périodes de sécheresse passées. ORSTOM-Bamako, Direction de l'Hydraulique et de l'Énergie, 37 p., dont 13 gr.
7. CHOURET (A.), 1983. - La crue 1982 sur le Haut-bassin du Sénégal au Mali. Comparaison avec les périodes de sécheresse passées. ORSTOM-Bamako, Direction de l'Hydraulique et de l'Énergie, 51 p., 19 gr.
8. CHOURET (A.), 1984. - La crue 1984 au Mali. Premières observations. Direction de l'Hydraulique et de l'Énergie, Bamako, Novembre 84, 21 p., 3 gr.
9. CHOURET (A.), 1985. - Compte rendu de mission à N'Djamena du 18 au 28 juillet 1985. Bamako, Août 85.
10. DOSSEUR (H.), TOUCHEBOEUF (P.), 1984. - Hydrologie, Hydraulicité et Climatologie. Tentative d'explication de l'insuffisance des précipitations en Afrique et dans d'autres régions du monde en 1983. E.D.F. - International, Congrès UPDEA, Lomé 4-8 juin 1984.
11. OLIVRY (J.C.), 1983. - Le point en 1982 sur la sécheresse en Séné-Gambie et aux Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XX, n° 1 : 47-69.
12. PUECH (C.), 1983. - Persistance de la sécheresse au Sahel. Conséquence sur les normes hydrologiques et pluviométriques. C.I.E.H., série Hydrologie, 24 p. 12 fig.
13. SIRCOULON (J.), 1976. - Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses « 1913 et 1940 ». In : *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.* Numéro spécial Sécheresse, vol. XIII, n° 2 : 75 à 174.
14. SIRCOULON (J.), 1983. - Retour de la sécheresse ou déficit persistant ? In : *Actuel Développement*, n° 56-57 : 54 à 58.
15. SIRCOULON (J.), 1984. - Quinze années de sécheresse au Sahel. Impact sur les ressources et moyens de lutte. In : *Proceedings of the 5th International Conference on water resources and management « Water in the Year 2000 »*, Athènes, 1^{er} au 4 octobre : 5.3 à 5.15.
16. SIRCOULON (J.), 1984. - La diminution des ressources en eau de surface au Sahel depuis 1968. In : *Colloque OMM sur le X^e anniversaire de l'expérience ETGA*, Dakar, décembre 1984.
17. SIRCOULON (J.), 1986. - Bilan hydropluviométrique de la sécheresse 1968-84 au Sahel et comparaisons avec les sécheresses des années 1910 à 1916 et 1940 à 1949. In : *Colloque Nordeste Sahel*, Institut des Hautes Études de l'Amérique latine, Paris - 16 au 18 janvier 1986.
18. THIEBAUX (J.P.), 1985. - Rapport de mission en Centrafrique du 27/03/85 au 05/04/85. ORSTOM, Brazzaville, Avril 85.

Principales publications hydrologiques de l'ORSTOM Année 1984

Études régionales

Hydrological main works of ORSTOM Year 1984

Regional studies

J. SIRCOULON (1)

ANTILLES

– HOEFFNER (M.), MORELL (M.), PETARD (J.) et CALVEZ (R.). – Étude de l'écosystème du Grand Cul-de-Sac Marin – Dynamique des eaux estuariennes de la Grande Rivière à Goyaves. Rapport intérimaire – Année 1983 (*Ecosystem study of Grand Cul-de-Sac Marin. Water estuarine dynamics of the Grande Rivière et Goyaves. Provisional report – Year 1983*). ORSTOM, Pointe-à-Pitre, février 1984, 5 p.

72291 – HOEFFNER (M.), MORELL (M.), CALVEZ (R.) et al. – Inventaire des ressources en eau de surface de la Basse-Terre. Mesure des étiages – Campagne 1983 (*Surface water resources inventory, Basse-Terre region – Low flow study. Season 1983*). ORSTOM, Pointe-à-Pitre, avril 1984, 11 p., 14 tabl., 7 fig.

– ROSSIGNOL (D.). – Variation diurne des précipitations en Guadeloupe (*Diurnal variation of rainfall in Guadeloupe*). ORSTOM, Pointe-à-Pitre, mai 1984, 14 p., 5 fig., 2 tabl.

– HOEFFNER (M.), MORELL (M.), PERRET (A.) et al. – Étude hydrologique des ressources en eau de surface de la côte sous le vent de la Basse-Terre – Années 1979 à 1982. Rapport de synthèse (*Surface water resources study of the leeward coast of Basse-Terre – Years 1979 to 1982. Synthesis report*). ORSTOM, Pointe-à-Pitre, mai 1984, 73 p., 32 fig., 90 tabl.

72292 – HOEFFNER (M.), MORELL (M.), POUMAROUX (A.) et al. – Le bassin versant de la ravine Gachet. Étude hydrologique – Année 1983 (*The ravine Gachet's basin. Hydrological study – Year 1983*). ORSTOM, Pointe-à-Pitre, juillet 1984, 13 p., 5 fig., 21 tabl.

– HOEFFNER (M.), MORELL (M.), CALVEZ (R.) et al. – Étude hydrologique de la retenue de Letaye-amont – Campagne 1982-1983 (*Hydrological study of the Letaye-amont dam – Season 1982-1983*). ORSTOM, Pointe-à-Pitre, octobre 1984, 21 p., 28 tabl., 4 fig.

– ROSSIGNOL (D.). – Méthode de dépouillement des jaugeages hydrologiques par tracé automatique des profils de vitesse (*Method of discharge measurement calculation by automatic plotting of speed profiles*). ORSTOM, Pointe-à-Pitre, octobre 1984, 40 p., 4 fig.

BÉNIN

– LE BARBE (L.), WOME (K.A.), BOREL (Y.). – Étude du ruissellement en zone urbaine à Cotonou. Recueil des données de base – Années 1978-1979 (*Runoff study in urban area of Cotonou city. Basic data book – Years 1978-1979*). ORSTOM, Lomé, 1984.

– GUALDE (R.). – Études hydrologiques menées en République Populaire du Bénin, dans le cadre du programme de lutte contre l'onchocercose. Rapport de campagne 1984 (*Hydrological studies undertaken in the People's Republic of Benin within the framework of the onchocerciasis control programme. Season report 1984*). ORSTOM, Lomé, février 1985.

BRÉSIL (BRAZIL)

– HIEZ (G.). – Vetur Regional – Informativo Técnico n° 3 (*Vecteur régional – Informations techniques n° 3*). DNAEE – CNPq – ORSTOM, DNAEE/DCRH, Brasília, 1984.

– HIEZ (G.), TELLES (C.). – Subsistema de modelos matemáticos. Módulo do Vetur Regional (*Sous-système de modèle mathématique – Module du vecteur régional*). DNAEE/DCRH – ORSTOM, Brasília, 1984.

72294 – JACCON (G.). – Curso sobre técnicas de medição de descarga líquida em grandes rios. Fichas técnicas (*Cours sur les techniques de mesure des débits liquides sur les grands fleuves – Fiches techniques*). DNAEE/DCRH, Brasília, juin 1984.

72295 – JACCON (G.), CUDO (K.J.). – Curso sobre técnicas de medição de descarga líquida em grandes rios – Avaliação (*Cours sur les techniques de mesures liquides des grands fleuves – Estimation*). DNAEE/DCRH, Brasília, août 1984.

(1) Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM, 70, route d'Aulnay, 93140 Bondy.

72293 – GIRARD (G.), CEOTTO (F.). – Relatório técnico. Aplicação do modelo SIMMQE a Bacia do Rio Doce (*Recueil technique. Application du modèle SIMMQE au bassin du rio Doce*). DNAEE/DCRH, Brasília, novembre 1984.

– CALLEDE (J.), LECY (J.). – Estação de recepção Argos – Manual de operação (*Station de réception Argos – Manuel opératoire*). DNAEE/DCRH, ORSTOM, Brasília, décembre 1984.

72275 – CADIER (E.). – Método de avaliação dos escoamentos nas pequenas bacias do semi-árido (*Méthode d'estimation des écoulements des petits bassins en zone semi-aride*). (Brasil – SUDENE, serie Hidrologia 21. SUDENE-DRN-ORSTOM, Recife, 1984, 75 p.

72276 – ASSUNÇÃO (M.S.), LEPRIN (J.C.), CADIER (E.). – Avaliação dos recursos hídricos das pequenas bacias do Nordeste semi-árido. Açú, Batateiras, Missão-Velha e Quixabinha. Características físico climáticas (*Évaluation des ressources hydriques des petits bassins du Nordeste semi-aride – Caractéristiques physico-climatiques*). Brasil-SUDENE, serie Hidrologia 22. SUDENE-DRN-ORSTOM, Recife, 1984, 52 p.

– PUNGS (J.P.), CADIER (E.). – Manual de utilização dos sistemas BAC e DHM. Banco de dados hidrometeorológicos de SUDENE (*Manuel d'utilisation des systèmes BAC et DHM. Banque de données hydrométéorologiques de la SUDENE*). Brasil-SUDENE, serie Hidrologia 23. SUDENE-DRN-ORSTOM, Recife, 1984-85, 137 p.

BURKINA FASO

– ALBERGEL (J.), CARBONNEL (J.P.), GROUZIS (M.). – Pluies-eaux de surface – productions végétales – Haute-Volta 1920-1983 (*Rainfall-surface water – plant productions – Upper Volta 1920-1983*). ORSTOM, DGRST, Ouagadougou, 1984, 64 p., 24 tabl., 16 fig.

– ALBERGEL (J.), CARBONNEL (J.P.), VAUGELADE (J.). – Aléas climatiques et production agricole en zone soudano-sahélienne. Analyse d'un exemple particulier : le coton au Burkina-Faso (*Climatic hazards and plant production in the sudan-sahelian zone. Peculiar example analysis : the cotton in Burkina-Faso*). ORSTOM, Ouagadougou, 1984, 14 p., 5 fig., 5 tabl.

– ALBERGEL (J.). – Les données pluviométriques, hydrologiques et agronomiques dans la phase de persistance sèche au Burkina-Faso (*The rainfall, hydrological and agronomical data in the drought persistent phasis in Burkina-Faso*). ORSTOM-FAO, Ouagadougou, 1984, 19 p., 5 tabl., 6 fig.

– ALBERGEL (J.), BERNARD (A.). – Étude des paramètres hydrodynamiques des sols sous pluies simulées – Estimation du ruissellement sur le bassin versant de Kazanga (*Soil hydrodynamic parameters study under simulated rains. Runoff appraisal on Kazanga's catchment*). ORSTOM, Ouagadougou, 1984, 104 p., 24 tabl., 25 fig., 5 an.

– ALBERGEL (J.), BERNARD (A.). – Calage du modèle simulateur, prévision de la lame ruisselée décennale sur le bassin versant de Binndé (*Simulation model calibration, forecast of the decennial depth of runoff on Binnde's catchment*). ORSTOM, Ouagadougou, 1984, 64 p., 14 tabl., 15 fig.

– BERNARD (A.). – Observations climatologiques à la station de Jalafanka et suivi de la Mare d'Oursi en 1983 (*Climatological observations at Jalafanka's station and following of the Oursi pond – Year 1983*). ORSTOM, Ouagadougou, 1984, 61 p., 10 fig.

– LAMACHÈRE (J.M.), GUALDE (R.). – Étude hydrologique des plaines de Niena-Dionkélé et Foullasso-Lelasso, rapport n° 5 – Rapport de campagne 1983 (*Hydrological study of the Niena-Dionkele and Foullasso-Lelasso plains, report n° 5 – Season report 1983*). ORSTOM, Ouagadougou, 1984, 123 p.

– LAMACHÈRE (J.M.), GUALDE (R.). – Étude hydrologique des plaines de Niena-Dionkélé et Foullasso-Lelasso, rapport n° 6 – Station climatologique de N'Dorola, observations en 1983 (*Hydrological study of the Niena-Dionkele and Foullasso-Lelasso plains, report n° 6 – Climatological station of N'Dorola, measurements in 1983*). ORSTOM, Ouagadougou, 1984, 73 p., 19 fig.

72271 – LAMACHÈRE (J.M.). – Étude hydrologique des plaines de Niena-Dionkélé et Foullasso-Lelasso, rapport n° 7. Rapport définitif 1^{re} partie : 1 à 171. Rapport n° 8, rapport définitif 2^e partie : 172 à 387 (*Hydrological study of the Niena-Dionkele and Foullasso-Lelasso plains, report n° 7, final report, first part. Report n° 8, final report, second part*). ORSTOM, Ouagadougou, 1984.

CAMEROUN (CAMEROON)

– OLIVRY (J.C.). – Régimes hydrologiques des fleuves et rivières du Cameroun. Tome I : Généralités, études hydrologiques du Nyong et des fleuves côtiers. Tome II : Études hydrologiques des autres bassins au sud de l'Adamaoua. Études hydrologiques du Nord-Cameroun. Tome III : Conclusions, Annexes (*Hydrological regimes, streams and rivers of Cameroon. Tome I : Generalities, hydrological studies of the Nyong and coastal rivers. Tome II : Others basins. Hydrological studies in the south of Adamaoua. North Cameroun hydrological studies. Tome III : Conclusions. Annexures*). Thèse de Doctorat d'État, Académie de Montpellier, Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Juillet 1984, 1 234 p., 132 p. annexes + cartes.

CAP-VERT (ÎLES du) (CABO-VERDE)

– Voir communications diverses (*See different papers and notes*).

COLOMBIE (COLOMBIA)

72272 – BOULET (J.), LE GOULVEN (P.), POUPON (H.) *et al.* – Estudio integrado del « ALTIPLANO Cundiboyacense ». Tome I : Metodologías, 437 p., 17 fig., 20 tabl., 9 an. Tome II : Estudio regional preliminar, 209 p., 31 fig., 8 tabl. + 14 cartes au 1/200 000 et 5 cartes au 1/400 000. Tome III : Sabana de Bogota, 411 p., 80 fig., 125 tabl. Tome IV : Valle del Alto Chicamocha, 293 p., 89 fig., 79 tabl. Tome V : Valle de Ubaté y Chiquinquirá, 144 p., 38 fig., 40 tabl.

- LE GOULVEN (P.), GARCIA (R.). - Tome VI - Anexo pluviométrico, 850 p.
 - LE GOULVEN (P.), ZAMBRANO (H.). - Tome VII - Anexo climatológico, 535 p.
 - LE GOULVEN (P.). - Tome VIII - Anexo de balances hídricas, 498 p.
- (Integrated survey of the « Altiplano Cundiboyacense ». Tome I : Methodology. Tome II : Preliminary regional study. Tome III : Savannah of Bogota. Tome IV : Valley of Alto Chicamocha. Tome V : Valley of Ubaté y Chiquinquira. Tome VI : Rainfall annexures. Tome VII : Climatological annexures. Tome VIII : Water balance annexures).
- IGAC, Bogota, 1984.

CÔTE D'IVOIRE (IVORY COAST)

- CHEVALLIER (P.), CASENAVE (A.), ÉTIENNE (J.) et al. - Mesures hydropluviométriques en zone urbaine : Yopougon, Côte d'Ivoire. Troisième campagne (avril-juillet 1984) (*Hydropluviometrical measurements in urban zone : Yopougon, Ivory Coast - Third season, April to July 1984*). BCEOM-Ivoire, ORSTOM, Adiopodoumé, 1984, 45 p., 6 fig.
 - CASENAVE (A.), CHEVALLIER (P.), GIODA (A.) et al. - Mesures hydropluviométriques en zone urbaine : Yopougon, Côte d'Ivoire. Quatrième campagne (août-décembre 1984) (*Hydropluviometrical measurements in urban zone : Yopougon, Ivory Coast - Fourth season, August to December 1984*). BCEOM-Ivoire, ORSTOM, Adiopodoumé, janvier 1985.
- 72268 - CASENAVE (A.), FLORY (J.), MAHIEUX (A.), SIMON (J.M.). - Étude hydrologique des bassins de Taï - Campagne 1981 (*Taï's catchment hydrological study. Season 1981*). ORSTOM, Adiopodoumé, 1984, 30 p., 52 fig. + annexes.
- CASENAVE (A.), LE BARBE (L.). - Rapport de mission pour la préparation des campagnes de traçage à la rhodamine sur le Bandama (*Mission report - Tracing campaign preparation with rhodamine on Bandama river*). ORSTOM, Abidjan-Lomé, mars 1984.

ÉQUATEUR (ECUADOR)

- POURRUT (P.). - Los climas del Ecuador - Fundamentos explicativos. (*Les climats de l'Équateur - Bases explicatives*). CEDIG-Documentos de Investigacion n° 4, 1983, 34 p., 2 cartes, 7 fig.
- ALMEIDA (G.), de NONI (G.), NOUVELOT (J.F.) et al. - Los principales procesos erosivos en Ecuador. (*Principaux processus érosifs en Équateur*). PRONAREG-PRONACOS-ORSTOM, Quito, 1984, 31 p.
- NOUVELOT (J.F.). - Normas pluviométricas propuestas para el Ecuador (*Normes pluviométriques proposées pour l'Équateur*). PRONAREG, ORSTOM, Quito, 1984, 63 p., 26 tabl., 16 abaques.
- Voir aussi communications et notes diversers (*see also different papers and notes*).

FRANCE

- BADER (J.C.). - Étude relative à l'évaluation du changement possible de la distribution des pluies intenses sur la saison pluvieuse au SAHEL (*Study related to the appraisal of a possible modification in the intense rain distribution during the sahelian rainy season*). ORSTOM, Mémoire de DEA « Ressources en Eau », à PARIS XI-ORSAY, juin 1984.
 - CHAPERON. - Cf. Tunisie.
 - COCHONNEAU (G.). - Banque de données hydrologiques - Manuel d'utilisation, version provisoire (*Hydrological data bank. Use's manual, provisional version*). ORSTOM, Paris, décembre 1984.
 - DOSSEUR. - Cf. Tunisie.
 - GIRARD (G.). - Projet HAPEx-MOBILHY - Modélisation hydrologique du Sud-Ouest. Mise en œuvre du modèle (*HAPEx-MOBILHY project. Hydrological modelisation of the South-west. Model implementation*). CIG, École des Mines, Fontainebleau LHM/RD/84/104, novembre 1984.
 - HOORELBECK (J.). - Note de présentation des bassins retenus pour la première phase de l'étude de l'érosion dans la région PACA (*Presentation of the catchments taken for the first phasis of erosion study in PACA region*). PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur. Groupe d'Étude BRGM-ORSTOM, Montpellier 1984.
 - IBIZA. - Cf. Madagascar et Mali.
 - LAMAGAT. - Cf. Mali.
 - NTONGA (J.C.). - Les systèmes d'annonces de crues (synthèse bibliographique) (*The flood warning systems - Bibliographical synthesis*). ORSTOM, Mémoire de DEA « Ressources en Eau », à PARIS XI-ORSAY, septembre 1984.
 - MONIOD. - Cf. Tunisie.
 - OLIVRY (J.C.), HOORELBECK (J.). - Mesure et évaluation de l'érosion et des transports solides sur bassins versants des terres noires de la région PACA - Compte rendu des travaux réalisés en 1984. (Infrastructure et équipements) (*Measure and appraisal of erosion and sediment transports on the black land basin of the PACA region*). Groupe d'Étude BRGM-ORSTOM, Montpellier, 1984, 13 p.
 - THIAGBA M'BOUGUI (L.). - Représentations cartographiques des régimes hydrologiques. Étude bibliographique (*Mapping representations of hydrological regimes - Bibliographical study*). ORSTOM, Mémoire de DEA « Ressources en Eau », à Paris XI-ORSAY, septembre 1984.
- 72289 - VERNEUIL (M.P.). - HYDOC. Logiciel documentaire hydrologique. I Logiciel, II Guide d'utilisation, III Annexes (*HYDOC. Hydrological documentary software. I Software, II Use's guide, III Annexures*). ORSTOM, Paris, décembre 1984, 44 p., 57 p. annexes.

GUYANE (FRENCH GUYANA)

- FRITSCH (J.M.). - Modification des écoulements après défrichements et aménagements agro-forestiers de bassins versants expérimentaux en Guyane Française (*Runoff modification after clearcutting and agroforestral development of experimental catchments in French Guyana*). ORSTOM, Cayenne, janvier 1984, 44 p., 18 fig.
- FRITSCH (J.M.). - Étude d'impact de l'aménagement de Petit-Saut sur le Sinnamary : les transports solides (*Development impact study of Petit-Saut on the Sinnamary river : the sediment transports*). ORSTOM, Cayenne, juin 1984, 41 p.
- FRITSCH (J.M.). - Lecture et traitement de base des cartouches de mémoire morte EPROM utilisées par le système CHLOE et CEDIPE (*Reading and data processing of the read-only memories EPROM used by CHLOE and CEDIPE system*). ORSTOM, Cayenne, juillet 1984, 29 p.
- FRITSCH (J.M.). - Données hydroclimatologiques pour le dimensionnement des ouvrages de la route de Petit-Saut (*Hydrological data for work designs on the Petit-Saut's road*). ORSTOM, Cayenne, octobre 1984, 10 p.
- LOINTIER (M.). - Dynamique des eaux et de l'intrusion saline dans l'estuaire du Sinnamary (*Water dynamics and salt water intrusion in the Sinnamary estuary*). ORSTOM, Cayenne, octobre 1984, 90 p., 37 fig., annexes.

MADAGASCAR (MALAGASY REPUBLIC)

- BAUDUIN (D.). - Étude d'hydrologie à usage agricole - Année hydrologique 1982-1983 (*Hydrological study for agricultural purposes - Water years 1982-1983*). ORSTOM/MPARA, Antananarivo, avril 1984.
- 72278 - IBIZA (D.). - Études hydrologiques et climatologiques dans la région du Lac Alaotra. Synthèse provisoire (*Hydrological and climatological studies in Lake Alaotra district. Provisional synthesis*). ORSTOM/SOMALAC, Bondy, décembre 1984, 62 p.

MALAISIE (MALAYSIA)

- SIRCOULON (J.), IBIZA (D.). - Flow data samples elaboration (*Constitution d'échantillons de débits à 5 sites de barrages*). Volume I : Main report (*Rapport principal*) 20 p. + 22 tabl. Volume II : Annexures (*Annexes*), 432 p. ORSTOM, Renardet-Engineering, Paris, août 1984.

MALI

- 72234 - CHOURET (A.), BERTHAULT (C.), DIADIE WELE (A.). - Reconnaissance hydrologique dans l'Adrar des Iforas (région de Kidal). Proposition d'étude et données sur la sécheresse (*Hydrological survey in Adrar of Iforas (Kidal's area). Study proposal and data on drought*). ORSTOM/DNHE, Bamako, janvier 1984, 40 p., 8 gr., 8 tabl., 2 cartes.
- 72245 - LAMAGAT (J.P.). - Étude statistique des lignes d'eau du Niger dans le bief Akka-Koryoumé (*Surface profile statistical study on Niger river in the Akka-Koryoumé reach*). ORSTOM, G.R. MALI, BIRD, Paris, janvier 1984.
- 72232 - LAMAGAT (J.P.). - Modèle provisoire de propagation des crues du Niger de Koulikoro à Niamey (*Flood routing provisional model of the Niger river from Koulikoro to Niamey*). ORSTOM, CEE, ABN, Paris, mars 1984.
- 72249 - LAMAGAT (J.P.). - Faisabilité d'une méthode de prévision des crues du Niger. Application aux stations de Tamani et de Segou (*A flood forecast method feasibility for the Niger river. Application to Tamani and Segou stations*). ORSTOM, FED-ISPRA-EURATOM, Paris, mai 1984, 50 p.
- 72248 - LAMAGAT (J.P.). - Seuil de Djenné, courbes de remous, gestion de la retenue, influence de la gestion sur les zones aval (*Djenné's sill, backwater curves, pool management, management influence on the downstream zones*). ORSTOM, G.R. MALI, FAC, Paris, mai 1984, 39 p.
- 72270 - VAUCHEL (P.), GUIGUEN (N.). - Étude hydrologique complémentaire de la Cuvette Lacustre du Niger. Tome I : Avancement des travaux en 1983/84. Tome II : Annexes. Tableaux de données (*Complemental hydrological study on the lacustral zone of Niger river. Tome I : Work progress in 1983/84. Tome II : Annexures. Data tables*). ORSTOM-DNHE, Bamako, septembre 1984, 31 p., 7 gr. 108 tabl.

NIGER

- 72269 - BRICQUET (J.P.), BOUVIER (J.C.), DELFIEU (J.M.) et al. - Étude du Kori Teloua - Campagne 1983. Le Haut-bassin (*Kori Teloua study - Season 1983. The Upper basin*). ORSTOM, GTZ, Niamey, mai 1984.
- 72269 - BRICQUET (J.P.), BOUVIER (J.C.), DELFIEU (J.M.) et al. - Étude du Kori Teloua - Campagne 1983. Les stations en aval d'Azel (*Kori Teloua study. Season 1983. The stations downstream Azel*). ORSTOM, GTZ, Niamey, mai 1984.
- 72290 - GALLAIRE (R.), RIBSTEIN (P.). - Le Niger à Kandadji. Étalonnage des stations du modèle d'entrée (*The Niger river at Kandadji. Station calibrations of the input model*). ORSTOM, TP, SOFRELEC, Niamey, octobre 1984.
- GALLAIRE (R.). - Le Niger à Kandadji - Synthèse des études (*The Niger river at Kandadji - Study synthesis*). ORSTOM, TP, SOFRELEC, Niamey, décembre 1984.
- BILLON (B.). - Étude des basses eaux du Niger à Niamey (*Low flow study of the Niger river at Niamey*). ORSTOM, DRE, Niamey, décembre 1984, 3 p., 5 fig.
- BOUVIER (J.C.), BILLON (B.). - Enquête sur les crues des koris traversant la route Tillabery-Ayorou à la suite de la pluie du 30 septembre 1984 (*Flood survey of the koris crossing the road Tillabery-Ayorou after the rain of September 30 th, 1984*). ORSTOM, DRE, Niamey, décembre 1984, 10 p., 6 fig.

NOUVELLE-CALÉDONIE (NEW CALEDONIA)

- DANLOUX (J.). - Observations sur les sécheresses récentes dans le sud-ouest Pacifique (Nouvelle-Calédonie et Vanuatu) (*Comments on the recent drought in the South-western Pacific [New-Caledonia and Vanuatu]*). ORSTOM, Nouméa, 1984, 8 p., 5 fig.
- DANLOUX (J.), FERRY (L.). - Les crues et la saison cyclonique 1982-83 en Polynésie française (*The floods and the cyclonic season 1982-83 in French Polynesia*). ORSTOM, Nouméa, 1984, 12 p., 7 fig.

POLYNÉSIE (FRENCH POLYNESIA)

- LAFFORGUE (A.). - Exploitation des mesures hydrologiques disponibles pour l'aménagement hydro-électrique du plateau d'Hitia (*Use of the available hydrological measures for the hydroelectrical design of Hitia's table-land*). ORSTOM, Sce Équipement, Tahiti, février 1984.
- LAFFORGUE (A.). - Hydrologie de l'île de Tahiti (aide-mémoire succinct) (*Tahiti island hydrology - Brief manual*). ORSTOM, Sce Équipement, Tahiti, juillet 1984.
- LAFFORGUE (A.). - Note sommaire sur l'établissement des bases hydrologiques nécessaires pour la définition des aménagements hydro-électriques dans l'île de Tahiti (*Summary note for preparing the hydrological basis needful for hydroelectric plant definition in Tahiti island*). ORSTOM, Sce Équipement, Tahiti, juillet 1984.
- FERRY (L.). - Note hydrologique sur les stations de la Fautaua, cotes 60 et 92 (*Hydrological note on the Fautaua stations, level 60 and 92*). Archives d'Hydrologie n° 85/07. ORSTOM, Sce Équipement (GEGDP), Tahiti 1984, 63 p., + tabl. et gr.
- Cf. également Nouvelle-Calédonie (*See in addition New-Caledonia*).

TOGO

- DELFIEU (G.). - Études hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'onchocercose. Projet pilote. Télétransmission des données hydrologiques. Rapport d'installation (*Hydrological studies carried-out within the framework of the onchocerciasis control programme. Pilot project. Hydrological data telemetry. Implementation report*). ORSTOM, Lomé, juillet 1984.
- LE BARBE (L.), WOME (K.A.). - Étude du ruissellement en zone urbaine à Lomé. Recueil des données de base, années 1977-78-79 (*Runoff study in the urban zone of Lomé. Data basis records. Years 1977-78-79*). ORSTOM, Lomé, décembre 1984.
- MILLET (B.). - Hydrologie et hydrochimie d'un milieu lagunaire tropical : le lac Togo (*Hydrology and hydrochemistry of a tropical lagoonal environment : the Lake Togo*). Thèse de 3^e cycle. Université de Paris-Sud, Centre d'ORSAY n° ENR. 3676.
- MILLET (B.). - Étude hydrologique du Lac Togo - Recueil de données 1981-1984 (*Lake Togo hydrological study. Data collection 1981-1984*). ORSTOM, Lomé, 1984, 50 p.
- LE BARBE (L.), DELFIEU (G.). - Études hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'onchocercose. Projet pilote. Télétransmission des données hydrologiques. Rapport de campagne 1984 (*Hydrological studies carried-out within the framework of the onchocerciasis control programme. Pilot project. Hydrological data telemetry. Season report 1984*). ORSTOM, Lomé, février 1985.

TUNISIE (TUNISIA)

- CAMUS (H.). - Recherches en milieu méditerranéen semi-aride (Djebel Semmama). Données climatiques et pluviométriques de l'année 1982-1983 (*Investigations in semi-arid mediterranean environment (Semmana Jebel). Climatological and rainfall data of the year 1982-83*). ORSTOM-DRE, Tunis, 1984, 30 p.
- DUMAS (R.), BEN YOUNES (M.). - Recherches en milieu méditerranéen semi-aride (Djebel Semmama - Tunisie Centrale). L'année hydrologique 1982-83 sur le bassin versant de l'Oued El-Hissiane (*Investigations in semi-arid mediterranean environment. The water year 1982-83 on El Hissiane wadi catchment. Jebel Semmama - Central Tunisia*). ORSTOM-DRE, Tunis, 1984, 24 p.
- CAMUS (H.). - Bibliographie analytique de la Tunisie du Nord (*Analytical Bibliography of the Northern Tunisia*) BIRH-ORSTOM, Tunis, 1984, 170 p., 1 fig.
- 72277 - DOSSEUR (H.), CHAPERON (P.), MONIOD (F.). - Aménagement des ressources en eau du Nord de la Tunisie. Modèle EAUTUN-3. Tome I : Étude et modélisation. Tome II : Annexes (*Water resource development of North Tunisia. Model EAUTUN-3. Tome I : Survey and modelisation. Tome II : Annexures*). ORSTOM-DEGTH, Paris, décembre 1984.

VANUATU

- BOUCHEZ (J.M.). - Compte rendu d'installation et de déroulement des campagnes d'observations et de mesures au cours des années 1981-1982 (*Installation and activities report related to the campaigns of measures during the years 1981-1982*). ORSTOM-SGMHR, Port-Vila, décembre 1983.
- GOUYET (R.C.). - Études hydrologiques en République de Vanuatu. Rapport des campagnes 1981-1982 et 1982-1983 (*Hydrological studies in Vanuatu - Season reports 1981-1982 and 1982-1983*). ORSTOM-SGMHR, Nouméa, août 1984.

COMMUNICATIONS ET NOTES DIVERSES

DIFFERENT PAPERS AND NOTES

– ALBERGEL (J.), CASENAVE (A.). – Une nouvelle technique d'estimation des crues décennales des petits bassins versants : les études sous pluies simulées (*A new technique for the decennial flood estimation on small watersheds : the studies under simulated rains*). 12^e réunion du conseil du CIEH à Yaoundé, février 1984. (Paru également dans Année nationale d'hydraulique villageoise, Ouagadougou, 1984, thème III. Technologie, 8 p., 6 fig.)

72255 – BADER (J.C.), SIRCOULON (J.). – Étude relative à l'évaluation du changement possible de la distribution des pluies intenses sur la saison pluvieuse au Sahel (*Study related to the appraisal of a possible modification in the intense rain distribution during the sahelian rainy season*). ORSTOM, OMM, Paris, juin 1984.

– CHEVALLIER (P.), VALENTIN (C.). – Influence des micro-organisations superficielles sur l'infiltrabilité des sols sahéliens (*Superficial microorganisation influence on the sahelian soil infiltrability*). Journées du Groupe Français d'Humidimétrie neutronique. Montpellier, 13-14 novembre 1984, 11 p., 4 fig.

– COLOMBANI (J.). – Alerte et annonce de crue dans les régions non tempérées (*Alert and flood warning in the non-temperated regions*). ORSTOM, Bondy, novembre 1984, 36 p. et gr.

– COLOMBANI (J.), OLIVRY (J.C.). – Phénomènes exceptionnels d'érosion et de transport solide en Afrique aride et semi-aride (*Exceptional events in erosion and sediment transport in arid and semi-arid Africa*). Proceedings of the Harare symposium, challenges in African hydrology and water resources. Juillet 1984, AISH, Publ. n° 144 : 295-300.

– DE NONI (G.), NOUVELOT (J.F.), TRUJILLO (G.). – Erosion y conservacion en la Sierra volcanica ecuatoriana : el ejemplo de las parcelas de Alangasi (*Erosion et conservation dans la Sierra volcanique équatorienne : l'exemple des parcelles de Alangasi*). Bulletin extraordinaire de la Société équatorienne de la Science du Sol. Quito, 1984, 20 p.

– DEL POSO (G.), DE NONI (G.), NOUVELOT (J.F.). – Diagnostico de la procesos erosivos, sus causas y riesgos en base al uso de la informacion del inventario de recursos naturales renovables : un ejemplo en la Sierra ecuatoriana (*Diagnostico des processus érosifs, leurs causes et risques de base pour l'usage de l'information de l'inventaire des ressources naturelles renouvelables : un exemple dans la Sierra équatorienne*). Bulletin extraordinaire de la Société équatorienne de la Science du Sol, Quito, 1984, 11 p.

– FRITSCH (J.M.). – Enregistrement micro-programmé de données hydrologiques sur mémoire morte (*Micro-programmed chart of hydrological data on read-only memory*). Conférence Technique de l'OMM sur l'utilisation des microprocesseurs en hydrologie opérationnelle, Genève, 5-7 septembre 1984.

81153 – SIRCOULON (J.). – Quinze années de sécheresse au Sahel – Impact sur les ressources et moyens de lutte (*Fifteen years of drought in the Sahel – Impact on resources and how to fight*). 5^e Conférence internationale sur la planification et la gestion des ressources en eau, Athènes, 1-4 octobre 1984.

– SIRCOULON (J.). – La diminution des ressources en eau de surface au Sahel depuis 1968 (*The diminution of the surface water resources in the sahelian zone since 1968*). Conférence scientifique régionale sur l'ETGA, l'expérience WAMEX et la météorologie tropicale, OMM, Dakar, 10-14 décembre 1984.

ERRATUM

Dans le cahier ORSTOM, série Hydrologie, Vol. XXI, n° 3, 1984-85,
la conclusion de l'article 4, *Enquête aux Antilles*, de D. IBIZA, p. 131,
a été brochée par erreur après la page 97.