

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 mécanismes 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.

À 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 métamorphosées 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.

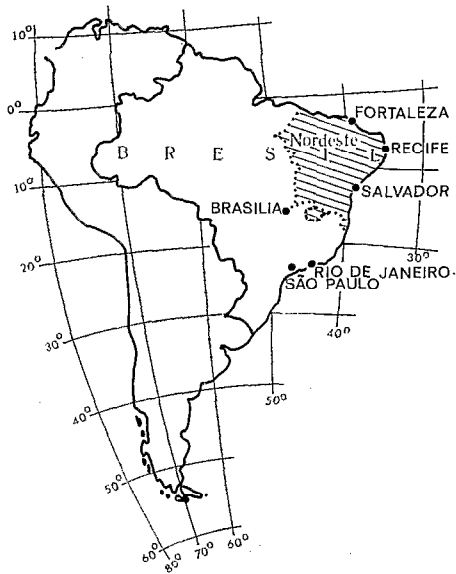


FIG. 1. - Situation du Nordeste

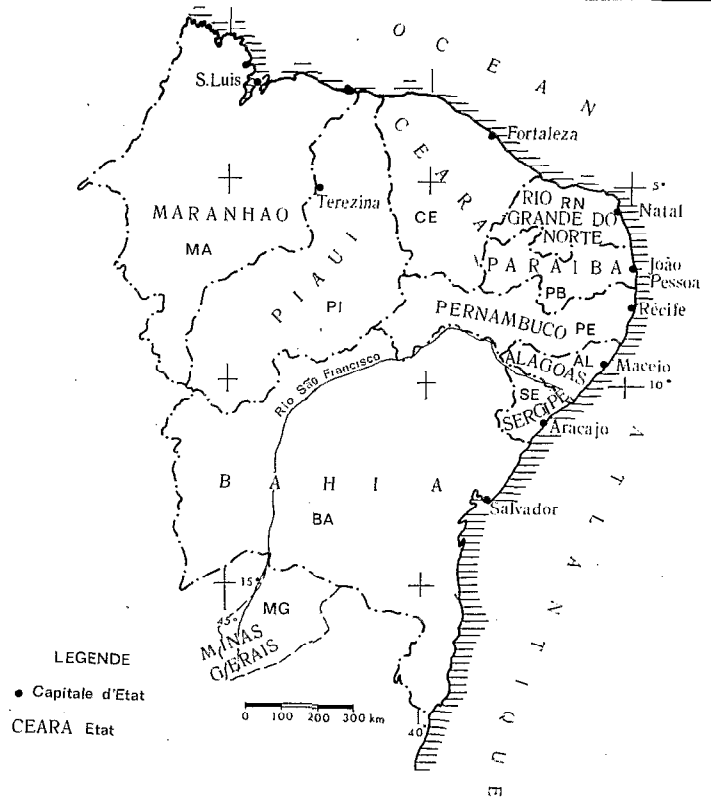


FIG. 2. - Carte politique du Nordeste

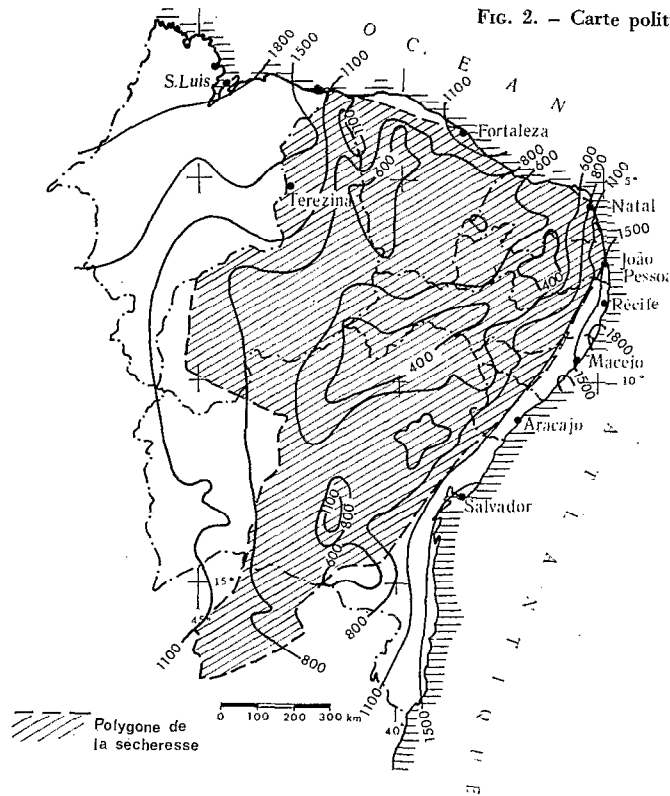


FIG. 3. - Isohyètes et polygone de la sécheresse

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 (cane 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 côte 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.

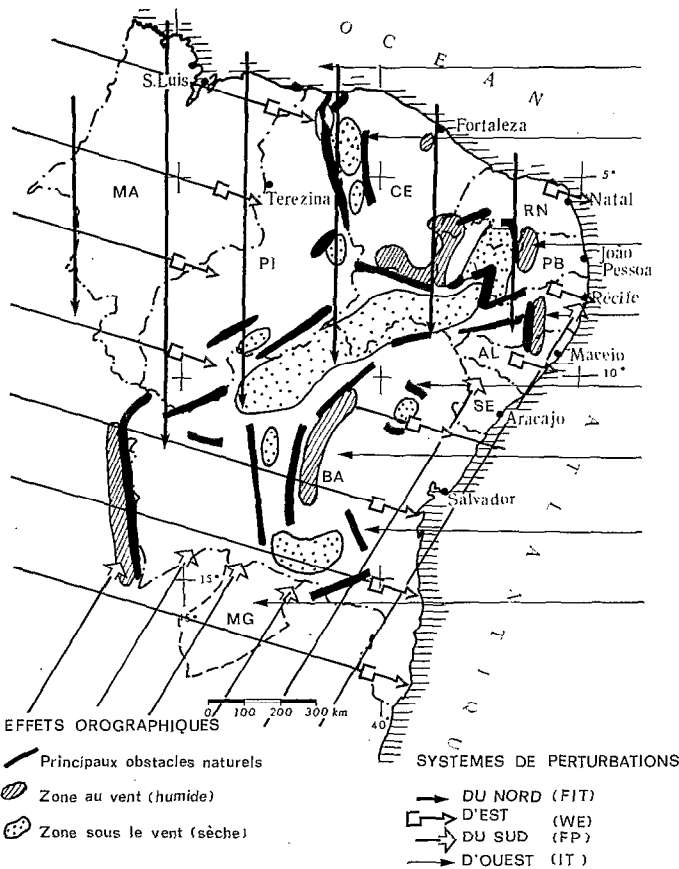


FIG. 4. - Les systèmes de circulations atmosphériques et les principaux effets orographiques.

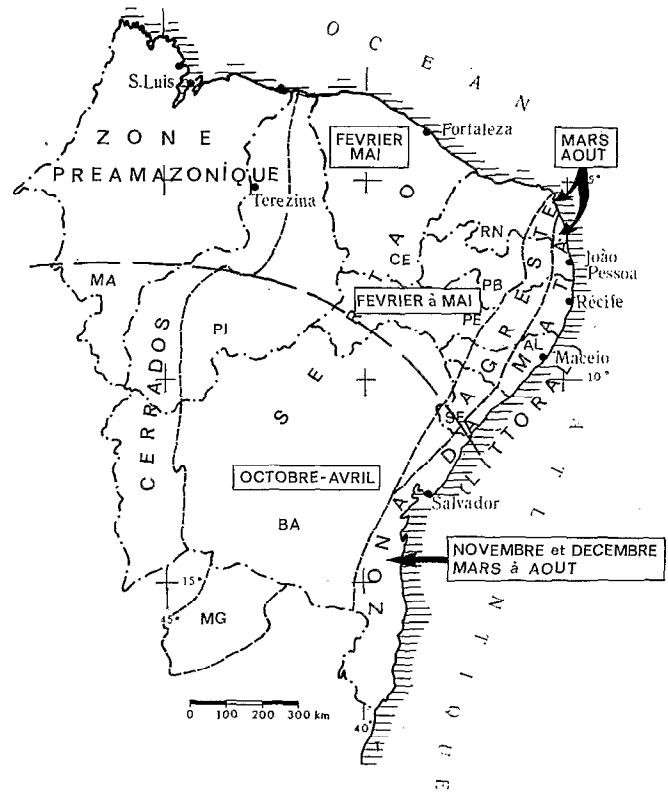


FIG. 5. - Principales zones physiographiques et périodes pluvieuses

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,

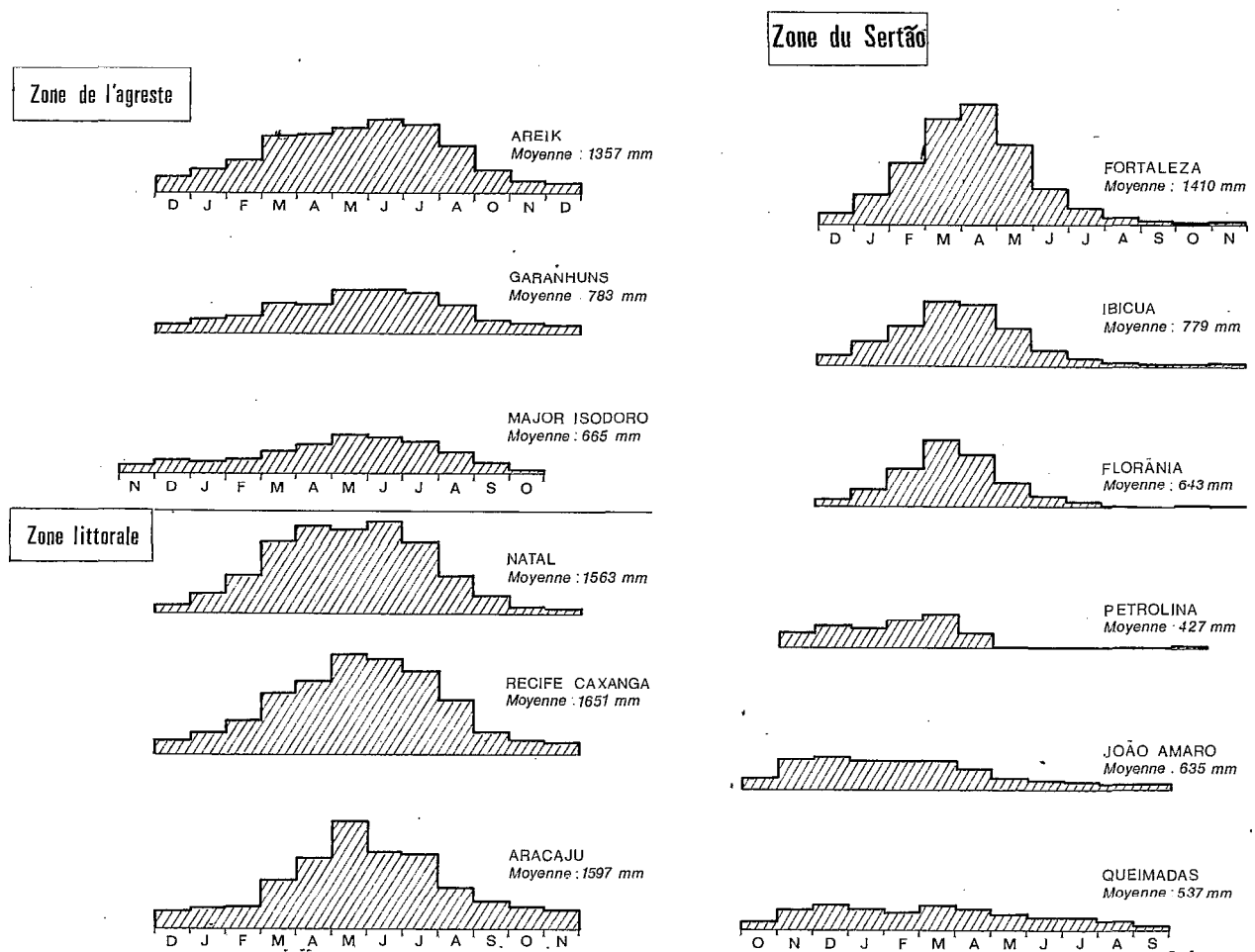


FIG. 6. - Distribution mensuelle des pluies

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.

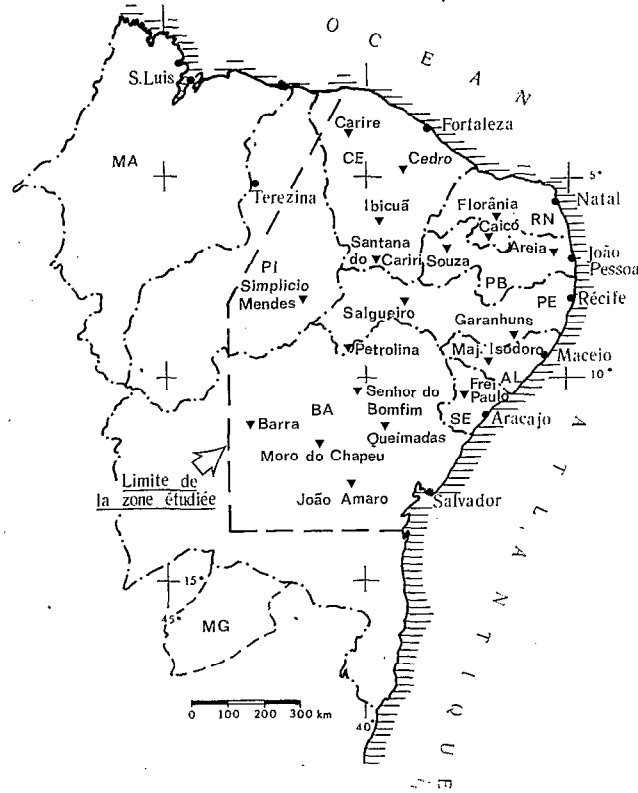


Fig. 7. - Postes pluviométriques sélectionnés

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
SANIANA 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

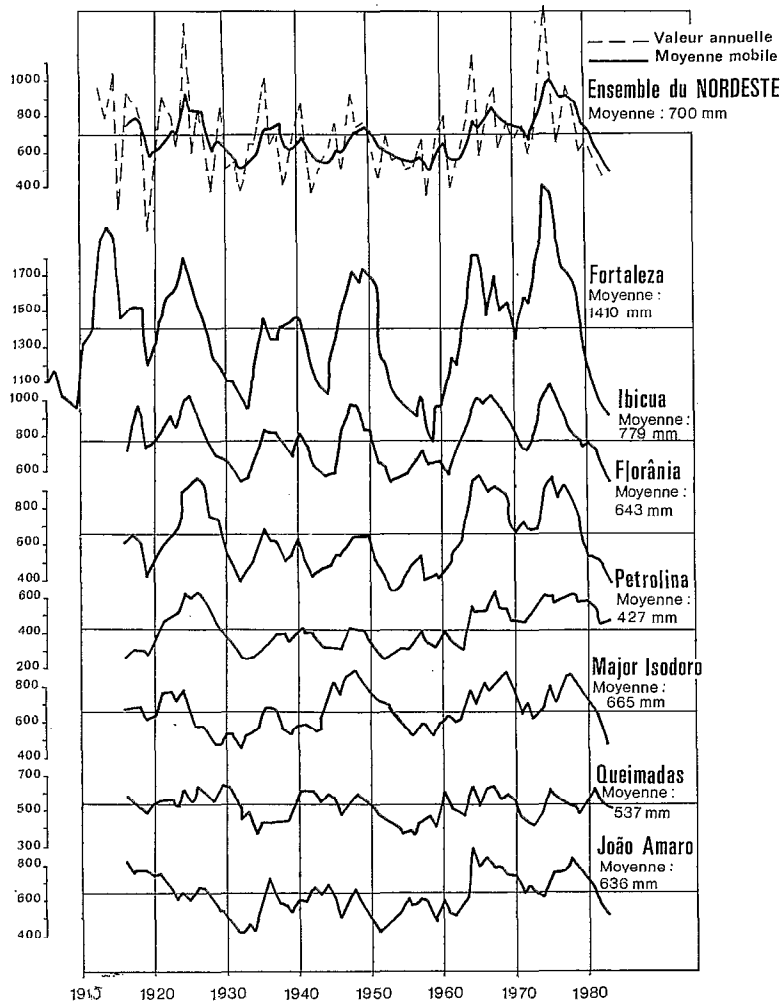


FIG. 8. - Moyennes mobiles pondérées

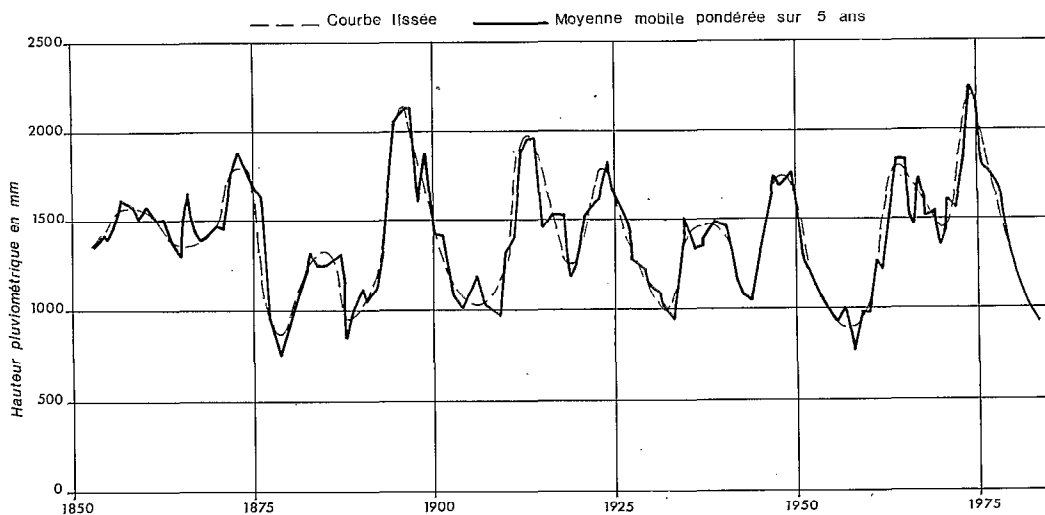


FIG. 9. - Poste de Fortaleza

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 Pernamboucan : 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

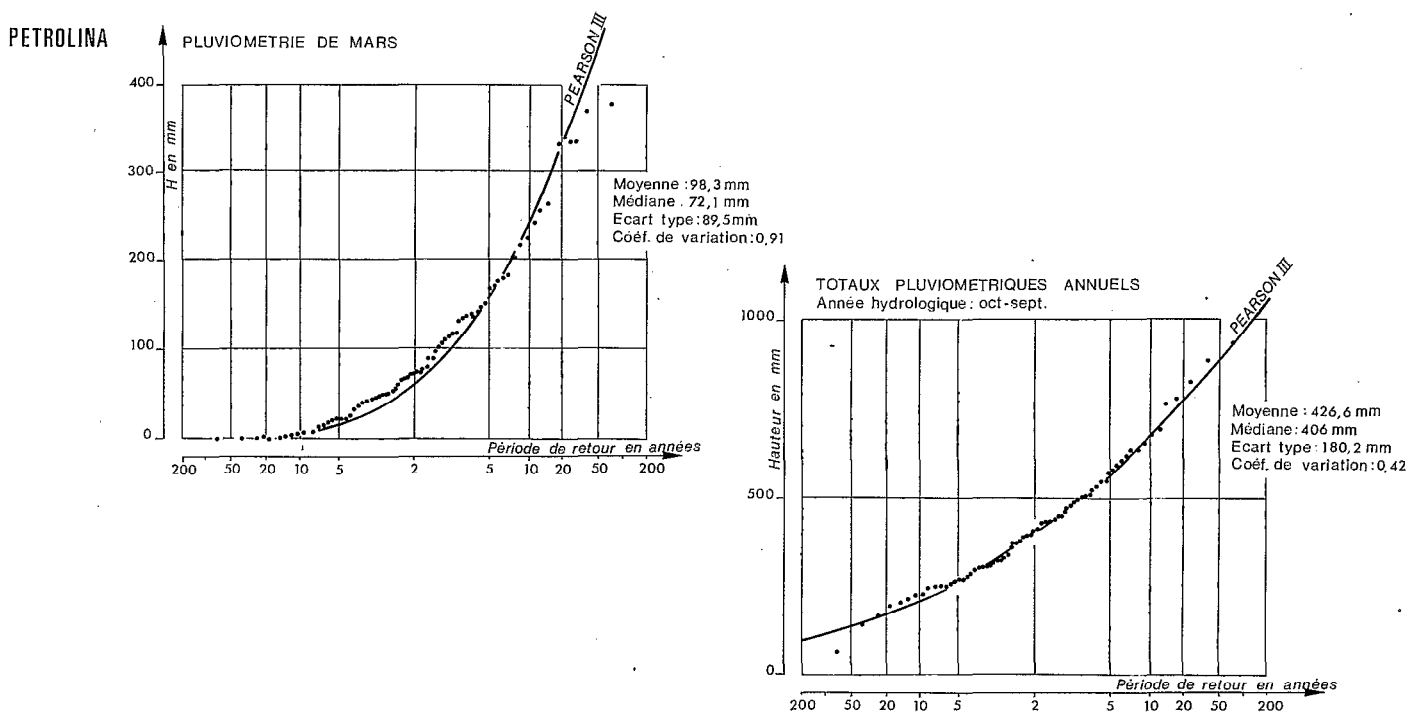


FIG. 10. - Pluviométrie de mars. Totaux pluviométriques annuels

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 moindre 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'asséchera 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.

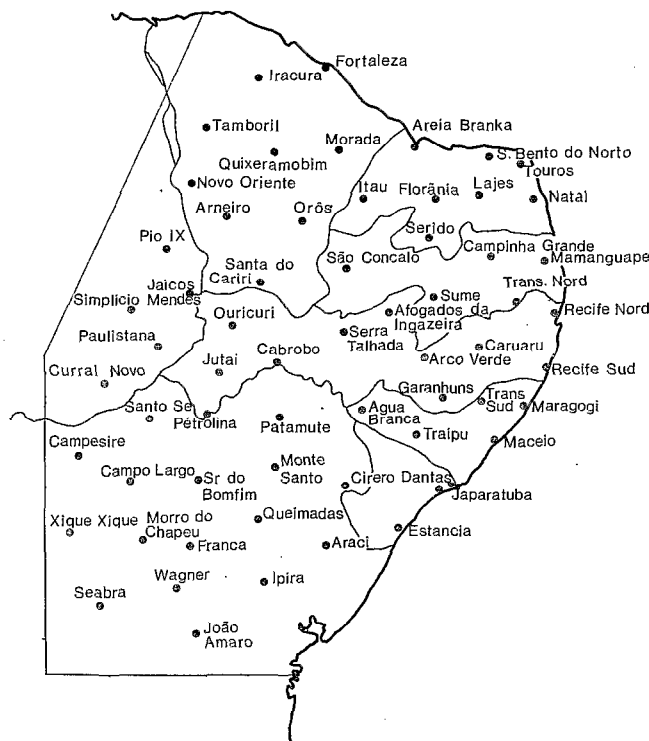


FIG. 11. - Localisation du centre des zones élémentaires homogènes

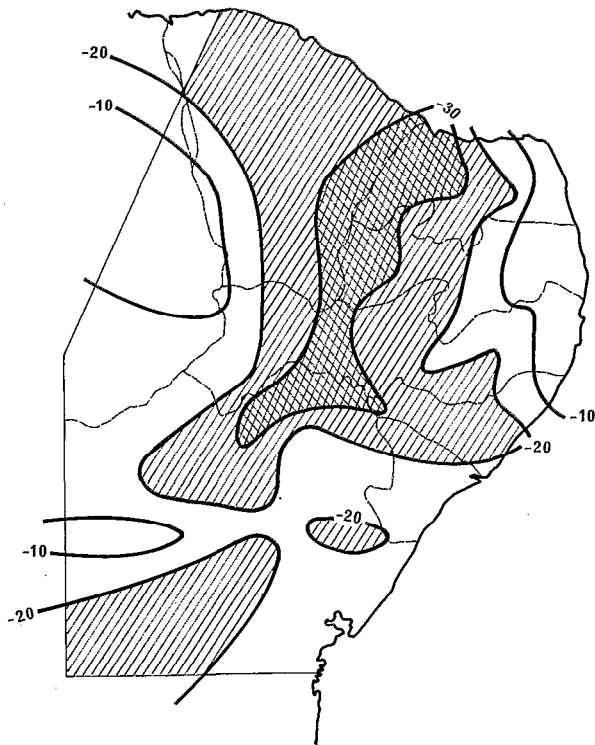


FIG. 12a. - Écarts à la moyenne en %, période 1928-1932

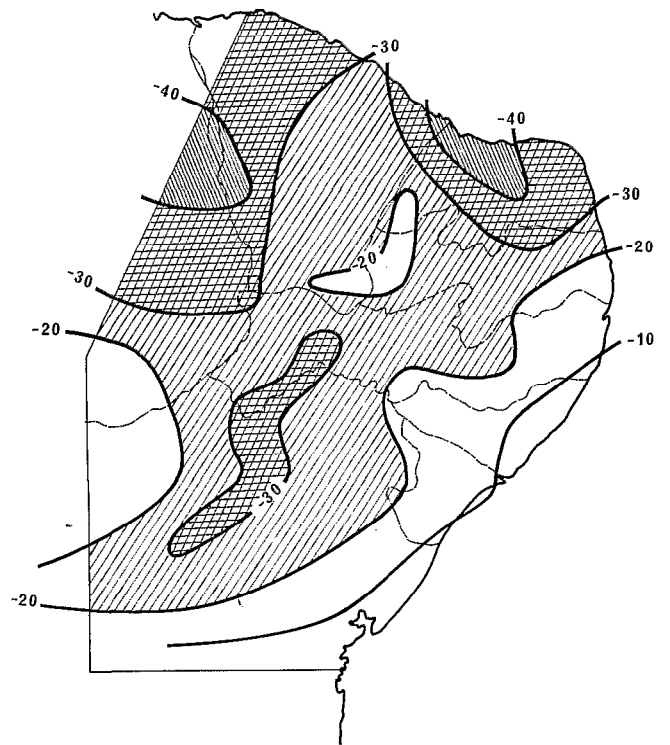


FIG. 12b. - Écarts à la moyenne en %, période 1951-1955

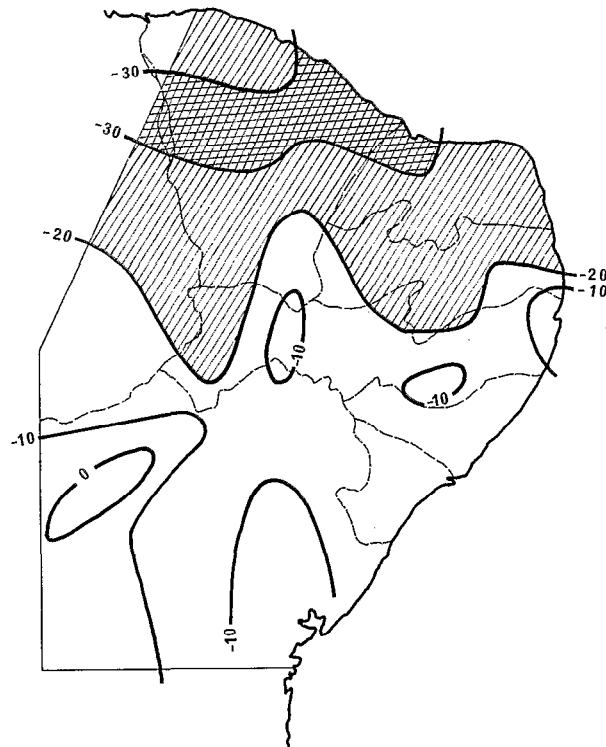


FIG. 12c. - Écarts à la moyenne en %, période 1979-1983

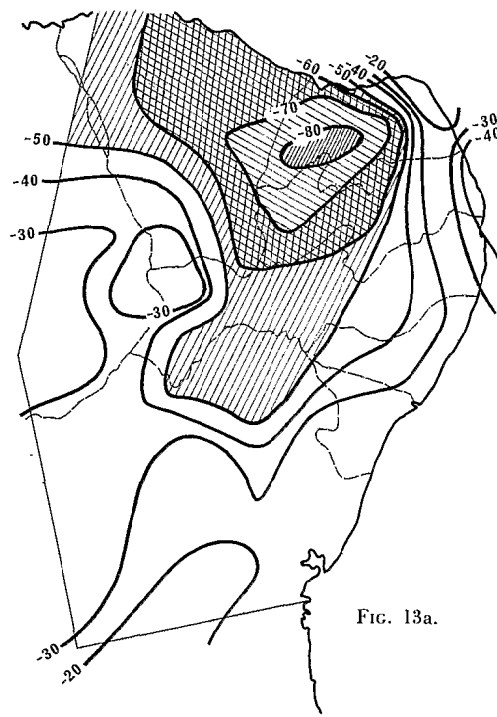


FIG. 13a.

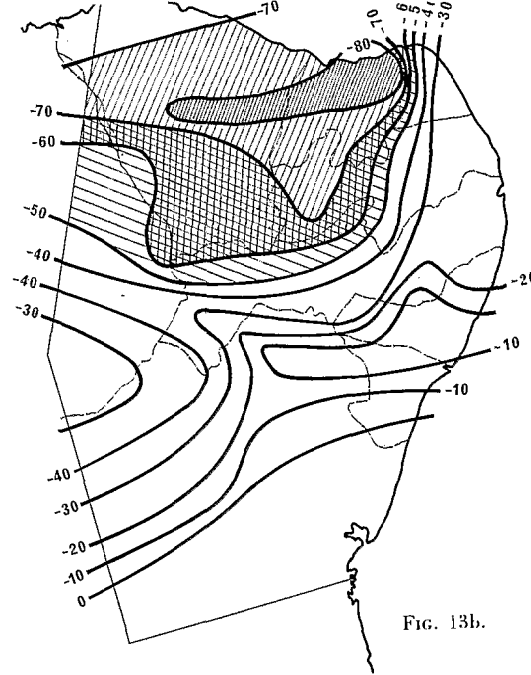


FIG. 13b.

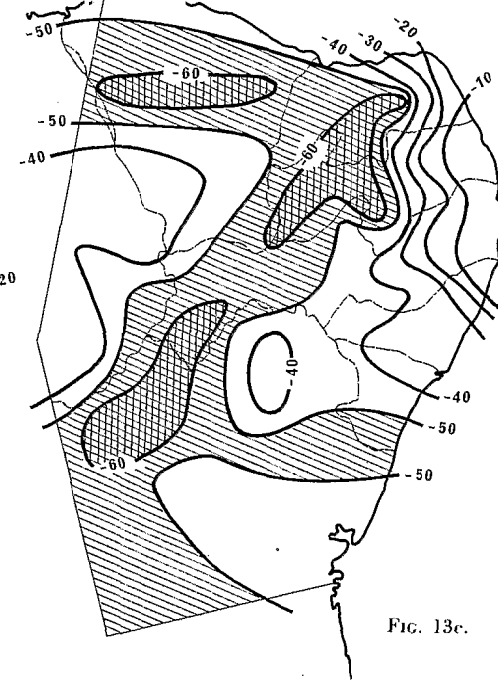


FIG. 13c.

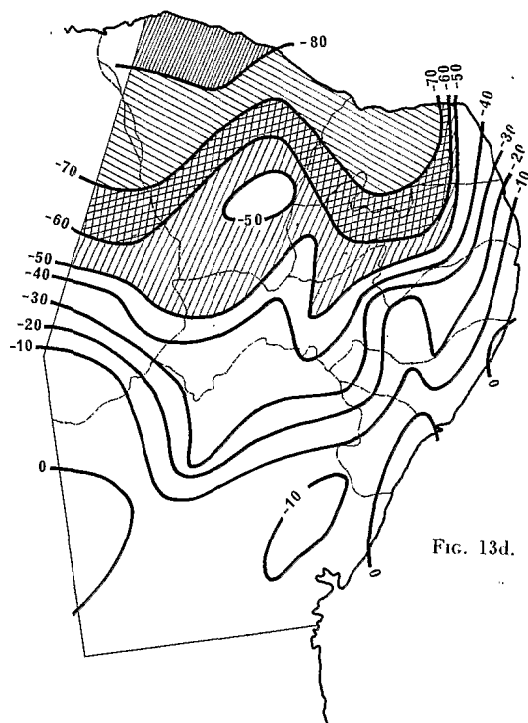


FIG. 13d.

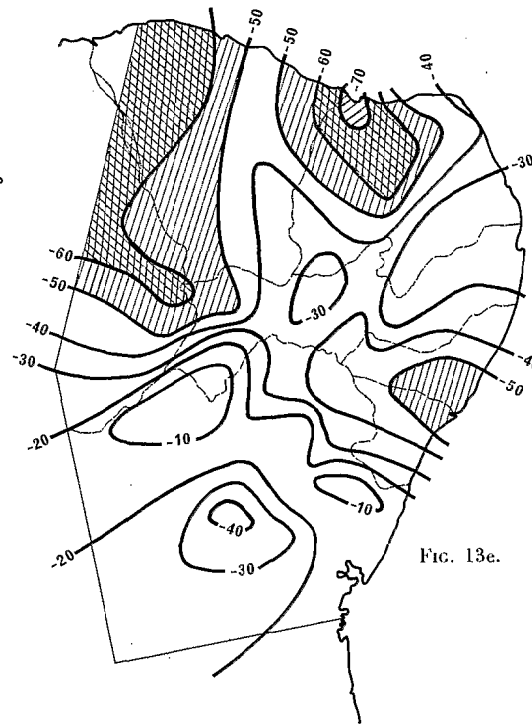


FIG. 13e.

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
JAIÇOS	-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
SUMÉ	-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		
PATAHUTE	-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
MORÁDA 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
ITAUUBA 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.

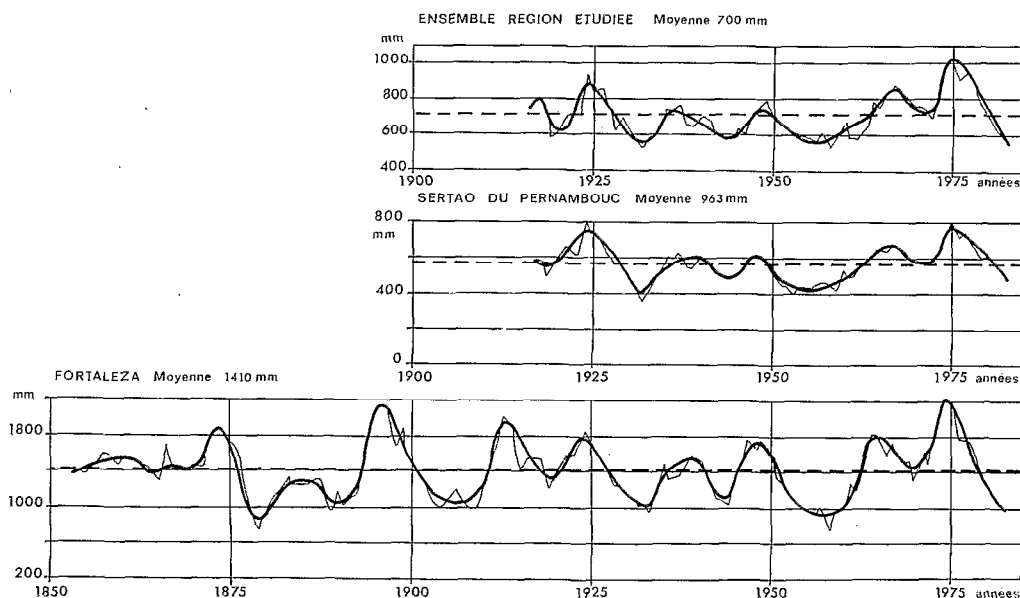


Fig. 14. - Moyennes mobiles pondérées

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

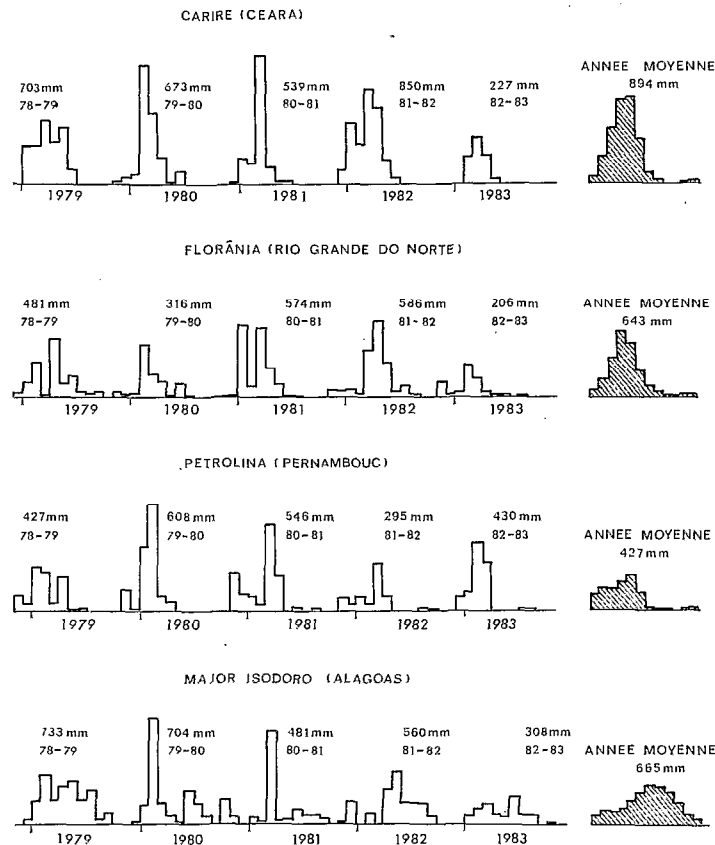


FIG. 15. - Distribution mensuelle pluviométrique de la période 1979-1983

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

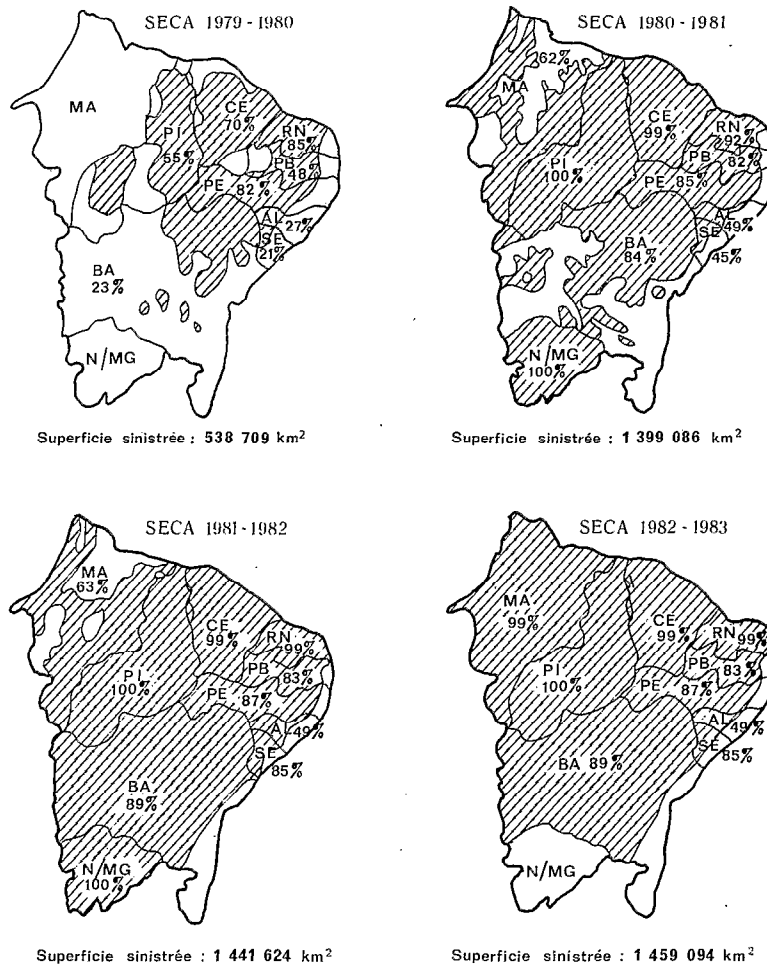


FIG. 16. - Régions sinistrées 1979-1983

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).

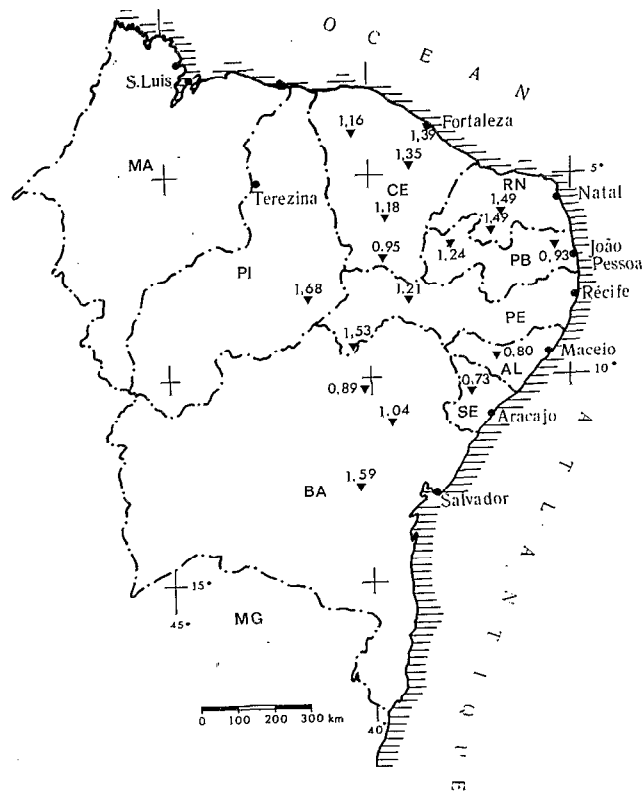


FIG. 17. - Rapport à la moyenne des précipitations de janvier à août 1984

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 climatologistes 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 climatical 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*, 3 : 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.
- GUSMÃO (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.

