

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

GC.0292

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR DE CONCEPTION

TITRE ETUDE DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES  
DU SENEGAL

DATE : JUIN 86

AUTEUR : MAMADOU GUEYE  
DIRECTEUR : Mr DANIEL TESSIER  
CO-DIRECTEUR : Mr ABDOULAYE SENE

A mes parents

A mes amis

A mes camarades

A toute l'humanité qui souffre

, Sans oublier mes collègues ingénieurs.

## Remerciements :

Le projet doit, sa réalisation à l'assistance et l'aide des uns et des autres.

Qu'ils trouvent ici mes sincères remerciements qui s'adressent particulièrement à :

- Monsieur Daniel Tessier, professeur à l'École Polytechnique de Thiès pour avoir accepté de diriger ce projet
- Monsieur Abdoulaye Sène, directeur de l'entretien et de la maintenance au ministère de l'Hydraulique
- Monsieur Nièné Faye, directeur de la programmation au ministère de l'Hydraulique
- Monsieur Niang, directeur de l'inventaire des ressources hydrauliques au ministère de l'Hydraulique
- Monsieur Sonko, chef de la division régionale de l'Hydraulique de Thiès
- toute la communauté polytechnicienne pour son soutien de tous ordres.

## Sommaire

Le présent projet de fin d'études intitulé "Etude des ressources en eaux souterraines du Sénégal" se propose, dans un premier temps, de décrire la répartition pluviométrique et son influence sur les différentes composantes du cycle hydrologique telles que: l'infiltration, l'évapotranspiration, le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain.

La seconde partie s'efforcera d'identifier les sites de forages en fonction de la répartition pluviométrique et selon la physiographie des bassins versants.

Pour terminer, l'on proposera la mise sur pied d'une cellule de gestion des eaux souterraines et de l'entretien des puits de forages.

## Table des matières

	pages
Remerciements	i
Sommaire	ii
Table des matières	iii
Liste des tableaux	iv
Liste des figures	v
Introduction	1
<u>première partie</u>	
I - Introduction	3
II - Variation temporelle concomitante des totaux pluviométriques	4
II.1 Totaux mensuels	5
II.2 Totaux annuels	6
II.2.1. période 1932-1985	6
II.2.2. période 1960-1967	6
II.2.3. période 1968-1985	6
III Analyse des précipitations	7
III.1 méthode sans distribution	7
III.2 méthode avec distribution normale	9
III.3 distribution fréquentielle de la pluviométrie	11
III.3.1 pluviométrie mensuelle	11
III.3.2 pluviométrie annuelle	11
IV Recherche de tendance	16
IV.1 entre classements chronologique et par valeurs décroissantes pour la période 1932-1985	17
IV.2 pour la période 1960-1967	18

IV.3 pour la période 1968-1985	18
IV.4 entre classements chronologiques des périodes (1950-1967) et (1968-1985)	19
V Conclusion	20
VI Recommandations	21
<u>deuxième partie</u>	
Introduction	23
I Calcaires paléocènes de la région de Mbaur	24
II Maille A	51
III Maille B	52
IV Maille C	54
V Maille D	55
VI Maille E	58
<u>troisième partie</u>	
Introduction	60
I. Ressources renouvelables et surexploitation des nappes	60
II Identification des sites de forages	61
<u>quatrième partie</u>	
Introduction	63
I. Principes	64
II - Moyens	66
III - Structures	69
IV - Entretien des puits de forages.	70
Conclusions générales et recommandations	76
Annexe	77
Bibliographie	114

## Liste des tableaux. (en annexe)

- Tableau des séries chronologiques, classées en valeurs croissantes:
  - pluviométrie mensuelle : Tableau 1
  - pluviométrie annuelle : Tableau 2
- Tableau des paramètres statistiques:
  - pluviométrie mensuelle : Tableaux 3 à 7
  - pluviométrie annuelle : Tableau 8
- Tableau des indices de covariation des totaux pluviométriques
  - pluviométrie mensuelle : tableaux 9 à 14
  - pluviométrie annuelle : tableaux 15 à 17

## Liste des figures (en annexe)

### - Pourcentages des hauteurs de pluie :

- pluviométrie mensuelle : figures 1 à 17
- pluviométrie annuelle : figures 18 à 22

### - Distribution des précipitations annuelles :

- distribution, supposée non normale et  
distribution, supposée normale : figures 23 à 26
- courbes théorique et établissement de classes : figure 27



1<sup>ère</sup> PARTIE

ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE

## Introduction

La nécessité de répondre à une hausse pressante et de plus en plus intense de la demande en eau, conjuguée à une volonté déclarée de restaurer un équilibre écologique entamé par la sécheresse, justifie amplement, s'il en est encore besoin, tous les efforts entrepris dans le sens de la maîtrise totale de l'eau.

En effet, l'histoire des régions sahéliennes en général, et du Sénégal en particulier, révèle un déficit hydrique, sinon chronique, du moins inquiétant. Cet état de fait, caractérisé par une faiblesse relative des précipitations et leur inégale répartition spatio-temporaire, appelle une meilleure connaissance des composantes du cycle hydrologique et leurs interactions: tel peut être compris l'objectif premier du présent travail qui se veut analytique et de synthèse.

L'intérêt de l'étude de la pluviométrie et ses relations avec les autres composantes du cycle de l'eau réside dans les paramètres ci-après:

- l'intensité de pluie qui détermine ou non la possibilité d'élévation des nappes,
- la quantité de pluie et, notamment, les seuils nécessaires pour provoquer cette élévation,
- l'absence de pluie, sur une longue période (sécheresse), qui permet aux nappes de reprendre leur niveau.

Il s'y ajoute que la pluviométrie conditionne l'hydrogéologie.

Une tentative de localisation, pour des fins d'analyse, des ouvrages de captage, en rapport avec la pluviométrie et la géomorphologie constitue la seconde partie de cet ouvrage.

Et, on ne saurait terminer sans une ébauche d'une politique de planification et de préservation tant qualitative que quantitative des ressources en eaux souterraines, et un schéma de maintenance des équipements hydrauliques.

## I/. Introduction

Au cours des dix sept dernières années, l'ensemble du territoire sénégalais, subit, un déficit pluviométrique, marqué par rapport à la moyenne (normale). On a parlé d'assèchement du climat et mis cela en parallèle avec la grave sécheresse des années soixante dix...

Ajoutons à ce bilan immédiat, un certain nombre d'effets rémanents ayant pour noms: accélération de la dégradation du couvert végétal, épuisement de nombreuses nappes phréatiques etc...

Aussi, nous a-t-il paru intéressant de faire, une étude plus ou moins exhaustive de la situation à la lumière d'une analyse statistique. Afin de constituer, un échantillonnage valable, nous avons choisi des stations qui ont l'avantage d'être assez bien réparties dans le territoire (cartes en annexe). Les stations, sont au nombre de quatre (Jakar, Nioubel, St-Louis et Tamba) si nous considérons les observations à partir de 1934. Compte tenu que l'analyse est faite sur plusieurs sites (stations), nous avons considéré des périodes communes à tous les sites ou le même nombre d'observations (les périodes 1950-1967 et 1968-1985 par exemple). Les données des précipitations, cumulées à Jakar, Nioubel, St-Louis et Tamba, se trouvent réparties entre les tableaux 1 et 2 en annexe. On peut y trouver que les quantités de pluies aussi bien mensuelles qu'annuelles, sont données en dixièmes de millimètres et classées en valeurs croissantes.

Pour la période 1932-1985, on a pris quatre stations: Jakar, Nioubel, St-Louis et Tamba.

Pour les périodes 1950-1967 et 1968-1985, nous avons considérées cinq stations : les quatre premières et celle de Linguère.

Les graphiques des pluviométries annuelles exprimées en pourcentage pour les périodes 1932-1985, 1950-1967 et 1968-1985 ont été construits pour chaque stations. Il en est de même pour les pluviométries mensuelles, mais pour la période 1932-1985, seulement (voir annexe).

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour analyser ces différentes séries.

Les paramètres statistiques tels que la moyenne, la médiane, l'écart-type, le coefficient de variation, le coefficient d'asymétrie et l'aplatissement ont été calculés. Le nombre d'années pour chaque type de climat a pu être déterminé au niveau de chaque stations pour les cinquante quatre dernières années. Ensuite, une analyse de tendance a été tentée, mais avant tout cela, nous avons cherché de voir, s'il existait, une certaine variation temporelle concomitante des totaux pluviométriques mensuels et annuels pour les différentes périodes considérées.

Rappelons, par ailleurs, que les stations choisies sont au nombre de cinq (les quatre premières plus celle de Linguère), si les observations sont prises à partir de 1934.

## II. Variation temporelle concomitante des totaux pluviométriques

Au Sénégal, le gradient pluviométrique est Sud-Ouest (SW) Nord-Est (NE), la zone la plus pluvieuse se situant au Sud-Ouest (ex. Casamance). Le régime des pluies est à une seule saison.

Dans cette partie de l'Afrique où la pluviosité obéit au même déterminisme climatique qui est le balancement du front intertropical (FIT), il paraît normal de chercher, s'il existait une certaine variation concomitante des totaux pluviométriques. C'est ce que nous avons essayé de voir, en cherchant à comparer les séries chronologiques entre elles. A cet effet, nous avons calculé l'indice de co-variation  $i$  qui est défini pour deux séries chronologiques données, par la relation suivante:

$$i = \frac{c-d}{c+d} \quad (1)$$

- $c$  étant le nombre d'années où l'on a noté des écarts à la normale (moyenne) de mêmes signes dans les deux séries
- $d$ : le nombre d'années où ces écarts ont été de signes contraires
- $i$ : varie de  $-1$  (tous les écarts sont de signes contraires) à  $+1$  (tous les écarts sont de mêmes signes)

## II.1 Variation temporelle concomitante des totaux mensuels.

De Juin à Octobre pour la période 1932-1985, soit cinquante quatre ans, la formule (1) nous donne l'indice  $i$  pour toutes les combinaisons possibles. Les résultats sont donnés dans les tableaux 9 à 14 en annexe.

Bien qu'il n'existe, à notre connaissance, aucun test de signification pour  $i$ , les valeurs obtenues permettent de conclure à une certaine co-variation pour la pluviosité mensuelle de ces quatre stations prises 2 à 2 à savoir: Dakar et Nioussé, Dakar et

, $\delta^T$ -Louis, Dakar et Tamba, Nioubel et  $\delta^T$ -Louis, Nioubel et Tamba et enfin  $\delta^T$ -Louis et Tamba.

## II.2/ Variation temporelle concomitante des totaux annuels.

La formule (1) a été utilisée pour le calcul de  $i$ , mais nous considérons ici trois cas :

### II.2.1/ La période 1932-1985

Seules les combinaisons suivantes ont été considérées dans le calcul de  $i$ ; il s'agit de Dakar et Nioubel, Dakar et  $\delta^T$ -Louis, Dakar et Tamba, Nioubel et  $\delta^T$ -Louis, Nioubel et Tamba,  $\delta^T$ -Louis et Tamba.

Les résultats de calcul sont au tableau 15 (en annexe)

### II.2.2/ La période 1950-1967

Un simple examen des graphiques chronologiques montre que la période 1950-1967 est excédentaire alors que celle de 1968-1985 est déficitaire.

Pour cette période 1950-1967, nous avons considéré cinq stations au lieu de quatre; i.e les quatre premières plus celle de Linguère puisque pour cette dernière les observations ont été régulières depuis 1934. Les valeurs trouvées pour l'indice  $i$  figurent au tableau 16 (en annexe).

### II.2.3/ La période 1968-1985

Cette période bien que déficitaire par rapport à la moyenne 1932-1985 a connu quelques oscillations marquées par des pics

(voir graphique) et des yeux. Les valeurs de l'indice de co-variations  $i$  sont au tableau 17. D'une manière générale, les valeurs obtenues nous permettent de conclure à une certaine co-variation des pluviosités aussi bien mensuelles qu'annuelles, bien qu'il n'existe, à notre connaissance, aucun test de signification pour l'indice de co-variation  $i$ . Mais, entre la période humide 1950-1967 et la période sèche 1968-1985, il y a quelques différences qu'il convient de souligner.

- période 1950-1967: les valeurs maximales de  $i$  sont obtenues entre Nioumbel et St-Louis (0.66) et entre Dakar et Nioumbel (0.55); quant à la minimale (-0.11), elle est rencontrée entre Dakar et Tamba d'une part, Linguère et Tamba de l'autre.

- période 1968-1985: entre Nioumbel et St-Louis où on avait la plus grande valeur (0.66) de  $i$  pour la période 1950-1967 nous avons un minimum de -0.11 pour cette période 1968-1985 et puis entre Tamba et Linguère, nous avons une valeur nulle au lieu de -0.11.

### III. Analyser des précipitations annuelles

Nous avons utilisé deux méthodes pour ce faire.

III.1 Méthode sans distribution: La statistique descriptive.

Les quantités de pluies pour la période 1932-1985 que nous analysons, sont de  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . La moyenne  $\bar{x}$  et la déviation



standard  $s$ , sont souvent utilisées comme indicateurs. Cependant, la moyenne peut être une mesure trompeuse de la quantité "moyenne" de pluie, si la distribution est oblique et la déviation standard peut être difficile à interpréter.

La médiane (percentile 50%) est "l'observation au milieu" et celle-ci donne une bonne idée de la quantité "moyenne" de pluie. Les autres percentiles résument l'étendue de la distribution.

Si les valeurs mises en ordre croissant sont  $x(1), x(2), \dots, x(n)$  - voir la 2<sup>e</sup> colonne des tables - la valeur dépassée dans  $a\%$  des cas est  $x(a(n+1)/100)$ . Par exemple, pour trouver la valeur dépassée durant 20% des cinquante quatre années de données à Dakar, il faut évaluer d'abord  $20 \times (54+1)/100$ , soit 11. Ensuite, on cherche l'observation 11<sup>e</sup> dans la 3<sup>e</sup> colonne de la table concernant Dakar. Ce qui donne une valeur de 323.4 mm.

On peut présenter la forme de la distribution par un histogramme; ceci ne pouvant pas être généralisé à moins que  $n$  soit très grand. Un dessin du pourcentage cumulé, sera plus utile. On fait ceci en traçant le graphique avec  $100i/n+1$  en ordonnée et  $x(i)$  en abscisse; donc, pour les données pluviométriques annuelles des différentes stations Dakar, Diourbel, St-Louis et Tamba pour la période 1932-1985, nous traçons  $\frac{100i}{54+1} = 1.8182i$  en ordonnée et les données qui figurent dans la 2<sup>e</sup> colonne de la table, concernant chaque station en abscisse.

Les figures en annexe le montrent bien. En consultant, ces

graphiques, on peut découvrir le pourcentage des années pour lesquelles la quantité de pluie était inférieure à n'importe quelle valeur donnée et vice-versa.

### III.21 Méthode avec distribution normale

Si nous supposons que la distribution de la pluviométrie est normale, la moyenne de l'échantillon  $\bar{x}$  équivaut approximativement à la moyenne de la distribution. De même, la déviation standard  $s$  de l'échantillon est un estimateur de la déviation standard de la distribution  $\sigma$ . Tous les percentiles sont alors obtenus en étudiant la distribution normale.

Il existe une table donnant les percentiles de la distribution normale centrée réduite.  $P\%$  de la distribution est inférieur à la valeur  $Z$ . Si une série de données vient d'une distribution normale avec la moyenne  $\mu$  et la déviation standard  $\sigma$ , en se servant de la table de la distribution normale centrée réduite [6], on voit que  $P\%$  de la distribution est inférieur à  $\mu + Z\sigma$ . Nous calculons alors que  $P\%$  de la distribution sera inférieur à  $x + Zs$ , où  $x$  et  $s$  sont la moyenne et la déviation standard des données. Par exemple, pour les données de  $\delta$ -kar  $x = 495.2$  mm et  $s = 199.4$  mm.

Si nous voulons le percentile 20%, la valeur de  $z = 0.842$ . Nous devons donc supposer que pendant un an sur cinq, la pluie sera inférieure à  $495.2 - 0.842 \times 199.4 = 327.3$  mm.

Comme on le voit, en supposant que la distribution est normale, nous faisons une erreur de  $327.3 - 323.4 = 3.9$  mm. Si nous

supposons que la distribution est normale avec la moyenne  $\mu$  et la déviation standard  $\sigma$ , on obtient la proportion de la distribution inférieure à une certaine valeur de  $x$  en calculant  $z = \frac{x - \mu}{\sigma}$  et en lisant la proportion qui correspond à cette valeur de  $z$  dans la table.

Ceci nous a permis de construire d'autres graphiques 23e26 (voir annexe) qui permettent de découvrir le pourcentage des années par lesquelles la quantité de pluie était inférieure à n'importe quelle valeur donnée et vice-versa. Ceci est très important puisque les données pour des précipitations tombées au cours d'une certaine année sont souvent rapportées simplement, en les comparant à la "norme climatique" ou la moyenne, donnant par exemple, le "pourcentage de déviation de la norme". Ceci a quelquefois peu d'importance en soi-même et il sera plus utile d'indiquer, en plus jusqu'à quel point l'année était extrême, en regardant le pourcentage des années où les résultats étaient encore plus extrêmes.

Il est utile de donner des limites de confiance pour les percentiles de la distribution qu'on a supposée, bien que ceci arrive rarement en fait.

Pour notre période d'observation 1932-1985 (54 ans), si nous supposons qu'une distribution est normale, on peut estimer l'erreur standard à l'aide de la formule suivante :

$$S^2/n + Z^2 S^2 / 2(n-1) \text{ où}$$

-  $S$  est la déviation standard

-  $Z$  est obtenu à partir de la table de la distribution normale pour une probabilité donnée.

-  $n$  est le nombre d'années d'observations. Pour notre cas,  $n=54$ ; donc l'erreur standard sera égale à :

$$S^2/54 + \frac{Z^2 \cdot S^2}{2(54-1)} = \frac{S^2}{54} + \frac{(Z \cdot S)^2}{106} \quad (2)$$

### III.3 Distribution fréquentielle de la pluviométrie

Les paramètres statistiques caractéristiques des séries chronologiques que nous avons utilisées dans notre étude sont répartis dans les tableaux 3 à 8 en annexe.

#### III.3.1 Distribution de la pluviométrie mensuelle

D'une manière générale, les distributions présentent, comme l'indiquent les tableaux, une asymétrie positive, c'est-à-dire une étallement sur la droite et un aplatissement également positif (courbe plus aigue que celle de Gauss).

#### III.3.2 Distribution de la pluviométrie annuelle.

Dans cette partie, nous avons certaines stations qui donnent des distributions avec asymétrie positive, et des aplatissements positifs et d'autres qui ont des asymétries positives et des aplatissements négatifs (voir tableaux 8)

Il est intéressant de souligner que les cas où l'asymétrie est négative sont négligeables par rapport aux autres (pluies mensuelles). Les distributions asymétriques avec des branches de gauche plus ou moins allongées (asymétrie négative) et les distributions asymétriques avec des branches de droite plus ou moins allongées

(asymétrie positive) peuvent être exprimées par la courbe théorique de Galton:

$$f(u) = \frac{1}{u\sqrt{2\pi} \ln E_g} \cdot e^{-\frac{(\ln u - \ln u_g)^2}{2 (\ln E_g)^2}} \quad (3)$$

où  $u$  - variable qui remplit la condition  $u > 0$

$u_g$ : moyenne géométrique

$E_g$  - écart "

La moyenne géométrique est calculée d'après la formule:

$$\ln u_g = \frac{\sum_{i=1}^n \ln u_i}{N} \quad (4)$$

L'écart géométrique est obtenu de la formule:

$$\ln E_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln u_i - \ln u_g)^2}{N}} \quad (5)$$

Les logarithmes utilisés sont les log népériens pour exécuter les calculs d'après la formule (3).

Parmi tous les tests statistiques, celui de Kolmogorov Smirnov est le mieux adapté pour ce genre de travail de pluviométrie annuelle. Dans ce test, l'écart entre les fréquences observées et celles théoriques est mesuré à partir des fréquences cumulées. Etant donné que ce sont justement les fréquences cumulées dont nous avons besoin pour établir les limites de classes, le test de Kolmogorov-Smirnov est particulièrement dans ce cas.

Nous avons travaillé avec la pluviométrie annuelle des stations de Dakar, Diourbel, St-Louis et Tambac.

La fréquence théorique cumulée (probabilité) est calculée à

partir de la formule suivante :

$$P(a \leq \mu \leq b) = \int_a^b \frac{1}{\mu \sqrt{2\pi} \ln E_g} \cdot e^{-\frac{(\ln \mu - \ln \mu_g)^2}{2(\ln E_g)^2}} d\mu \quad (6)$$

en appliquant la substitution :  $z = \frac{\ln \mu - \ln \mu_g}{\ln E_g}$  (7), on obtient

$$\frac{1}{\mu \ln E_g} = dz \quad (8)$$

$$\text{Ensuite } P(a \leq \mu \leq b) = \int_{a(z)}^{b(z)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (9)$$

La fonction sous l'intégrale est une fonction gaussienne de variable  $z$ .

Pour les calculs, on peut utiliser les tables de Gauss, en calculant  $z(a)$  et  $z(b)$  de la formule (7); quand la probabilité est donnée, pour calculer les limites, on transforme la formule (7) et on obtient :  $\ln \mu = z \ln E_g + \ln \mu_g$  (10)

Les valeurs calculées des paramètres sont pour :

- Jakarta :  $\ln \mu_g = 6.11$  ;  $\ln E_g = 0.46$

- Djember :  $\ln \mu_g = 6.38$  ;  $\ln E_g = 0.33$

- ST-Louis :  $\ln \mu_g = 5.67$  ;  $\ln E_g = 0.43$

- Tamba :  $\ln \mu_g = 6.74$  ;  $\ln E_g = 0.25$

Si on se réfère aux courbes théoriques pour les précipitations annuelles, et à celle qui a permis l'établissement de classes pour les précipitations annuelles [ ] - voir figure en annexe -, on constate que de 1932 à 1985 :

Jakarta a connu :

- cinq (5) années sèches où les précipitations étaient inférieures à 250 mm ;
- vingt (20) années où elles étaient comprises entre 250 mm inclus et 450 mm exclus ; ce qui correspond dans le classement numérique des climats mondiaux pour le premier cas à la classe 0 et pour le second à la classe 1 ;
- vingt trois années où les précipitations étaient comprises entre 450 mm inclus et 800 mm exclus ; ce qui correspond à la classe 2 ;
- six années où elles étaient comprises entre 800 mm inclus et 920 mm ; ce qui tombe dans la classe 3 ;

Dinur bel a connu :

- zéro (0) année où les précipitations étaient inférieures à 250 mm (classe non définie) ;
- douze (12) années où les précipitations étaient comprises entre 250 mm inclus et 450 mm exclus (classe 1) ;
- trente deux (32) années où elles étaient comprises entre 450 mm inclus et 800 mm exclus (classe 2) ;
- dix (10) années où elles se situent entre 800 mm inclus et 1160 mm exclus (classe 3) ;

St-Louis a connu :

- dix neuf (19) années où les précipitations étaient inférieures à 250 mm (classe 0)

- vingt huit (28) années où elles se situent entre 250 mm inclus et 450 mm exclus (classe 1);
- sept (7) où elles se situent entre 450 inclus inclus et 600 mm exclus (classe 2);

Tamba a connu :

- zéro (0) où les précipitations étaient inférieures à 450; c'ad pas de classe 0, ni de classe 1;
- dix sept (17) où les précipitations étaient comprises entre 457 mm inclus et 800 mm (classe 2);
- trente sept (37) années de précipitations comprises entre 800 mm inclus et 1250 mm (classe 3);

Les noms donnés aux classes correspondantes sont les suivants :

- classe 0 - climat sec ou aride;
- classe 1 - climat assez sec ou semi-aride;
- classe 2 - climat avec précipitations modérées;
- classe 3 - climat assez humide;
- classe 4 - climat humide;

D'après ce que nous venons de voir, nous constatons que depuis 1932 les quatre zones (Dakar, Diourbel, St-Louis et Tamba) n'ont pas connu de climat humide.

St-Louis n'a connu que de climats soit secs (arides) ou assez secs (semi-arides).

Tamba ne connaît pas encore de climats arides ou semi-arides.



Journal, quant à lui, a connu des climats semi-arides, mais pas d'arides.

Dakar a accusé cinq (5) années de climats arides.

En conclusion, sur ce paragraphe, il convient de dire que le phénomène d'aridité n'est pas nouveau dans la partie Nord du pays, mais que ce sont certainement les actions désordonnées de l'homme qui ont fait que la situation est devenue insupportable actuellement.

#### IV Recherche de tendance.

Que faut-il entendre par tendance? Il semblerait que l'on puisse imaginer la tendance comme un mouvement à longue période. - Naturellement, le qualificatif "longue" dépend de l'échelle à laquelle on se réfère et de la situation qui se présente.

Ainsi, si nous considérons les graphiques des précipitations annuelles en pourcentage de la normale (moyenne) de la période 1932-1985, il semblerait que de 1950 à 1968 (soit 18 ans), la pluviométrie était supérieure à la normale ou bien normale d'une manière générale et que les plus grandes valeurs se situeraient vers les années 1950 et les plus petites vers les années 1970.

Est-ce là une tendance à la baisse? De toutes les façons, la bonne pluviométrie a eu de bonnes conséquences sur le plan économique et social; ce qui a fait que cette période est passée très vite (période de 18 ans). Quant à la période 1968-1985 (18 ans), la pluviométrie des stations considérées dans notre étude (voir graphiques) était, d'une

manière générale, inférieure à la normale. Les minimums se situant vers la fin de la période. Seule l'année 1985, pour certaines stations (sites, zones), tend à se rapprocher de la norme climatique de cette période 1932-1985. A la différence de la période 1950-1967, la période 1968-1985 a connu de sérieuses perturbations, sur le plan économique et social: mauvaise récolte, inflation, exode rural etc..., c'est pourquoi cette période a semblé durer plus longtemps qu'en réalité. Etant donné que les quantités de pluie ont semblé diminuer avec le temps de 1968 à 1985, on pourrait également se demander, si ceci est une tendance à la baisse.

#### IV. 1 Recherche de tendance entre classement chronologique et classement par valeurs décroissantes pour la période 1932-1985.

Supposons que de 1932 à 1985 la pluviométrie ait régulièrement baissé, que les plus grandes valeurs se situassent au début de la période et les plus petites valeurs vers la fin.

Si cela est vrai, la corrélation entre classement chronologique et classement par valeurs décroissantes, doit nous fournir un assez bon coefficient de corrélation; dans le cas contraire, l'hypothèse d'une tendance à la baisse est à rejeter et le phénomène de tendance à la baisse ou à la hausse d'une période à l'autre, d'une année à l'autre ne pouvant être considéré que comme un événement purement aléatoire.

Les résultats de calcul ont été les suivants pour la période

- 1932-1985 :
- Jabar  $\rightarrow$  0.22
  - Jember  $\rightarrow$  0.20
  - St-Louis  $\rightarrow$  0.18
  - Tamba  $\rightarrow$  0.29

Les valeurs de ces différents coefficients sont pratiquement toutes égales aux valeurs critiques dont le seuil est compris entre 0.02 et 0.20.

Ceci prouve bien l'absence d'une tendance à la baisse.

#### IV.2 Recherche de tendance entre classements chronologique et par valeurs décroissantes pour la période 1950-1967.

Les résultats de calculs ont donné les coefficients de corrélation suivants :

- Jakarta  $\rightarrow$  0.14
- Jember  $\rightarrow$  0.33
- St-Louis  $\rightarrow$  0.01
- Tamba  $\rightarrow$  0.08

Bien que le coefficient de corrélation trouvé à Jember soit plus élevé que les autres, il ne peut pas être considéré, au seuil de 95% ; c'est pourquoi là aussi l'hypothèse d'une tendance à la baisse est à rejeter.

#### IV.3 Recherche d'une tendance entre classements chronologique et par valeurs décroissantes pour la période 68-85

Pour les mêmes stations, on a obtenu des coefficients de corrélation suivants (et dans l'ordre) : 0.04, 0.11, 0.19 et 0.31.

Tous ces coefficients, sont inférieurs aux valeurs critiques; donc n'ont aucune signification.

En conclusion, nous pouvons bien accepter l'hypothèse de tendance nulle pour les trois périodes que nous venons de voir. Cependant, la pluviométrie de l'année 1985, se situe sur la branche montante d'une oscillation aléatoire qui peut continuer à monter ou à descendre.

#### IV.41 Recherche de tendance entre classements chronologiques des périodes (1950-1967) et (1968-1985)

Les résultats de calcul de la corrélation entre ces deux classements, sont les suivants :

- Dakar  $\rightarrow$  0.52
- Nioubel  $\rightarrow$  0.01
- St-Louis  $\rightarrow$  0.57
- Tamba  $\rightarrow$  0.02

Comme ça, se voit ici, les coefficients de corrélation trouvés, sont insignifiants pour Nioubel et Tamba; mais le signe négatif indique que la pluviométrie annuelle de la période 1950-1967 est plus élevée que celle de la période 1968-1985. Quant aux valeurs 0.52 et 0.57 pour Dakar et St-Louis respectivement, elles sont significatives, au seuil compris entre 0.01 et 0.05; i.e. entre une chance sur cent et cinq chances sur cent. Ce qui est statistiquement peu vraisemblable.

Plus pouvons conclure, sur ce paragraphe, que les coefficients de corrélation trouvés entre classements chronologiques sont statistiquement peu vraisemblables puisque le seuil à considérer est compris entre 0.01 et 0.05 avec des probabilités de 0.99 et 0.95. Or ces probabilités sont très élevées et considérer un événement ou un phénomène avec de telles probabilités est un grand risque surtout que la précision est très élevée.

## V Conclusion:

De cette étude, il ressort clairement qu'aucune tendance ne se manifeste dans l'évolution de la pluviosité au Sénégal, seulement des oscillations qu'il est difficile d'interpréter compte tenu du faible nombre d'années considérées. En fin de compte, la période d'années déficitaires que vient de traverser le pays apparaît nullement étrangère aux prévisions statistiques. Elle constitue, tout au plus, l'un des creux d'une évolution oscillatoire. L'année 1985 qui se trouve être sur l'une des branches montantes de cette évolution oscillatoire, semble être une année de transition, si l'on considère que de 1950 à 1967 (18 ans), le Sénégal a connu une bonne pluviométrie et que 1967 à 1984 (18 ans), un déficit pluviométrique d'une manière générale. Seules les années à venir pourront confirmer ou infirmer cette position de l'année 1985 en matière de pluviométrie.

Au Sénégal, il semble possible de conclure à une certaine covariation des totaux pluviométriques. Cette covariation est remarquable si l'on considère les valeurs de l'indice de covariation

obtenues pour la période humide (ici 1950-1967) et la période déficitaire (1968-1985).

Le Sénégal, depuis 1932, ne connaît pas de climat humide si l'on se réfère à la classification numérique des climats mondiaux.

Au cours de l'exposé de ces quelques méthodes pratiques d'analyse, nous avons essayé d'être aussi clairs et précis que possible, sans pour autant nous flatter d'y être parfaitement parvenus.

Des recherches nouvelles dans les autres stations où il n'en a pas encore été entreprises concernant non seulement la pluviométrie, mais aussi les autres paramètres météorologiques, devraient être encouragées par la relative facilité que présentent la plupart de ces méthodes.

## VI Recommandations:

Il est recommandé aux décideurs et aux utilisateurs de faire beaucoup attention dans les décisions à prendre, surtout dans le cadre de la planification de la répartition des variétés culturales dans les zones écologiques, car, en effet, comme vous pouvez le constater ici:

Si nous considérons la période 1932-1985, il apparaît que de 1950 à 1967, la pluviométrie était normale ou proche de la normale. Ce qui n'est pas le cas pour la pluviométrie recueillie de 1968 à 1985 qui, elle, est tout à fait déficitaire par rapport à la normale.

Par contre, si nous prenons individuellement ces périodes,

nous voyons que la période 1968-1985 bien déficitaire, pour certaines zones la courbe, est au-dessus de celle considérée entre 1932 et 1985; donc, une variété sélectionnée au cours de cette période peut bien, se comporter dans des zones où la pluviométrie tend à se rapprocher de la médiane de la quantité de pluie, calculée sur la base des observations faites de 1968 à 1985; alors que, si nous considérons la longue période, nous risquons de perdre des zones climatiques donc de faire une mauvaise planification. Nous pouvons, d'une manière analogue, faire la même analyse pour les autres périodes.

## 2<sup>ème</sup> PARTIE

COMPOSANTES DU CYCLE HYDROLOGIQUE



## Introduction:

Partout dans le monde, l'on s'accorde sur le fait que ce sont les pluies qui alimentent les nappes. Aussi, importe-t-il de s'attarder sur les processus et transformations auxquels sont soumises les précipitations atmosphériques durant le cycle hydrologique dans le but de mieux cerner le degré d'importance de l'alimentation des aquifères; mais aussi et surtout de voir les possibilités naturelles offertes à la maîtrise de l'eau. En d'autres termes, il s'agit de décrire le rapport susceptible d'exister entre la pluviométrie et les autres composantes du cycle hydrologiques: infiltration, ruissellement, évapotranspiration etc...

A cet effet, nous tenterons de synthétiser les études hydrogéologiques régionales éparpillées sur l'objet de la présente partie; études qui concernent principalement les calcaires paléocènes de la région de Mbour et la partie du Sénégal sous l'isohyète 800 mm; i.e au sud de l'isohyète 800 mm. À l'intérieur de cette seconde partie, seront choisies cinq (5) mailles de 5000 km<sup>2</sup> chacune devant faire l'objet d'études hydrogéologiques, afin qu'elles soient représentatives de la superficie couverte. Rappelons que la zone située au sud de l'isohyète 800 mm couvre une superficie de 83.000 km<sup>2</sup> environ. Les domaines exclus de l'étude sont les suivants: basse et moyenne Casamance, projet agricole de Sédhiou, bassin de l'Anambé, vallée du Bao-Bolon et le parc de Niokolo-Koba. Ils regroupent, comme on peut le voir, des zones couvertes par des projets d'aménagement où la question des ressources en eau et leur utilisation a été traitée.

Pour chaque maille étudiée ainsi que pour la région de Mbour, la démarche suivante a été adoptée :

- situation (localisation et caractéristiques particulières)
- pluviométrie locale (bref aperçu sur elle)
- cadre géologique
- aquifères rencontrés
- ruissellement de surface
- piézométrie
- alimentation
- évapotranspiration.

## I. Calcaires paléocènes de la région de Mbour :

situation : (fig. 1 de la page 37)

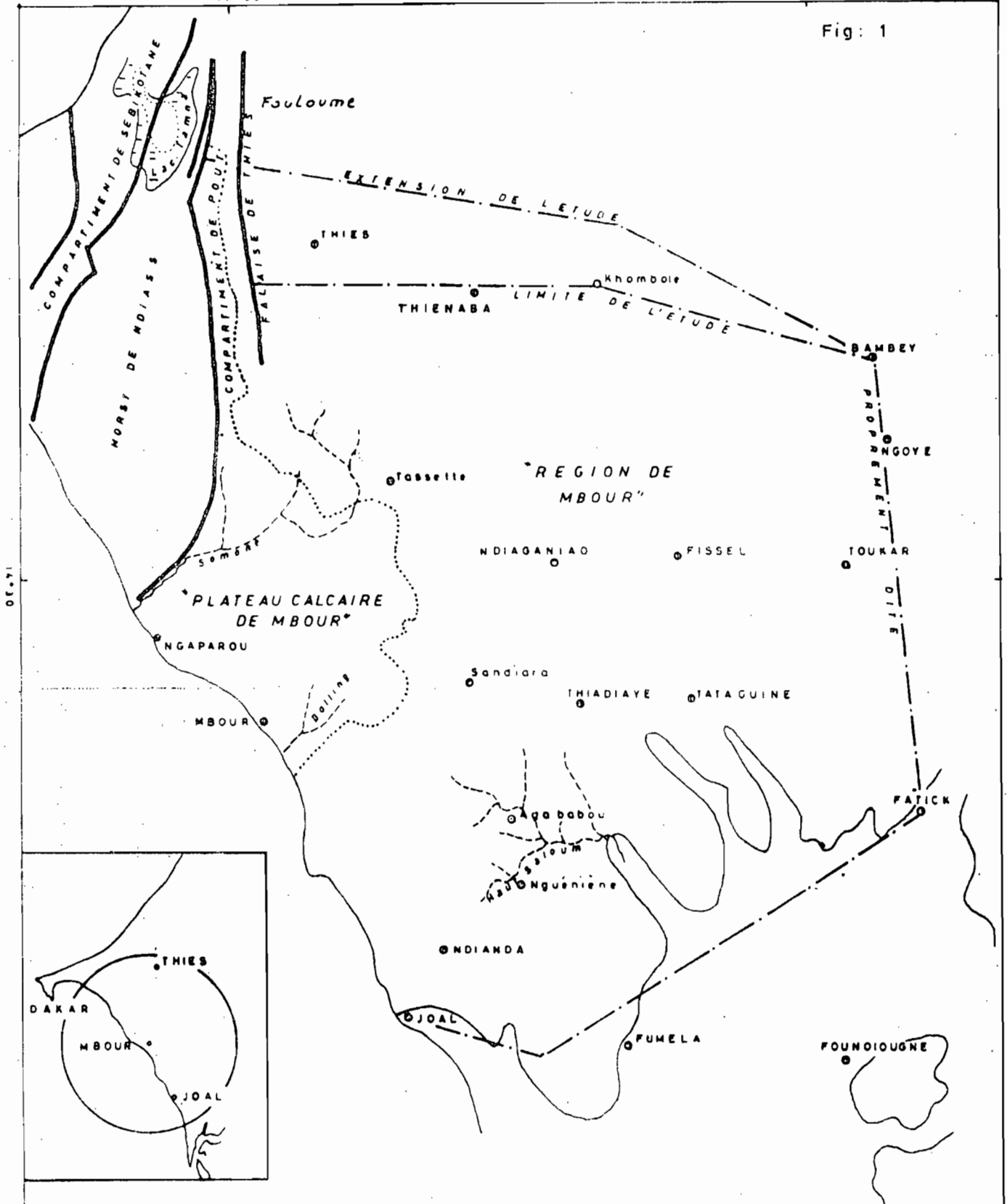
La zone en question, d'une surface approximative de 3600 km<sup>2</sup>, est située dans la partie occidentale du Sénégal en bordure de la côte atlantique, Sud à environ 100 km de Dakar.

Les limites sont : la côte atlantique entre Joal et NGaparou en passant par Mbour, le flanc oriental du bois de Ndiass, entre l'embouchure de la Somone et Pont, la route de Pont à Fatick en passant par Thiès et Bambey et enfin les segments de droite tracés entre Fatick, Fumela et Joal.

Le habitat est dispersé et la densité de population (sérère en majorité) relativement importante.

Il s'agit d'une zone à vocation agricole avec comme cultures essentielles

Fig: 1



SITUATION GEOGRAPHIQUE

ECHELLE 1/500.000

— Fractures principales

..... Limite d'affleurement des Calcaires paléocènes

le mil, les arachides, les arbres fruitiers. Le maraîchage y est pratiqué à certains endroits grâce à une irrigation quasi permanente.

### Pluviométrie: (fig. 2 de la page 27)

Le climat de la région est caractérisé par une pluviosité moyenne annuelle, dite normale, comprise entre un peu moins de 600 mm au Nord et un peu plus de 800 mm au Sud; soit environ 700 mm.

La carte de isohyètes montre une répartition tourmentée des précipitations avec augmentation du Nord au Sud et d'Est en Ouest (fig 2 page 27)

Les précipitations en 1978, sont comprises entre 500 mm au Nord et à l'Est, 600 mm au Nord-Est et près de 780 mm le long de la côte. L'isohyète 650 mm traverse la région du Nord-Ouest au Sud-Est et réapparaît autour de Gambey, au Nord-Est.

Globalement, les précipitations de 1978, sont relativement peu déficitaires par rapport à la moyenne annuelle car elles paraissent soumises à une influence marine très prononcée. Cette influence pondère l'effet de la sécheresse.

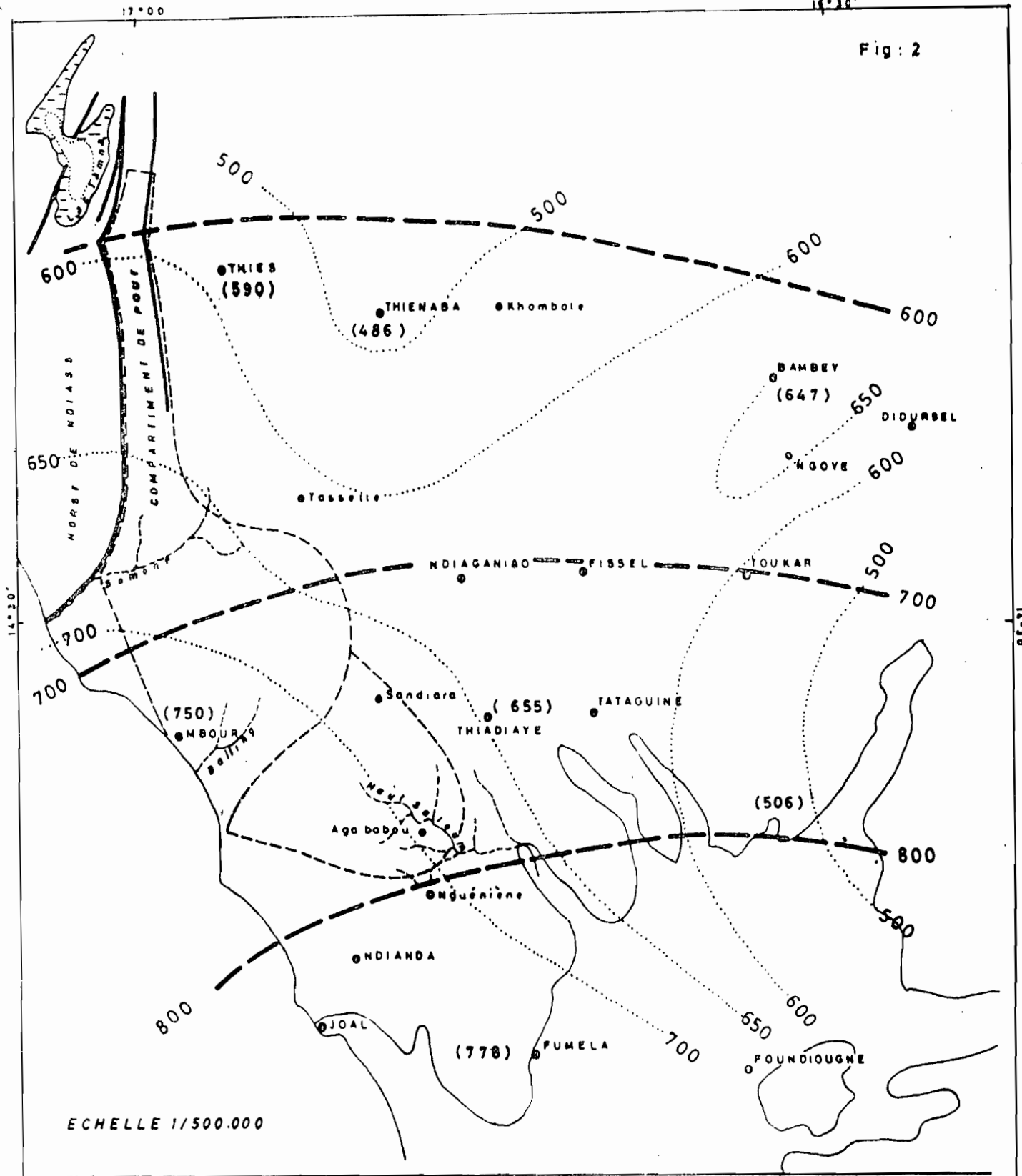
Sur la carte des isohyètes apparaissent les limites de l'impluvium des calcaires "paléocènes" à travers lequel, sont sensées, se produire les infiltrations consécutives aux précipitations ainsi qu'au ruissellement des eaux de surface.

Entre juin 1978 et juin 1980, la lame d'eau précipitée est d'environ 670 mm, sur la surface de cet impluvium.

### Géologie (fig 3 de la page 31)

La région étudiée est le prolongement vers le Sud-Est de la presqu'île du Cap-Vert, celle-ci constituant la partie la plus occidentale du bassin

Fig: 2



ECHELLE 1/500.000

### CARTE PLUVIOMETRIQUE ET IMPLUVIUM

ISOHYETES en mm

- 700 — Moyenne annuelle
- ..... 600 ..... Mai 1978 - 1979 (Total enregistré: (778))
- — — — — Limites de l'impluvium

sédimentaire, sénégalo-mauritanien.

Le socle primaire de ce bassin s'enfonce progressivement d'Est en Ouest pour atteindre plusieurs milliers de mètres de profondeur à la verticale de Dakar.

La structure se singularise dans la presqu'île du Cap-Vert par une tectonique cassante dont la résultante des forces paraît être axée sur le horst de Ndiass d'âge maestrichtien.

La région étudiée vient s'appuyer contre le flanc oriental de ce horst par le biais de bancs calcaires "paléocènes" dont les blocs tout d'abord subaffleurents et subhorizontaux, s'enfoncent en gradients désordonnés vers le Sud-Est, sous des épaisseurs croissantes de formations tertiaires marneuses et argilo-sableuses.

La stratigraphie de cette région est largement connue grâce aux nombreux forages pétroliers et hydrauliques. Des subdivisions généralement adoptées, sont les suivantes :

1. Le secondaire

- le maestrichtien ou dernier étage du crétacé supérieur constitué d'argiles, de sables azoïques et grès en proportions variables.

2. Le tertiaire :

- Le Paléocène constitué de marno-calcaires et de calcaires zoogènes plus ou moins karstifiés pour une puissance totale d'environ 100 m.

- l'yprien ou éocène inférieur, essentiellement constitué d'argiles et de marnes blanches à grises et devenant plus marno-calcaire au sommet.

- le Lutétien ou éocène moyen, calcaire et marno-calcaire.

- Les niveaux latéritiques et argilo-sableux post-éocène d'origine détritique dits du "Continental terminal".

### 3. Le quaternaire:

Il est constitué de sables plus ou moins grossiers riches en coquilles. Ces sables, à la faveur des transgressions du quaternaire, ont donné lieu à des dépôts dans les dépressions interdunaires et dans les zones déprimées. Celles-ci correspondent souvent à des vallées qui se sont surcreusées au cours de la régression de la fin du Pliocène dans les zones de moindre résistance au niveau des accidents tectoniques les plus importants.

### 4. Les calcaires "paléocènes":

#### 4.1. Description des faciès:

Le paléocène affleure à Popenquine sous ses trois faciès. La base est constituée, sur une épaisseur de 70 m, de bancs calcaire-marneux et marneux. Ce niveau dit "marno-calcaire de Ndéyane" est surmonté par une formation peu épaisse, discontinue et marneuse à rosettes de calcite. Au-dessus apparaissent des calcaires zoogènes dont l'épaisseur est réduite à Popenquine par érosion mais qui atteint 50 m sur les flancs du horst de Ndiass.

Sur le flanc Est du massif de Ndiass, le Paléocène affleure sous son faciès zoogène. Ces affleurements sont plus ou moins karstifiés. Cette karstification s'étend très loin au-delà de Hbour sur les affleurements du Balling. En profondeur, on ne retrouve pas le niveau à rosette de calcite et les calcaires zoogènes plus ou moins karstifiés paraissent reposer sur une formation marno-calcaire de puissance

variable qui doit correspondre au niveau de "Noléyané".

Vers les limites Sud, Est et Nord de la région étudiée l'ensemble de ces faciès devient progressivement plus marneux mais d'une façon hétérogène et discontinue.

Le passage des marnes yprésiennes aux calcaires paléocènes, se fait fréquemment par un niveau marneux ou argileux à silex.

- Potons, enfin, que l'appellation calcaire "paléocène" n'est pas rigoureuse du point de vue stratigraphique faute d'analyse micro-paléontologiques.

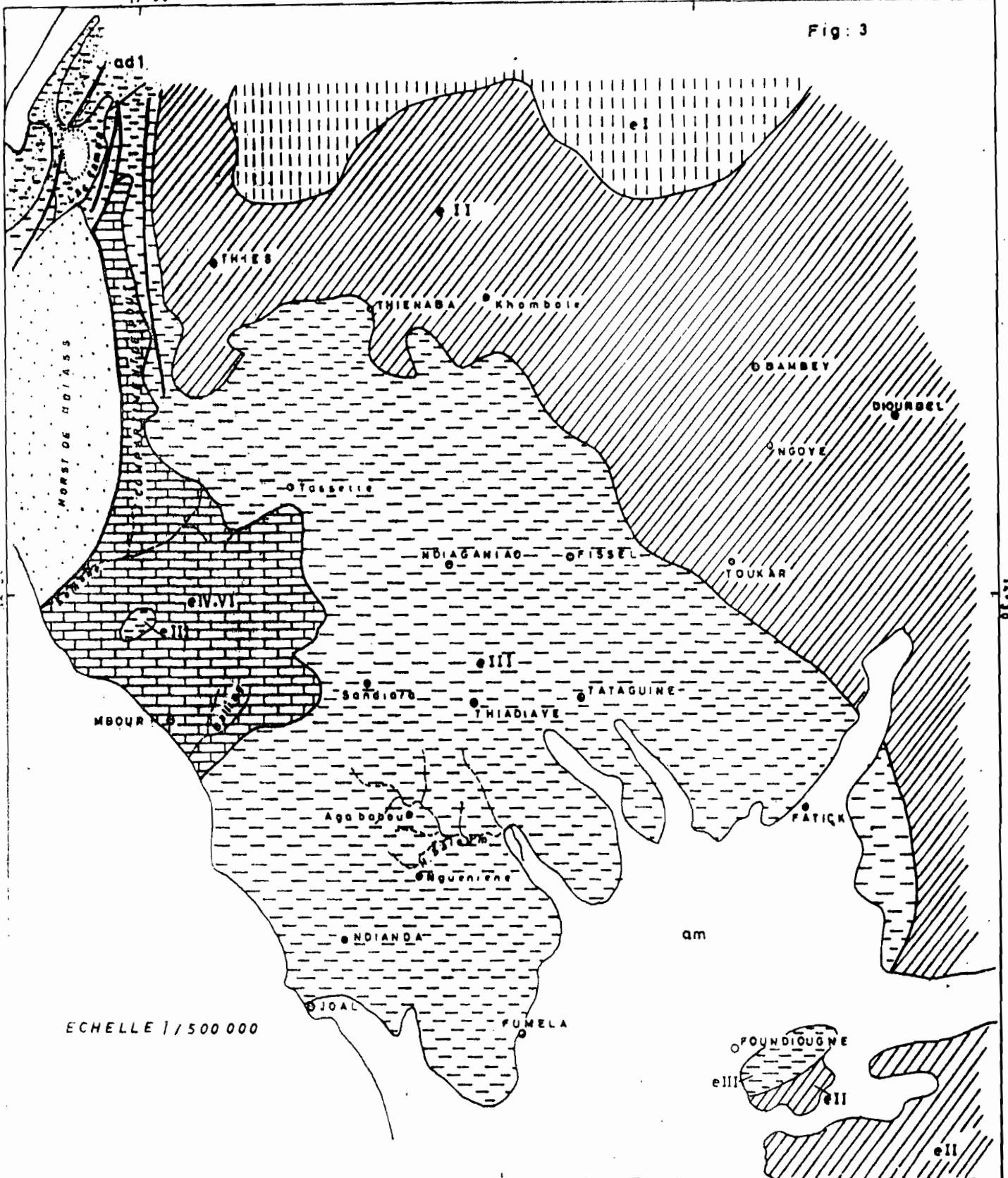
#### 4.2. Analyse structurale et tectonique

L'exploitation des données de sondage, l'observation des affleurements et l'utilisation des photo-aériennes ont permis la construction des cartes des isobathes et des isohypses du toit des calcaires "paléocènes" (planches 3 et 4) ainsi que celle des coupes géologiques (fig 3 et planche 5).








On observe dans les zones où les calcaires sont subaffleurants, le bloc nettement surélevé du compartiment de Pout (+5 à +35 m) et un plateau légèrement bombé (-10 à +5 m) au Nord-Est de Mbou. Ces deux blocs très fracturés et partiellement érodés, sont reliés de façon assez mal connue, sous la forêt de Bandia. Autour, le massif calcaire s'enfonce par gradins cahotiques jusqu'à -125 m au Nord vers Khombde, -140 m au Nord-Est vers Bamboy, -100 m à l'Est vers Fatick et autant au Sud vers Fumela. L'épaisseur totale est de l'ordre de 100 m, l'érosion peut ramener celle-ci à quelques dizaines



Fig: 3



### CONTEXTE GEOLOGIQUE

QUATERNAIRE		Dunes récentes - vases et sables marins	} recouvert presque totalement par les sables du "Continental terminal"
		Dunes fixées	
TERTIAIRE		Lutétien supérieur calcaire à nummulites marnes	
		Lutétien inférieur Marnes calcaires niveaux phosphatés	
		Eocène inférieur Marnes papyracées Marno-calcaires	
SECONDAIRE		Paléocène Calcaires zoogènes	
		Maestrichtien (sables et grés)	

de mètres comme, sous le Balling et à l'Est de Bandia.  
Les fractures observées, dont les orientations, sont plus probables qu'évidentes, semblent avoir pour origine, une poussée profonde, transmise par le maestrichtien. Leurs orientations principales, Nord-Sud au niveau du compartiment de Pont, devient oblique, Nord, Ouest-Sud, Est contre le plateau calcaire de Mbou. Une faille importante apparaît au Nord-Est à Ngangoulam.

La carte des isobathes observée du toit des calcaires paléocènes n'est que le reflet des isohyres de la même surface, déformé par le relief régional. Cette carte, utile pour l'implantation des forages, permettra notamment d'apprécier l'épaisseur du recouvrement argilo-sableux sur les calcaires karstiques érodés en partie, non recouverts par l'écran imperméable des marnes yprésiennes. C'est dans cette zone de subsaffleure des calcaires que se produit l'essentiel des échanges verticaux avec l'atmosphère (infiltration, évapotranspiration).

#### Ruissellement de surface:

Les bassins topographiques qui déterminent le ruissellement superficiel, sont indépendants et assez différents dans leurs tracés, du système hydraulique étudié.

Il existe différents axes d'écoulement superficiels possibles:

##### 1. Compartiment de Pont:

- Au Nord de la route de Thiès, l'écoulement superficiel s'oriente de la falaise de Thiès vers le lac Tamno.

- Au Sud de cette voie, il s'oriente de la falaise de Thiès vers le

Somone, au Sud.

## 2. Région de Mbour:

- À l'ouest de la route Dakar-Mbour, le ruissellement superficiel s'oriente vers l'océan.

- Au centre de la région, deux axes apparaissent de Tasset vers le Balling et du centre de la région vers Thiadaye et au-delà vers le Saloum.

- Au Sud de la région, une autre zone de ruissellement apparaît dans le secteur d'Ags-Bobou en direction du Saloum.

Il est inutile de préciser les surfaces respectives de ces différents bassins topographiques. Il suffit de savoir qu'ils se superposent en partie à l'impluvium du système délimité précédemment.

- Observations dans la zone d'étude, pendant la période correspondant au bilan de 1965 à 1980.

1. Pour le compartiment de Pont en général et le bassin versant de la Somone en particulier, divers jaugeages exécutés en 1973, 1975 et 1980 ainsi que la reconstitution sommaire de l'hydrogramme à l'aide de toutes les données disponibles entre 1965 et 1980, ont permis d'obtenir les valeurs suivantes du coefficient de ruissellement superficiel pur (débit de base non compris): 0.93% ; 0.87% ; 0.50% ; et 1.6% pour l'ensemble de l'hydrogramme. On admet une valeur moyenne de 1% correspondant à une lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin entre 1965 et 1980 de 500 mm, donc déficitaire de 200 mm environ par rapport à la normale 700 mm.

2. Pour la région de Mbour, il faut tout d'abord éliminer l'ouest de la route de Dakar qui est hors du système étudié et distinguer les deux zones suivantes:

- la zone centrale

Elle est constituée de deux bassins adjacents orientés vers le Balling et

vers Thiadiaye et au-delà. Le sol est sableux et argilo-sableux d'une profondeur de 5 à 20 m environ au-dessus des calcaires ou des argiles et marnes yprésiennes. Les photos aériennes montrent que les sables dunaires très aplatis, sont répartis en cordons orientés en travers de la pente générale, dans la direction des vents secs venant du Nord-Est porteurs de poussières et de sables éoliens. Ces bassins sont très étendus (30 à 40 km de long) et très plats. Ces caractéristiques sont de nature à déterminer un coefficient de ruissellement superficiel pur réduit. C'est bien ce qui a été constaté à l'aide de la station hydrologique installée au pont routier du Balling près de Mbour. Pendant les hivernages 1978 et 1979, aucun ruissellement important n'a pu être observé.

- La zone Sud correspondant au bassin versant de Foua dans la région d'Agou-Babou, est remarquable par les crues spectaculaires qui surviennent même en année à pluviosité déficitaire. D'importantes réserves d'eau se constituent dans les creux topographiques de cette région. Elles occasionnent des percolations à travers les marnes jusqu'aux calcaires paléocènes sous-jacents. Le bassin versant de Foua présente des caractéristiques favorables pour un ruissellement relativement important. Le bassin est très peu perméable par la présence des marnes yprésiennes subaffleurantes. Il est relativement peu étendu (150 km<sup>2</sup>) et présente une compacité favorable au ruissellement. Toutefois, aucune mesure n'a permis d'aborder le calcul d'un coefficient de ruissellement.

- Observations sur le flanc occidental du horst de Ndiass

Le bassin versant de Sébikotane d'une surface de 94 km<sup>2</sup> a été étudié en 1962 par l'O.R.S.T.O.M avec une pluviosité de 632 mm. Le rapport, sorti fournit les résultats suivants:

- pour 632 mm:

- . Le coefficient de ruissellement total est de 6.9 %
- pour 640 mm (année normale)
  - . il est estimé à 5%
- pour 380 mm (sécheresse)
  - . il devient 1%
- pour 1000 mm (excédent)
  - . il s'élève à 12%

Seul le ruissellement superficiel pur, i.e le ruissellement total moins l'écoulement de base, nous intéresse. Des données du rapport nous permettent d'aboutir respectivement aux coefficients de ruissellement pur de : 5.2% ; 3.7% ; 0.7% et 9%.

- Conclusion pour le choix des coefficients de ruissellement superficiel pur pour la période 1965-1980 :

Bien que les bassins versants de Sébikotane et de la Somone ne soient pas strictement comparables, ne serait-ce que par la surface et la forme, le coefficient de 1% pour la Somone ne paraît pas sous-estimés pour cette période de 1965 à 1980 présentant un déficit pluviométrique.

Nous adopterons pour la région centrale de Mbou où les ruissellements ont été encore plus réduits, un coefficient de 0.5%. Pour la région d'Agabou au Sud, où le ruissellement est important en période déficitaire, nous adopterons un coefficient relativement élevé mais compatible avec les inévitables pertes par évapotranspiration et infiltration (95%), soit 5%.

- évaluation du coefficient de ruissellement superficiel pur moyen pour la période 1965-1980 :

Les coefficients correspondent aux surfaces suivantes dans les limites de l'impluvium :

1% pour le compartiment de Pout ; 196 km<sup>2</sup>

0.5% pour la région centrale de Mbour; 416 km<sup>2</sup>

5% pour la région Sud de Mbour; 212 km<sup>2</sup>.

Le coefficient moyen = 1.77%. Il est représentatif de la période considérée pour un volume  $V_{e.s} = 108.589.500 \text{ m}^3$ .

### Piezométrie: (figures 4 à 8 pages 39 à 43)

Les mesures piézométriques n'ont pas subi de corrections suivant la teneur en sel de l'eau afin d'uniformiser le plan de référence pour tous les points. L'influence de la teneur en sel qui varie de 500 à 3000 mg a été négligée; de même que celle de la température.

#### 1. Evolution dans l'espace:

La surface piézométrique se caractérise par une zone déprimée centrale au niveau du compartiment de Pont qui s'oriente vers le Sud en direction de Mbour pour s'infléchir vers l'Est.

En Octobre 1978, en période de crue, l'isopièze 0 m s'arrête à Sijane. Au mois de Juin 1979, en période d'étiage, elle s'enfonce vers le Sud-Est jusqu'à Niomar sous l'effet de la vidange de la nappe vers l'exutoire principal que constituent les pompages de Pont. Cette zone de drainage paraît s'étendre vers le Sud-Est en direction et un peu au-delà d'Aga-Babou et aussi vers le Nord de Ndiaganiao pour s'arrêter à Ndame. Tout autour de cette gouttière centrale, la piézométrie paraît se stabiliser de +2 à +3 m et plus vers les limites Nord, Nord-Est, Est et Sud de la région étudiée. Vers la côte, la piézométrie n'atteint pas +1 m à l'étiage et dépasse +2 m à la crue.

#### 2. Evolution dans le temps: (figures 4 à 8)

Elle est observée à partir de 1960 vers 1980. Les figures 4, 5 et 6 montrent l'affaissement généralisé de la surface de la nappe "paléocène" sous les influences combinées de la sécheresse qui augmente vers l'intérieur du

paÿs, et de l'exploitation croissante. Cet abaissement est de l'ordre de 2 à plus de 6 m avec les plus grandes valeurs, au niveau du compartiment de Pont et de la gouttière piézométrique du Nord de Mbou. Les baisses de niveau les moins importantes, se situent vers la périphérie où l'aquifère devient captif (Sud, Est et Nord). Elles sont imputables en partie à la décompression de la nappe calcaire, consécutive aux effets de la sécheresse, sur les nappes phréatiques dont les plans d'eau ont baissé de l'ordre de 3 m.

Le dôme piézométrique qui existait encore en 1971 (+6 m), entre Ndiaganio et Mbou, correspond à une zone d'alimentation des calcaires paléocènes (fig 4). Ce dôme piézométrique, ainsi que celui dit de la "Somone", lequel correspond aussi à une zone d'alimentation, ont été effacés, déprimés et participent au drainage de l'aquifère vers les pompages.

La figure 16 montre les fluctuations piézométriques des nappes "paléocènes" et "maestrichtienne" depuis 1960, sous l'influence des pompages croissants dans les deux aquifères.

Les piézomètres SE36, Somone, SE31, SE12 et Sigrane, situés à plus de 10 km des pompages de Pont dans le paléocène réagissent plus tardivement à l'effet de vidange.

La figure 17, montre les variations piézométriques des nappes "paléocène" et "maestrichtienne", mesurées dans les ouvrages de Bandia (SE31) situés à plus de 14 km des pompages les plus proches. L'influence de ceux-ci se fait nettement sentir à partir de 1971. Il est possible, avant cette date, d'évaluer graphiquement un coefficient de réduction des réactions piézométriques de la nappe profonde aux variations de charge, saisonnières de la nappe libre paléocène, susjacenté. Ce coefficient de réduction appliqué, sur la partie droite du graphique, marqué par

L'influence des pompages, permet de distinguer grossièrement dans l'abaissement piézométrique de la nappe maestrichtienne la part de la décompression due à la diminution de la charge hydraulique "paléocène" de la part due à la vidange par les pompages dans la nappe profonde.

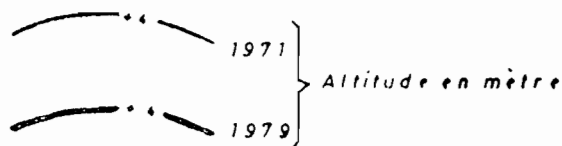
Cela suffit pour admettre que l'abaissement de la surface piézométrique de la nappe maestrichtienne par simple décompression, consécutive à la vidange "paléocène", n'est relativement pas négligeable.

Or, les pompages dans les calcaires en abaissant la surface de la nappe du paléocène, ne paraissent pas provoquer une augmentation sensible, des chutes de pression de la nappe maestrichtienne (fig. 6). Donc cette constatation laisse fort peu de place à la possibilité d'une drainance importante de la nappe profonde par les calcaires paléocènes à la faveur d'une augmentation des différences des niveaux piézométriques. En effet, ces deux causes simultanées (décompression et drainance) occasionneraient une augmentation nette, après le démarrage des pompages de Pont, de l'abaissement piézométrique de la nappe "maestrichtienne". Ce n'est pas le cas et cela indiquerait plutôt l'existence d'une faible perméabilité verticale des terrains séparant les nappes "paléocènes" et "maestrichtienne". Cette observation ne fait, d'ailleurs, que confirmer les interprétations hydrogéochimiques et lithologiques faites précédemment.

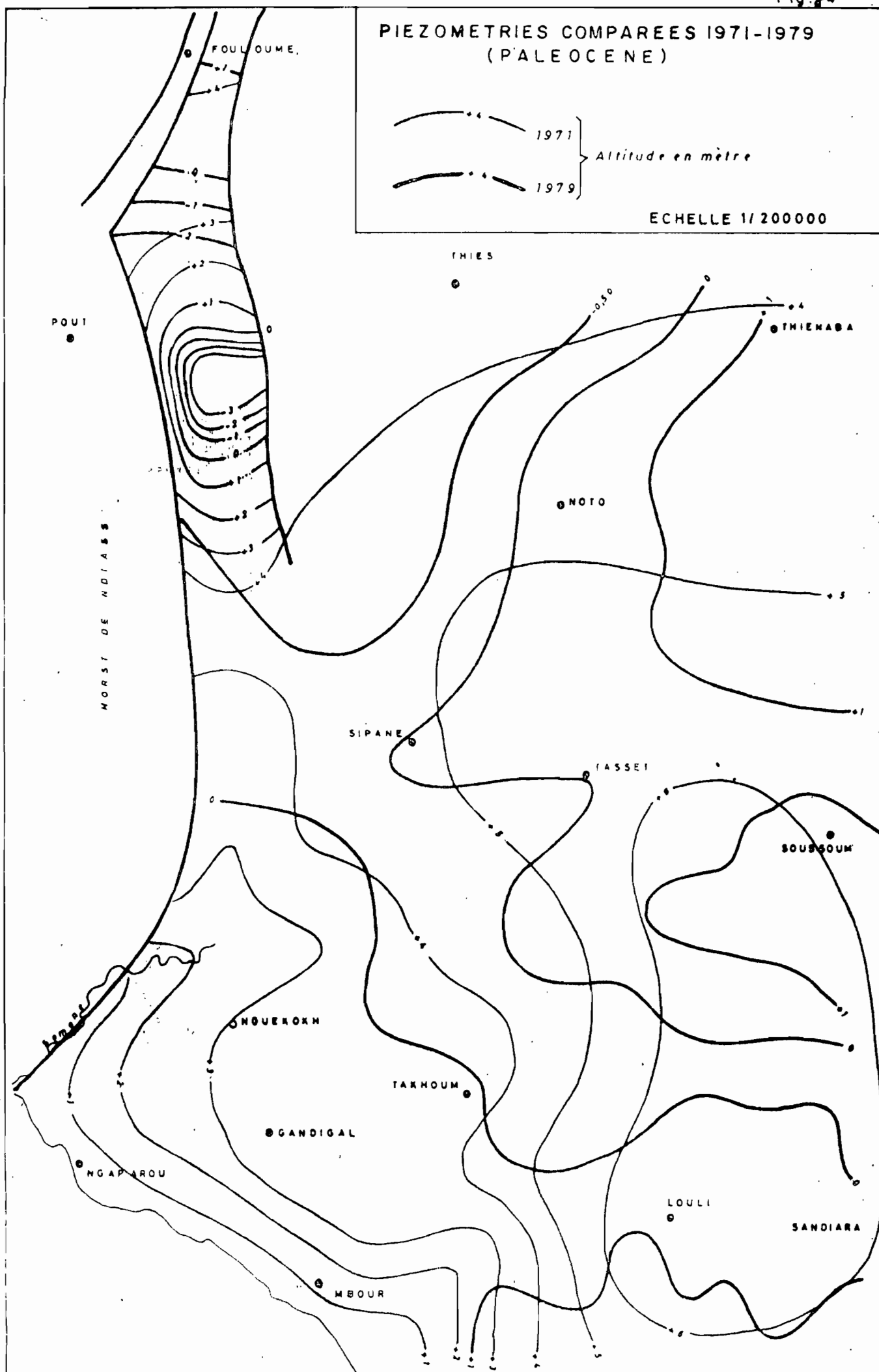
Les différences de charge entre le paléocène et le maestrichtien varient dans le temps et l'espace (fig. 8). Leur évolution temporaire (1965 à 1980) est étudiée dans les régions où le paléocène n'est pas envahi par un faciès marno-calcaire à marneux, alors que le maestrichtien sous-jacent devient aussi plus argileux, car cela exclut tout échange déjà jugé

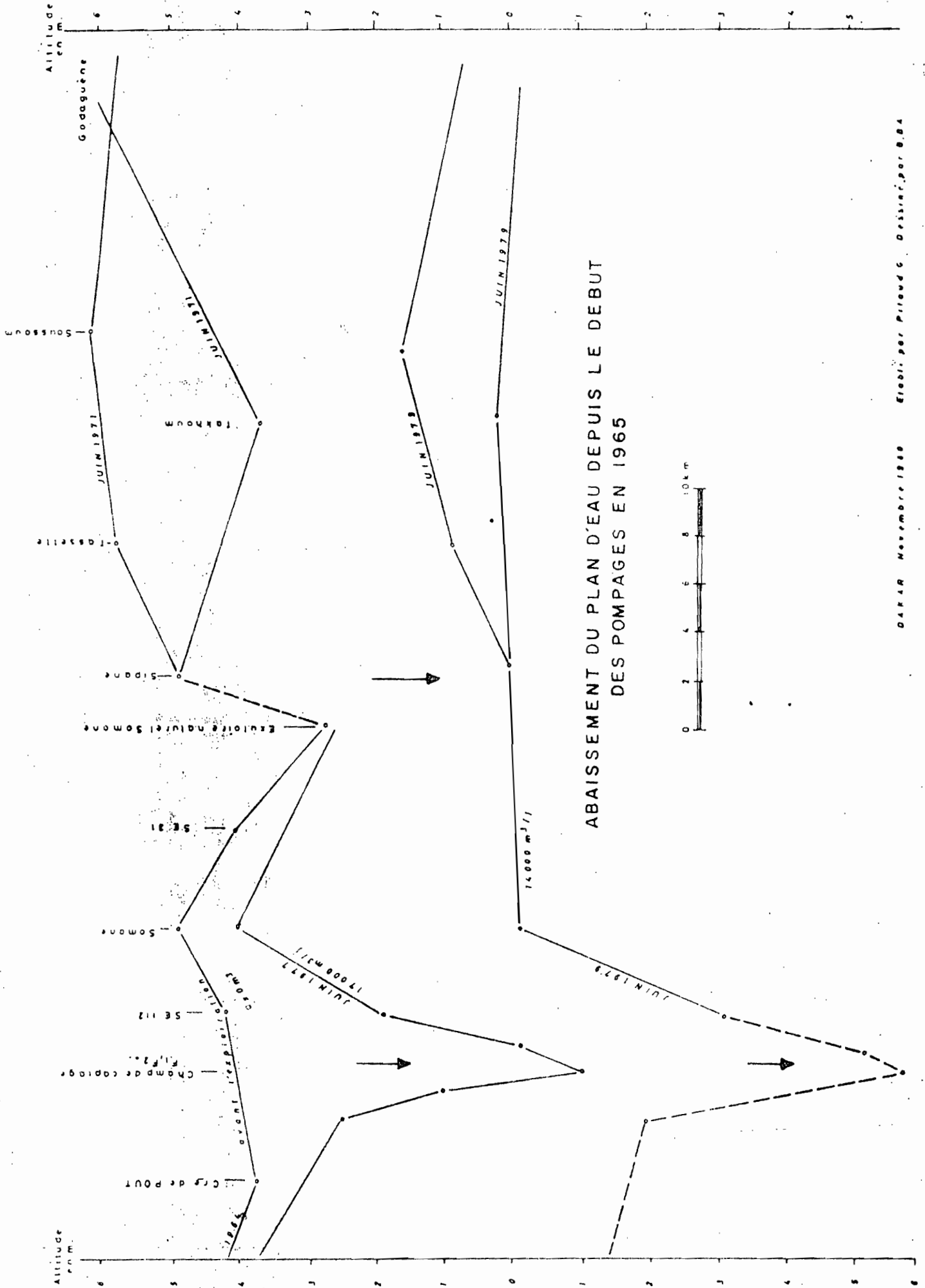


# PIEZOMETRIES COMPAREES 1971-1979 (PALEOCENE)



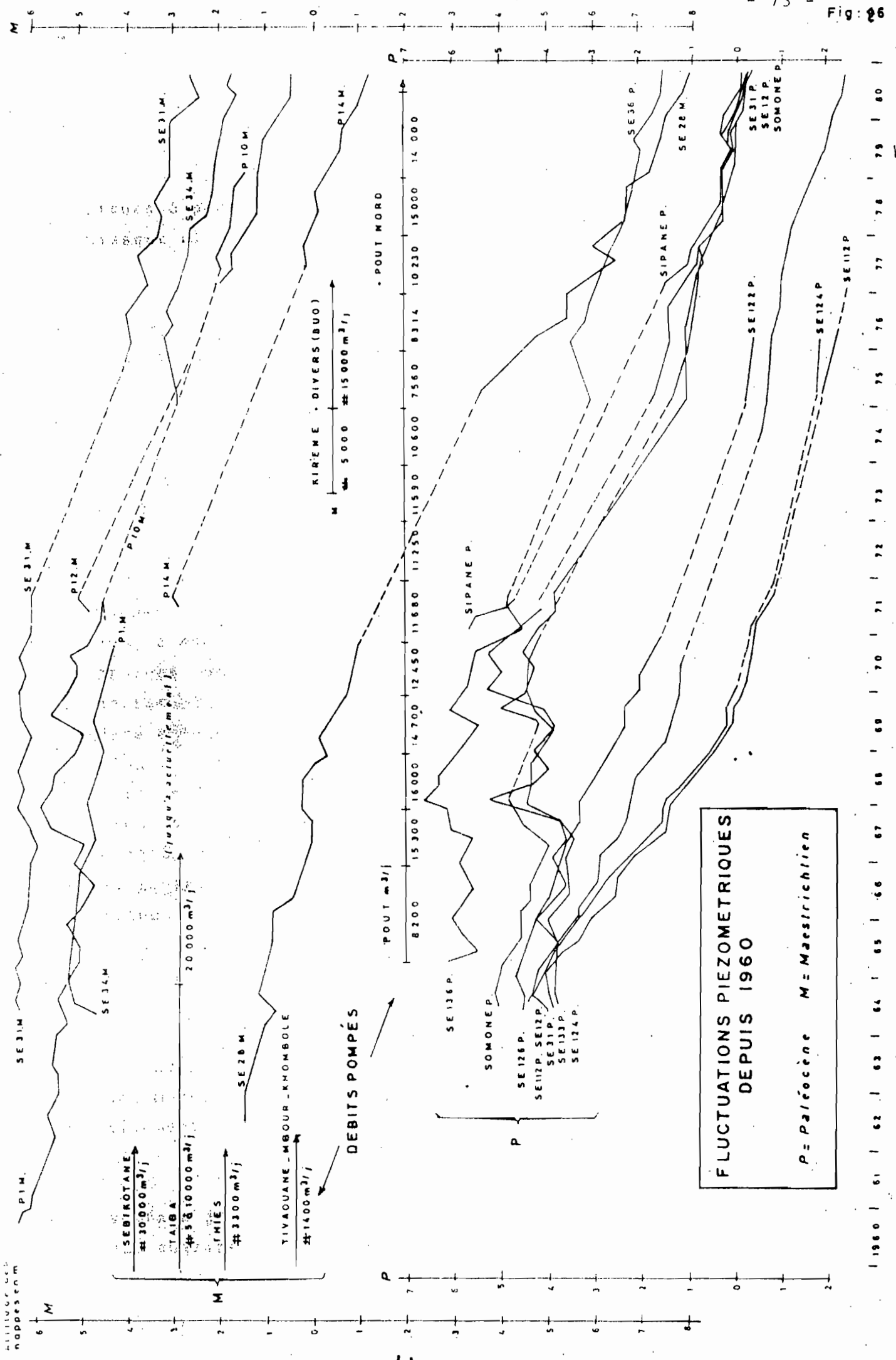
ECHELLE 1/200000

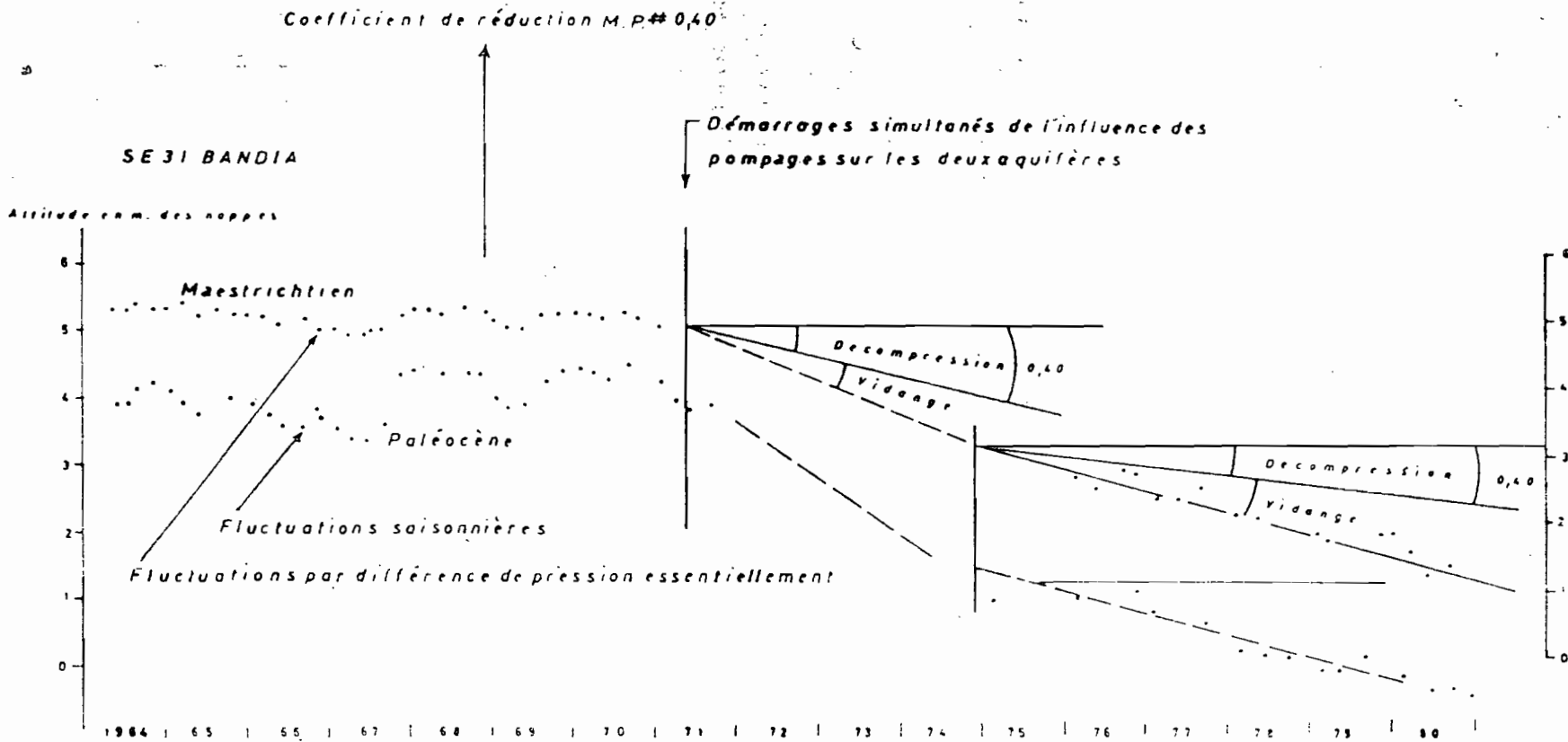




ABAISSMENT DU PLAN D'EAU DEPUIS LE DEBUT DES POMPAGES EN 1965

DAFAR Novembre 1980 Credit per Pironde Dessiner par B.B.A

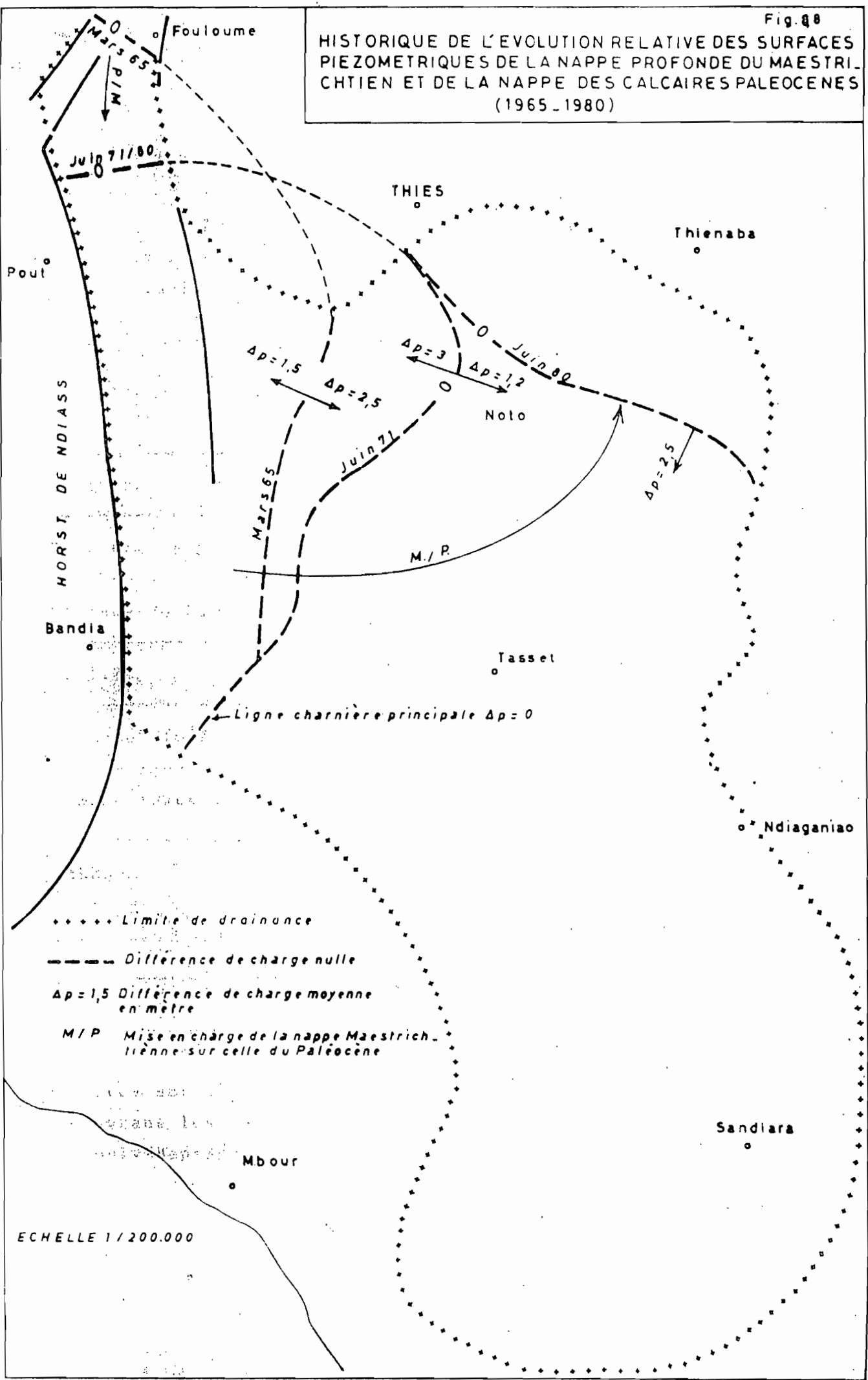




APPRECIATION GRAPHIQUE DE LA DECOMPRESSION DE LA  
NAPPE MAESTRICHTIENNE

Fig. 88

HISTORIQUE DE L'EVOLUTION RELATIVE DES SURFACES PIEZOMETRIQUES DE LA NAPPE PROFONDE DU MAESTRICHTIEN ET DE LA NAPPE DES CALCAIRES PALEOCENES (1965-1980)



DARAR Novembre 1980

Etabli par Pitouid G.

Dessiné par B. BA

peu important a priori ailleurs. Avant les pompages de Pont (Mars 1965), pendant ces pompages (juin 1971) et en juin 1980, les différences de charge plaçant la surface piézométrique du maestrichtien au-dessus de celle du paléocène, étaient dans un premier temps localisées dans la zone du compartiment de Pont. Ces différences de charge envahissent progressivement toute la région étudiée, la vitesse d'abaissement de la surface de la nappe du Paléocène étant un peu supérieure à celle de la surface piézométrique du Maestrichtien.

### Infiltration

L'étude (géométrie de l'aquifère, analyse de la piézométrie...) montre que l'impluvium des calcaires paléocènes correspond aux régions où les précipitations ont un effet manifeste sur les fluctuations piézométriques. A la surface où les calcaires sont dits sub-affleurants, il faut ajouter les zones où l'aquifère est atteint par les infiltrations par percolation à travers un recouvrement relativement moins épais de marnes et marne-calcaires de l'Eocène. C'est le cas pour la région d'Age-Bobou. Il ne faut pas oublier les régions où une partie des précipitations, par ruissellement sur une forte pente, atteignent les calcaires: c'est le cas de la falaise de Thiès qui participe aux infiltrations à travers l'impluvium. Enfin, l'impluvium ainsi défini est limité par une ligne de partage des eaux joignant toujours actuellement le pont routier de la Somone à Nianning. A l'Ouest de cette ligne, les infiltrations échappent au système. L'impluvium ainsi défini est constitué de 440 km<sup>2</sup> de calcaires sub-affleurants recouverts de 0 à environ 30 m de sables plus ou moins argileux et de lambeaux discontinus de marnes. Cette surface correspond au "plateau calcaire" de Mbour et à la partie occidentale

du compartiment de Pont jusqu'à la latitude de Fouloume c'est toute la région où les calcaires partiellement érodés ne sont pas recouverts de façon continue par les argiles et marnes de l'Eocène inférieur. L'impluvium est aussi constitué d'une surface supplémentaire de 324 km<sup>2</sup> correspondant à un recouvrement relativement moins épais et très variable de 10 à 40 m de marnes et marno-calcaires avec stockage d'une partie des crues hivernales dans les creux topographiques. Il y a percolation jusqu'aux calcaires : c'est la région d'Aga-Babou.

L'impluvium est constitué d'une dernière surface de 54 km<sup>2</sup> de marnes yprésiennes en forte pente, correspondant aux 40 m de la falaise de Thies recouvrant la partie orientale du compartiment de Pont. La falaise occasionne un ruissellement direct sur les calcaires en bas de pente, avec infiltration dans les ravissements au fond desquels le karst est nu.

Il s'agit donc d'un impluvium très hétérogène d'une surface totale de 818 km<sup>2</sup>.

Entre Avril 1965 et Juin 1980, la lame d'eau précipitée en moyenne annuelle a été, sur cet impluvium, de 500 mm selon les données de la météorologie nationale.

Le volume des pluies a été de :  $V_{pl} = 6.135.000.000 \text{ m}^3$

Le volume apporté par infiltration efficace étant de 38.462.651 m<sup>3</sup>\*, on obtient un coefficient d'infiltration moyen de :

$$\text{coef. } I = \frac{38.462.651 \times 100}{6.135.000.000} = 0.626 \%$$

Note : \* voir à la page 96 du rapport de synthèse de l'étude hydrogéologique des calcaires paléocènes de la région de Mbour citée en référence.

## Évapotranspiration :

### 1. Conditions climatiques et hydrogéologiques :

Le pouvoir évaporant "Piche", est, pour l'année, de l'ordre de 2000 mm vers la partie septentrionale de la région étudiée (données A.S.E.C.N.A.).

L'évaporation doit diminuer vers le Sud et l'Ouest, sous l'influence de l'Atlantique qui occasionne progressivement une augmentation de la tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère.

Selon l'évolution régionale du pouvoir évaporant "Piche", on peut admettre qu'il est de l'ordre de 1500 mm dans le secteur de l'affleurement des calcaires "paléocènes", entre Hbrau, Pout et Hdiaganior (carte A.S.E.C.N.A.).

La nappe des calcaires "paléocènes" ne peut être en relation avec l'atmosphère par évapotranspiration qu'au niveau où les marnes et argiles yprésiennes ne constituent plus un écran imperméable à tout échange.

Un des paramètres à prendre en compte dans l'évaluation de l'évapotranspiration, est constitué par ce que l'on a coutume d'appeler les "réserves utiles à la végétation".

Ce paramètre est directement fonction de la nature du sol et varie dans de très larges proportions entre un terrain karstique nu et un terrain argilo-sableux par exemple. Pour le premier, les réserves peuvent être considérées comme presque nulles, et pour le second elles peuvent dépasser 100 et 200 mm.

Le terrain qui nous intéresse globalement de nature karstique, rarement nu car le plus souvent recouvert de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de sables plus ou moins argileux ainsi que de lambeaux d'argiles et de marnes.



Les limniographes ont été mis en place sur les forages de Falokh (n° 619) et de Sidibougou (n° 400) pour enregistrer les fluctuations naturelles de la nappe des calcaires. (profondeurs respectives de la nappe: 11 et 6 m).

La nappe étant, en période de vidange, en régime non influencé (étiage 1980), les réserves utiles correspondent à la hauteur précipitée des premières pluies jusqu'au moment précis où la nappe n'est plus en vidange, se stabilise ou remonte, moins l'évapotranspiration maximale pendant la même période.

A Sidibougou, proche des zones karstiques du Balling, les réserves utiles ont été ainsi évaluées à 0 mm (entre le 1<sup>er</sup> et le 17-06-1980). A Falokh, zone où les calcaires sont subaffleurants sous les sables, les réserves utiles ont été évaluées à 40 mm (entre le 01-06 et le 10-08-1980).

Il semble donc que les réserves utiles soient dans ce cas très variables d'un point à un autre en fonction de l'épaisseur et de la nature du recouvrement sédimentaire des calcaires karstiques, dans les limites de l'impluvium.

L'impluvium de l'aquifère présente des caractéristiques trop hétérogènes. Il n'est pas possible d'adopter une valeur moyenne des "réserves utiles à la végétation" qui soit applicable aux formules classiques.

## 2. Evaluation de l'évapotranspiration réelle pour différentes "réserves utiles" (Tableau I page 49)

Le choix de la méthode s'est orienté vers l'utilisation des cartes d'évapotranspiration potentielles établies par le C.I.E.H. en 1972 sur la base de l'application de la formule de Turc dont nous rappelons la consistance :

$$E.T.P. = (I_g + 50) \cdot 0.40 \cdot \frac{t}{t + 15} \quad \text{ou}$$

E.T.P. : évapotranspiration potentielle en mm par mois

$\bar{I}_g$  : valeur mensuelle de la radiation solaire globale exprimée en petites calories par  $\text{cm}^2$  de surface horizontale et par jour

t : température moyenne mensuelle en degré C

Lorsque l'humidité relative tombe en dessous de 50%, il est nécessaire d'introduire un terme correctif qui majore la valeur trouvée pour l'E.T.P. La formule prend alors la forme:

$$E.T.P. = (\bar{I}_g + 50) \cdot 0.40 \cdot \frac{t}{t + 15} \left( 1 + \frac{50 - H_r}{70} \right) \text{ ou}$$

$H_r$  est la moyenne mensuelle de l'humidité relative.

Le tableau de calcul ne montrent les bilans hydrologiques possibles à partir des précipitations de Juin 1978 à Mai 1979, mois par mois, pour les valeurs de l'E.T.P. du C.I.E.H. et en fonction de 10 estimations de la réserve utile à la végétation de 20 à 200 mm.

La fourchette des valeurs obtenues pour l'évapotranspiration réelle (E.Tr) s'établit de 71 à plus de 95% de la pluviosité. D'ailleurs, l'E.Tr peut être évaluée par différence. Il sera alors possible à l'aide du tableau, de retrouver une valeur représentative du terme "réserves réserves utiles".

Tableau I

1978-1979	Juin	Juillet	Août	Sentem.	Octobre	Novembre	Décem.	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Total mm	%
Pmm MBOUR	14,7	166,8	270,2	226,4	33,0	23,1	0	42,80	0	0	0,9	0,3	778,2	
ETP mm moy. TURC	155	145	140	140	145	145	125	135	140	190	180	165		
20mm Variat. Réserves.Etat	0	+ 20 20	20	20	- 20 0	0	0	0	0	0	0	0		
Etr	14,7	145	140	140	53	23,1	0	42,8	0	0	0,9	0,3	559	71
Excédent	0	1,8	130,2	86,4	0	0	0	0	0	0	0	0	218	28
40mm Variat. Réserves.Etat	0	+ 21,8 21,8	+ 18,2 40	40	- 40 0	0	0	0	0	0	0	0		
Etr	14,7	145	140	140	70	23,1	0	42,8	0	0	0,9	0,3	576,8	74,1
Excédent	0	0	112	86,4	0	0	0	0	0	0	0	0	198,4	25,5
60mm Variat. Réserves.Etat	0	+ 21,8 21,8	+ 38,2 60	60	0	0	0	0	0	0	0	0		
Etr	14,7	145	140	140	93	23,1	0	42,8	0	0	0,9	0,3	599,8	77,0
Excédent	0	0	92	86,4	0	0	0	0	0	0	0	0	178,4	22,9
80mm Variat. Réserves.Etat	0	+ 21,8 21,8	+ 58,2 80	80	- 80 0	0	0	0	0	0	0	0		
Etr	14,7	145	140	140	113	23,1	0	42,8	0	0	0	0	619,8	79,64
Excédent	0	0	72	86,4	0	0	0	0	0	0	0	0	158,4	20,35
100mm Variat. Réserves.Etat	0	+ 21,8 21,8	+ 78,2 100	100	0	0	0	0	0	0	0	0		
Etr	14,7	145	140	140	133	23,1	0	42,8	0	0	0,9	0,3	639,8	82,2
Excédent	0	0	52	86,4	0	0	0	0	0	0	0	0	138,4	17,78

Calcul de l'E.T.R. en fonction de différentes réserves utiles sur la base de l'E.T.P. du C.I.E.H. 1972

120 mm Variat. Réerves . Etat.	0	+ 21,8 21,8	+ 98,20 120	120	- 112 8.	- 8 0	0	0	0	0	0	0		
Etr	14,7	145	140	140	145	31,1	0	42,80	0	0	0,9	0,3	659,80	84,78
Excédent	0	0	32	86,4	0	0	0	0	0	0	0	0	118,40	15,21
140 mm Variat. Réerves . Etat	0	+ 21,8 21,8	+118,20 140	140	- 112 28	- 28 0	0	0	0	0	0	0		
Etr	14,7	145	140	140	145	51,1	0	42,8	0	0	0,9	0,3	679,80	87,35
Excédent	0	0	12	86,40	0	0	0	0	0	0	0	0	98,40	12,64
160 mm Variat Réerves . Etat.	0	+ 21,8 21,8	+130,20 152	+ 8 160	- 112 48	- 48 0	0	0	0	0	0	0		
Etr	14,7	145	140	140	145	71,1	0	42,80	0	0	0,9	0,3	699,80	89,92
Excédent	0	0	0	78,4	0	0	0	0	0	0	0	0	78,40	10,07
180 mm Variat. Réerves . Etat.	0	+ 21,8 21,8	+130,2 152	+ 28 180	- 112 68	- 68 0	0	0	0	0	0	0		
Etr	14,7	145	140	140	145	91,10	0	42,80	0	0	0,9	0,3	719,80	92,49
Excédent	0	0	0	58,4	0	0	0	0	0	0	0	0	58,40	7,50
200 mm Variat Réerves . Etat	0	+ 21,8 21,8	+130,2 152	+ 48 200	- 112 88	- 88 0	0	0	0	0	0	0		
Etr	14,7	145	140	140	145	111,10	0	42,80	0	0	0,9	0,3	739,80	95,06
Excédent	0	0	0	38,40	0	0	0	0	0	0	0	0	38,40	4,93

/TABLEAU I SUITE/

05

## II. Maille A

### Situation: (voir carte en annexe)

Elle se situe dans la région Sud Saloum qui accuse une forte demande d'eau potable et d'eau d'irrigation. La population y est dense. La zone connaît des problèmes de salinisation de certains puits, d'abaissement du niveau de la nappe et de déficit d'eau pour le maraîchage.

### Pluviométrie:

La maille est limitée par l'isohyète moyenne 800 mm au Nord et 1000 mm au Sud. La figure "pluviométrie" montre pour 1975 une répartition de la pluie plus réaliste avec un décalage vers le Sud des isohyètes inférieures à 1000 mm; cette dernière courbe se confondant avec la moyenne locale.

Records: 1250 mm à Kaolack en 1925 et 1936

La sécheresse est marquée depuis 1952.

### Piezométrie:

Elle reflète les écoulements aussi bien pour le C.T. que pour le miocène.

Elle est caractérisée par:

- un dôme au S.W qui est le signe d'alimentation par la pluie qui est supérieure à 1000 mm et certainement davantage localement.

Le dôme se divise en trois bassins avec écoulements vers l'Ouest, vers le Sud Sud-Est et vers le N.NE.

- l'isopièze zéro qui traverse la maille en diagonale

- une piézométrie négative au NE.

### Aquifères:

Le continental terminal s'étend sur toute la zone. Le miocène est localisé dans des chenaux, anciennes vallées de la Gambie. Une grande

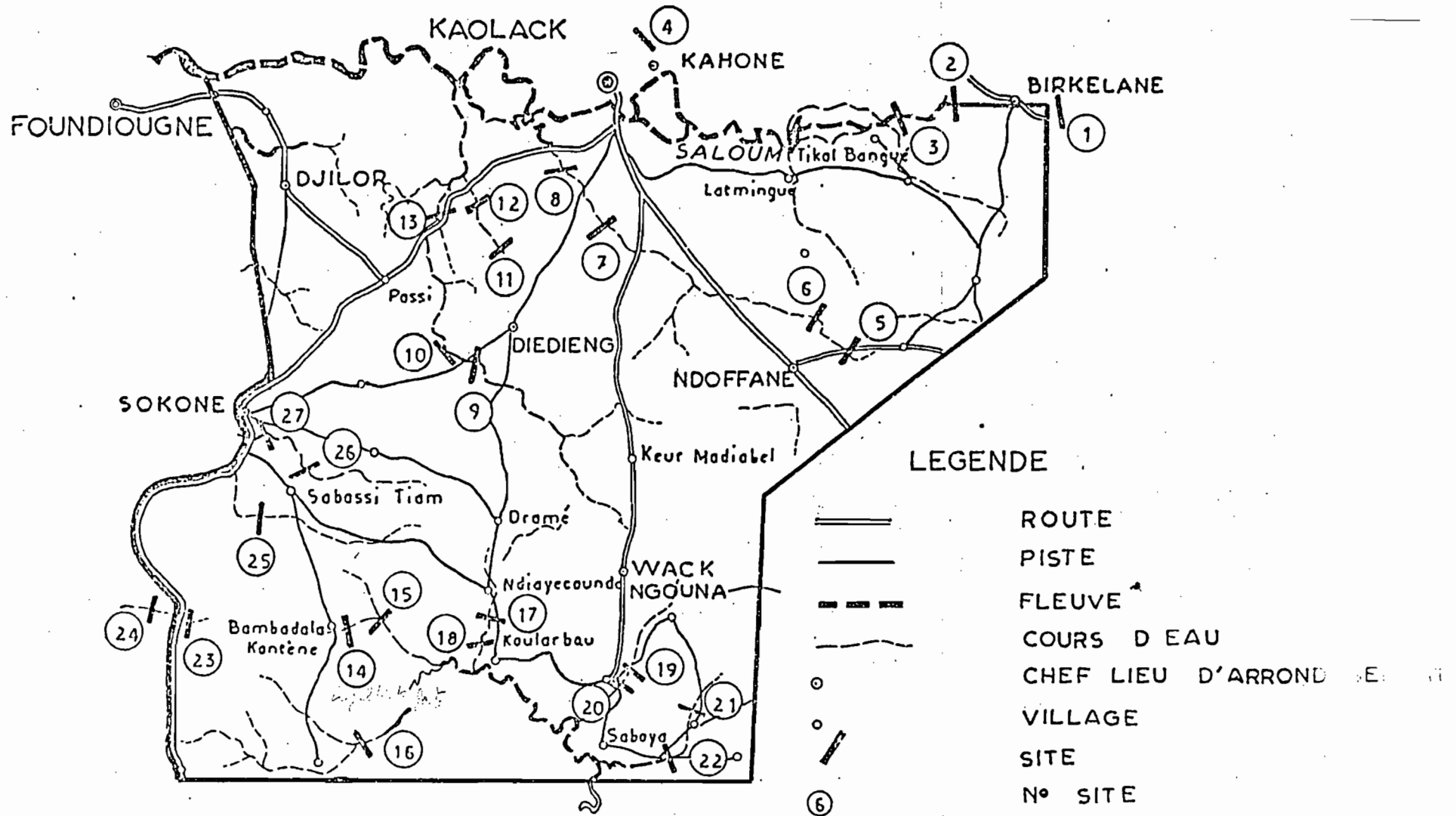
Sites	APPORTS (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		HYDROGEOLOGIE				AGRO-SOCIO - Economie				Difficultés d'aménagement		
	Année moyenne	Moyennement sèche	Prof. de la nappe (m)	Bassin versant	Perméabilité du sol	Ruissellement	Types de culture	S. Cultivée (ha)	Population	Observations	Pis-tes	Etan-chéités	Maté-riaux
1	-	-		réduit	faible	douteux							
2	-	-		important	"	possible							
3	-	-		important	"	"							
4	-	-	<5	réduit	"	douteux							
5	-	-	25-30	réduit	"	nul							
6	1	-	23	"	faible	"							
7	-	-	10	"	"	douteux							
8	-	-	<5	important	"	possible							
9	< 1	-	15	réduit	moyenne	douteux							
10	-	-	15	"	faible	"							
11	-	-	12	"	moyenne	"							
12	-	-	5-10	important	faible	possible							
13	-	-	5-10	important	faible	possible							
14	-	-	15-20	réduit	perméable	douteux							
15	-	-	12	important	"	possible	Arachide, maïs, mil, sorgho	130	380	Site de retenue cultivée			
16	>20	10	< 5	"	"	"	riz, maïs, arachide sorgho	220	500				*
17	3	1.5	5-10	"	"	"				zone envahie par le sel			
18	3	1.5	5	"	"	"				" "			
19	5	2.5	10	"	"	"				" "			
20	5	2.5	5-10	réduit	"	"				" "			
21	4	2	25	"	moyenne	douteux	riz, maïs, sorgho, arachide, mil	500	2000	pas de possibilités d'agt zone envahie par le sel	*	*	
22			<10	important	faible	possible				Existence d'agt			
23			7	"	moyenne	"				" "			
24			< 5	"	faible	"				" "			
25	9	3.5	< 5	"	"	"	Coton, maïs, riz, arachide, mil, sorgho	270	300		*	*	
26	10	4	< 5	"	"	"	arachide, mil, sorgho, maraichage	12	140	pas de possibilités d'agt zone envahie par le sel	*	*	
27			< 5	"	"	"							

MAILLE A

Site N°	Proximité du Front salé	Ruissellement	Bassin Versant	Perméabilité du lit	Niveau de l'eau/sol (m)	Proximité isopièze zéro
1	Proche	douteux	réduit	peu perméable	?	
2	Proche	possible	grand	peu perméable	?	
3	Proche	possible	grand	peu perméable	?	
4	Proche	douteux	réduit	peu perméable	< 5	
5	Loin	nul	réduit	?	25 - 30	
6	Loin	nul	réduit	peu perméable	23	
7	Proche	douteux	réduit	peu perméable	10	
8	Proche	possible	grand	peu perméable	< 5	
9	Loin	douteux	réduit	filtrant	15	*
10	Loin	douteux	réduit	peu perméable	15	*
11	Proche	douteux	réduit	filtrant	12	
12	Proche	possible	grand	peu perméable	5 - 10	
13	Proche	possible	grand	peu perméable	5 - 10	
14	Loin	douteux	réduit	perméable	15 - 20	
15	Loin	possible	grand	perméable	12	
16	Loin	possible	grand	perméable	< 5	
17	Proche	possible	grand	perméable	5 - 10	
18	Proche	possible	grand	perméable	5	
19	Proche	possible	grand	perméable	10	
20	Proche	possible	réduit	perméable	5 - 10	
21	Proche	douteux	réduit	filtrant	25	
22	Proche	possible	grand	peu perméable	< 10	
23	Proche	possible	grand	filtrant	7	
24	Proche	possible	grand	peu perméable	< 5	
25	Proche	possible	grand	peu perméable	< 5	
26	Proche	possible	grand	peu perméable	< 5	
27	Proche	possible	grand	peu perméable	< 5	

# MAILLE A

## LOCALISATION DES SITES DE RETENUE

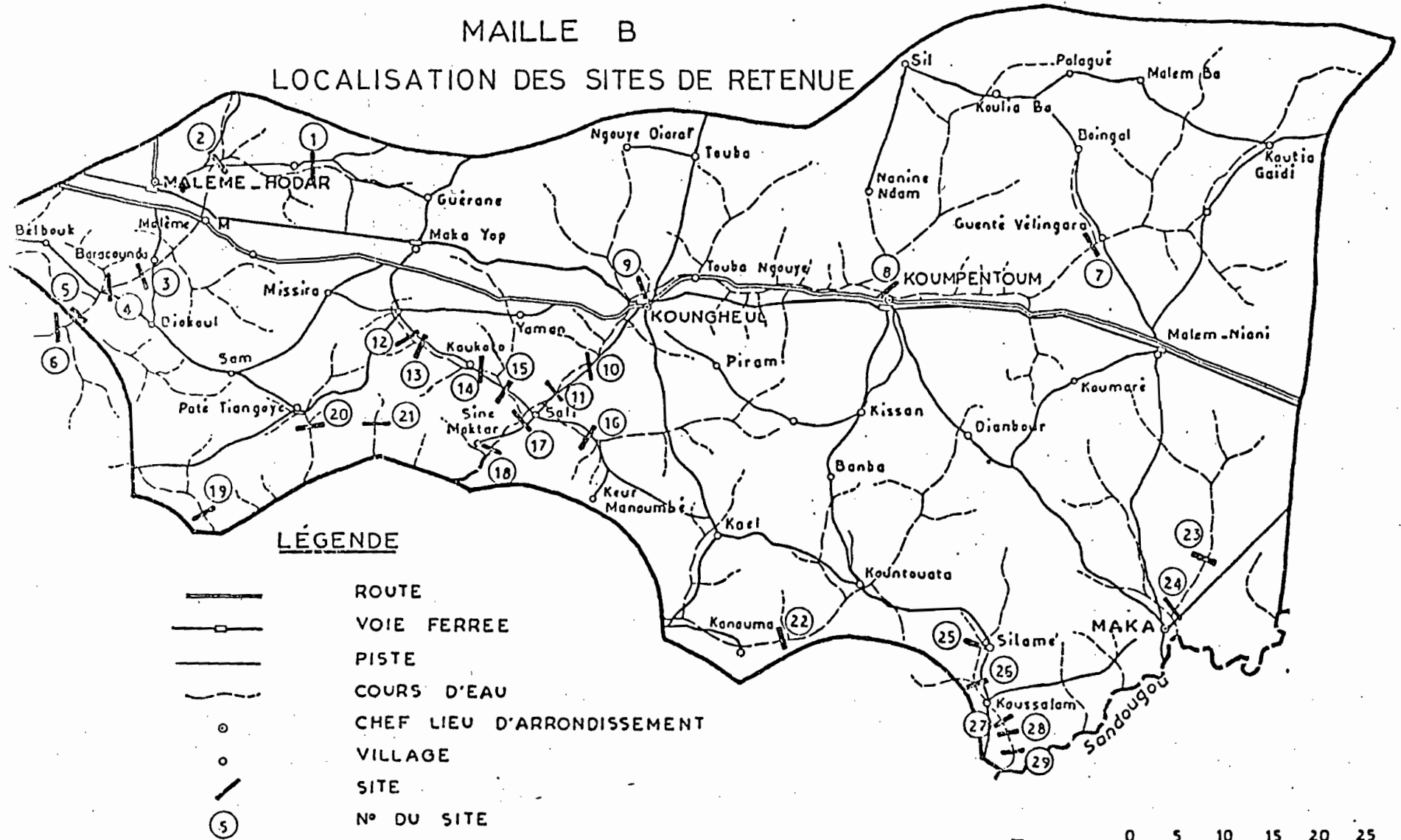


Echelle 0 5 10 15 20 25 Km



# MAILLE B

## LOCALISATION DES SITES DE RETENUE



Echelle 0 5 10 15 20 25 Km

b) MAILLE B

Site N°	Ruissellement	Perméabilité du lit	Bassin versant réduit	Niveau de l'eau/sol (m)	Proximité de l'isopiège zéro
1	réduit	filtrant		> 20	
2	très faible	"	*	20	
3	possible	"		15	
4	possible	"		< 15	
5	possible	"		< 15	
6	possible	"		< 15	
7	nul	"		25	
8	nul	"		34	
9	réduit	"	*	> 20	
10	possible	"		< 20	
11	possible	"		< 20	
12	nul	"		> 20	
13	nul	"		> 20	
14	possible	"	*	15 - 20	
15	possible	"		< 20	
16	faible	"	*	< 20	
17	possible	"	*	< 15	*
18	possible	"		< 15	*
19	possible	"		< 25	*
20	possible	"	*	15 - 20	*
21	très faible	"	*	15 - 20	*
22	possible	"		15 - 20	*
23	possible	"	*	17	*
24	possible	"		14	*
25	nul	"	*	> 20	*
26	possible	"	*	< 20	*
27	possible	"	*	15	*
28	possible	"		12	*
29	possible	"		< 10	*

Sites	APPORTS (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		HYDROGEOLOGIE			AGRO-SOCIO - Economie				Difficultés d'aménagement		
	Année moyenne	Moyennement sèche	Prof. de la nappe (m)	Ruissellement	Proximité de l'isopièze 0	Types de culture	S. Cultivée (ha)	Population	Observations	Pistes	Etanchéités	Matériaux
1	0.5	-	>20	réduit								
2	2.5	1.5	20	très faible		riz, mil, sorgho	> 1000	2000	Pb d'hydraulique humaine		*	*
3	5	3	15	possible		arachide, mil, sorgho, maïs	> 1000	700	" "	*	*	*
4	5	3	<15	"		" " "	550	400	" "		*	*
5	6	3.5	15	"		" " "	450	700	Pb d'hydraulique pastorale		*	*
6	7.5	4.5	15	"		" " "	750	550	" "		*	*
7	3.5	1	25	nul					forêt classée à l'aval			
8	1	< 0.5	34	"								
9	0.2	0.1	>20	réduit								
10			<20	possible								
11			20	possible								
12			>20	nul								
13			20	nul								
14			15-20	possible								
15			<20	possible								
16	0.4	0.2	20	faible								
17			<15	possible	*							
18			15	possible	*							
19			<25	possible	*							
20			15-20	possible	*							
21			"	très faible	*							
22			"	possible	*							
23			17	possible	*							
24			14	possible	*							
25	2	1.3	>20	nul	*							
26	3	1.8	<20	possible	*	riz, arachide, sorgho, maïs	400	200	L'aval se situe en Gambie. Pb d'hydraul. humaine	*	*	*
27	3.5	2	15	possible	*	arachide, mil, sorgho, maïs	75	200	peu de besoins en eau		*	*
28			12	"	*							
29			<10	"	*							

poche du miocène débute à l'Est.

La coupe hydrogéologique montre les calcaires éocènes en contact localement avec les sables du miocène. Mais les aquifères profonds, sont envahis par l'eau salée ou fluorée. Rechercher les calcaires éocènes à l'Est du méridien 16°, de même que le Maestrichtien. Les besoins impliquent des forages profonds au NW de la maille: l'eau est théoriquement non potable.

#### Ruisellement de surface:

Les ruisellements sont faibles, mais il y a possibilité d'alimenter les nappes et maîtriser le biseau salé.

#### Alimentation:

Elle est réduite au dôme piézométrique du S.W où elle provoque des fluctuations positives de la nappe. Dans les zones basses du NW, la pluie provoque des remontées de la nappe qui est un peu profonde. Le Saloum libère de l'eau salée en direction de la nappe entre Kaolack et Fatick.

Il n'y a pas d'alimentation, mais baisse de la nappe au S, SE de Kaolack, sans que ce soit une zone où la nappe est profonde.

### III. Maille B. (voir carte en annexe)

#### Situation:

Située le long de la frontière gambienne, elle couvre une surface de 4900 km<sup>2</sup> et se trouve à cheval entre les régions du Sine-Saloum et du Sénégal Oriental. La zone est assez plate et l'altitude ne dépasse pas 50 m; on y rencontre des sols caillouteux peu évolués.

#### Pluviométrie:

Les moyennes pluviométriques (800 et 1000 mm) ne traduisent pas les

moyenne réelle des années déficitaires qui ont modifié l'alimentation de l'aquifère superficiel. Au cours d'une année déficitaire en pluie, l'alimentation peut être nulle, ainsi que le ruissellement sur la quasi-totalité de la maille. Le Nord de la zone accuse un déficit pluviométrique élevé.

### Les aquifères :

La profondeur de l'eau (40 m à plus de 70 m au Nord) indique une vidange des horizons sableux du C.T. Les sables du Miocène, en continuité plus ou moins directe avec le C.T., forment une grande poche aquifère dont le fond ne dépasse pas 80 à 100 m de profondeur. Le Miocène repose localement, directement, sur les calcaires de l'Éocène (vers 100 à 110 m de profondeur). Les sables du Maestrichtien, très peu sollicités, se trouvent vers 300 à 400 m de profondeur (données rares) et certainement plus vers le Nord.

### Ruissellement de surface :

La maille est sillonnée par un ensemble de ruisseaux temporaires qui se jettent directement sur le fleuve Gambie ou ses principaux affluents. Les débits sont très faibles du fait du peu de ruissellement enregistré et aussi de la pluviométrie modeste (800 mm).

### Piezométrie :

L'isopièze zéro ceinture par le Sud la quasi-totalité de la maille, sauf l'extrême Sud-Est, le long de la Sandougon. Les écoulements se dirigent vers le N.NW et la cote de l'eau passe rapidement à -20 m et plus au Nord de la maille. L'absence de données en territoire gambien ne permet pas de savoir si la nappe se raccorde ou non avec le fleuve Gambie. L'isopièze zéro se superpose avec la courbe 40 m de profondeur de la nappe.

### Alimentation de l'aquifère superficiel:

En raison de la profondeur de l'eau, l'alimentation est impossible sur presque toute la maille. Elle se limite à l'aval des bas-fonds le long de la frontière gambienne. Les autres aquifères n'affleurent pas et subissent le même déficit que le C.T.

### IV - Maille C ; (voir carte en annexe)

#### situation:

Elle concerne la vallée amont de la Sandouga, affluent du fleuve Gambie qui coule du Nord au Sud, avec un bassin versant de près de 12 000 km<sup>2</sup>. La maille est choisie sur sa partie supérieure où il coule de façon temporaire. La maille couvre une superficie de 4600 km<sup>2</sup>, et est à vocation essentiellement pastorale.

#### Pluviométrie:

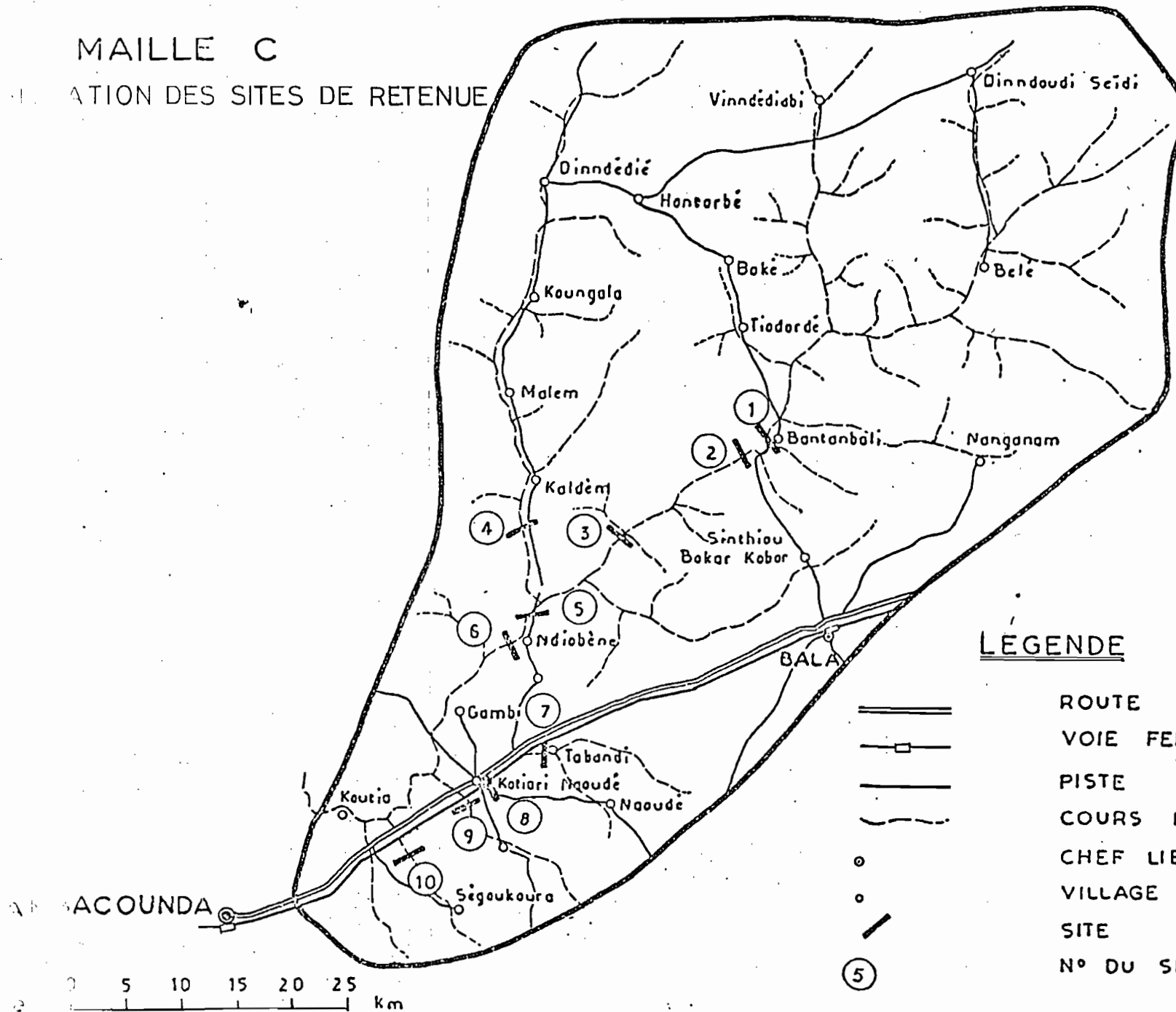
La maille C allongée vers le Nord est traversée par l'isohyète 800 mm; ce qui implique une sécheresse plus marquée que dans les autres mailles, car au Nord du bassin de la Sandouga, la pluviosité doit voisiner les années les plus déficitaires les conditions de la zone semi-aride.

#### Aquifères:









Le C.T. possède deux sillons sableux axés sur les affluents principaux, emboîtés dans les argiles. Ces sillons sont presque vides. Le Miocène est argileux; il s'arrête certainement le long du méridien de Tambacounda, avec des sables argileux. Le découpage par failles NW-SE limite l'extension des aquifères profonds dont le nombre diminue vers le NE. Aucun forage n'existe dans la maille. Les calcaires du lutétien sont recoupés à Tambacounda entre 140 et 160 m de profondeur.

# MAILLE C

## LOCALISATION DES SITES DE RETENUE



### LEGENDE

-  ROUTE
-  VOIE FERREE
-  PISTE
-  COURS D'EAU
-  CHEF LIEU D'ARRONDISSEMENT
-  VILLAGE
-  SITE
-  N° DU SITE

Sites	APPORTS (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		HYDROGEOLOGIE			AGRO-SOCIO - Economie				Difficultés d'aménagement		
	Année moyenne	Moyennement sèche	Prof. de la nappe (m)	Perméabilité	Ruissellement	Types de culture	S. Cultivée (ha)	Population	Observations	Pistes	Etanchéités	Matériaux
1	<2	0.5	36	forte	nul				vocation pastorale			
2	<2	0.5	35-40	"	"				" "			
3			"	"	"				" "	*	*	*
4		-	28	"	très faible				" "			
5	1	-	26	"	" "				" "	*	*	*
6	<1	-	25	"	" "							
7	-	-	17	horizon argileux	faible							
8	-	-	15-20	horizon argileux	faible							
9	-	-	"	horizon argileux	"	Arachide, coton					*	*
10	0.16	0,1	15	horizon	"	Arachide, coton, maïs	240	160			*	*



c) MAILLE\_C

Cette maille est l'image des effets de l'aridification sur la nappe superficielle et de ce que peut être l'état de l'aquifère du CT au Nord de l'isohyète 900 mm. L'aquifère du CT se réduit à des fonds de chenaux sableux ou se confine dans des argiles sableuses.

Les aquifères profonds sont méconnus ; la maille se trouve en bordure du bassin sédimentaire, et les variations des faciès ainsi que la disparition progressive des couches amènent des changements dans la distribution des aquifères profonds. L'absence de ruissellement superficiel va nécessiter la reconnaissance de ces aquifères.

Site N°	Ruissellement	Perméabilité du lit	Niveau de l'eau (m)	Proximité de l'isopièze 0
1	nul	filtrant	36	*
2	nul	filtrant	35 - 40	*
3	nul	filtrant	35 - 40	*
4	très faible à nul	filtrant	28	*
5	très faible à nul	filtrant	26	*
6	très faible à nul	filtrant	25	*
7	faible à moyen	substratum argileux entre 0 et 15 m	17	
8	faible à moyen	substratum argileux entre 0 et 15 m	15 - 20	
9	faible à moyen	substratum argileux entre 0 et 15 m	15 - 20	
10	faible à moyen	substratum argileux entre 0 et 15 m	15	

Les sites 7 à 10 offrent peu de garanties de ruissellement normal, mais c'est la seule zone de la maille où l'on puisse à la limite envisager des retenues.

### Ruisselement de surface:

Il n'existe plus, sauf exceptions locales, sur 83 à 99,98% de la surface du bassin.

### Piezométrie:

L'isopiège 0 traverse la maille en empruntant le cours supérieur de la Sandougon. Au Nord, l'écoulement se fait vers le N-W; Au Sud, la piézométrie positive est du type persillée avec drainage par les talwegs jusqu'à l'axe principal qui est le lit de la Sandougon.

### Alimentation de l'aquifère supérieur:

Le Miocène étant argileux, on ne considère qu'un aquifère superficiel qui ne peut pas être, définitivement alimenté sur 83% de la surface, et d'une façon quasi-définitive sur 99,98% de sa surface.

## V - Maille D (voir carte en annexe)

### Situation

Elle concerne uniquement des terrains anciens du Sénégal Oriental; ce qui la différencie complètement des autres mailles. Elle couvre une superficie de 4900 km<sup>2</sup>.

### Pluviométrie:

Elle est supérieure à 1200 mm dans toute la maille (1400 mm à Kédougan).

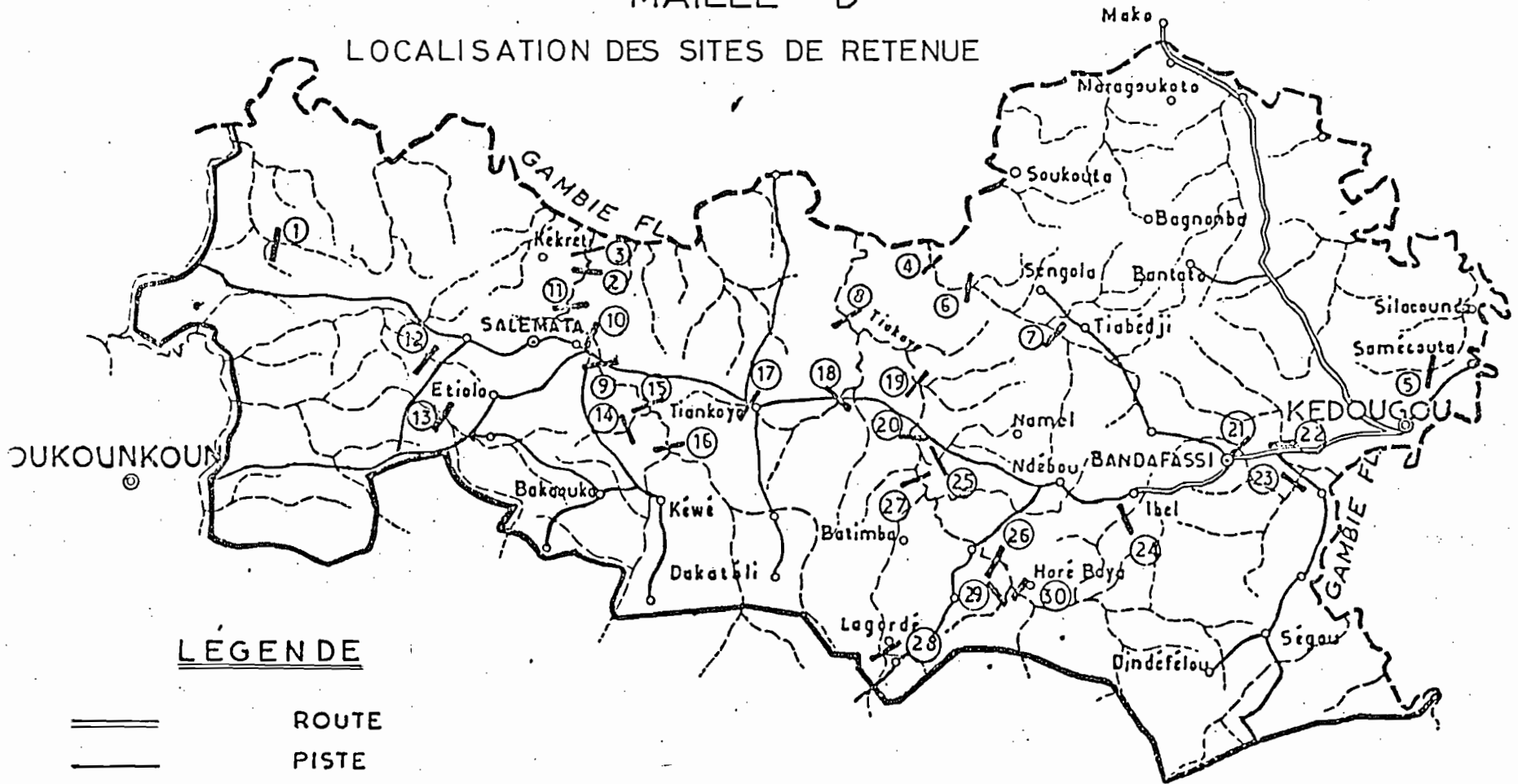
### Géologie:

La productivité des forages est fonction de la nature géologique des roches, de leur état de fissuration et de leur altération. La maille est caractérisée par:

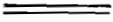








- des grès ou quartzites fissurés, peu altérables, évolution vers des sables puis localement vers des argiles (C3 - C1 - Qid).
- des schistes, moins fracturés mais divisés par la foliation, la

# MAILLE D

## LOCALISATION DES SITES DE RETENUE



### LÉGENDE

-  ROUTE
-  PISTE
-  FLEUVE
-  COURS D'EAU
-  CHEF LIEU DE DÉPARTEMENT
-  CHEF LIEU D'ARRONDISSEMENT
-  VILLAGE
-  SITE
-  N° DU SITE

Echelle 0 5 10 15 20 25 Km

Sites	APPORTS (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		HYDROGEOLOGIE		AGRO-SOCIO - Economie			Difficultés d'aménagements	
	Année moyenne	Moyennement sèche	Cuirassement	Ruissellement	Types de culture	S. Cultivée (ha)	Observations	Pistes	Observations
1			Très élevé	semi-permanent					
2			moyen	permanent			Absence de population		
3									
4			faible	semi-temporaire					
5	6,5	3,5	élevé	temporaire	arachide, maïs, riz	180			très difficile
6			faible				zone abandonnée - Pb sanitaire		
7	32	16	très faible		arachide, riz	250			
8			moyen	permanent			pas de village		
9	220	125			arachide, riz, maïs	55			
10						450	inondation de terres cultivées		
11							pas de possibilités d'aménagement		
12			faible	temporaire					
13			très faible						relief très accidenté
14			faible				absence de population		
15			moyen	permanent			pas de possibilités d'aménagement		
16			moyen						
17	5,5	3,1		temporaire	arachide, maïs, riz	165			
18	24	14	élevé			400			
19			moyen						
20	300	165			arachide, maïs, riz	160	absence de population		
21			assez fort						cours d'eau à forte amplitude de crue
22	24	12	très élevé				peu de besoins		
23									mauvais rendement topographique
24			assez élevé						
25			faible						
26				permanent					
27			moyen	permanent			inondation de terres cultivées		
28			moyen	temporaire					cours d'eau à forte amplitude de crue
29	9	5,5							
30			faible	permanent		160			très difficile

Observations :

37. RUISSELLEMENT

Les ressources des roches anciennes fissurées sont très limitées, mais il est possible d'alimenter en eau un village avec un forage de 50 m implanté sur des fractures. Les débits moyens ne permettent généralement pas d'irriguer. Le renouvellement des ressources est assuré et la sécheresse n'a pas des conséquences directes sur la ressource. Le ruissellement est presque toujours assuré, souvent temporaire.

Site N°	Cuirassement	Pente	Ruissellement		Géologie	Lit
			Caractéristique	Intensité		
1	Très élevé	faible	Semi-permanent	faible	C3	encaissé
2	moyen	faible	permanent	modéré	Aid C2	hydromorphe
3	moyen	faible	permanent	modéré	Aid	hydromorphe
4	faible	forte	semi-temporaire	moyen	C2	hydromorphe
5	élevé	moyenne	temporaire	moyen	SB	sur schiste
6	faible	forte	temporaire	fort	C1	hydromorphe
7	très faible	forte	temporaire	fort	SB	hydromorphe
8	moyen	forte	permanent	moyen	C3	hydromorphe
9	moyen	moyenne	permanent	modéré	C2	hydromorphe
10	moyen	moyenne	permanent	modéré	C2	hydromorphe
11	moyen	moyenne	permanent	modéré	C2	hydromorphe
12	faible	forte	temporaire	fort	C3 Qid	hydromorphe
13	très faible	forte	temporaire	fort	Aid	encaissé
14	faible	moyenne	temporaire	fort	C2	encaissé
15	moyen	faible	permanent	modéré	C2	sablo-argileux
16	moyen	faible	permanent	modéré	C2	sablo-argileux
17	moyen	forte	temporaire	moyen	C2 - C3	encaissé
18	élevé	moyenne	temporaire	moyen	C3	sablonneux
19	moyen	forte	temporaire	moyen	C2	hydromorphe
20	moyen	forte	temporaire	moyen	C2	hydromorphe
21	assez fort	forte	temporaire	moyen	SB	sur schistes
22	très élevé	faible	temporaire	faible	SB	sur schistes
23	très élevé	faible	temporaire	faible		sur schistes
24	assez élevé	forte	temporaire	moyen	SB	encaissé
25	faible	forte	temporaire	fort	C2	sablo-argileux
26	faible	forte	permanent	moyen	C2 - C1	hydromorphe
27	moyen	forte	permanent	moyen	C2	hydromorphe
28	moyen	forte	temporaire	fort	C2	encaissé
29	moyen	forte	temporaire	moyen	C1	encaissé
30a	faible	forte	permanent	moyen	SB	hydromorphe
30b	faible	forte	semi-permanent	moyen	SB	hydromorphe

C1 : grès  
 C2 : Schistes pelites  
 C3 : grès argileux fissurés  
 Qid : quartzites

Aid : Schistes  
 SB : Schistes  
 : Granite

, schistosité, les inclusions gréseuses et volcaniques; l'altération donne des produits argileux épais et poreux mais peu perméables (SB-C2-Aid).

- des granites très fracturés (syntectoniques) ou peu fracturés (atectoniques) avec une altération arénacée (sablo-argileuse).

### Structure de l'aquifère:

L'altération, plus ou moins, sous les plateaux et se trouvant par poches au droit des grandes fractures, renferme une nappe peu productive (moins d'un  $m^3/h$ ) en raison de la très faible perméabilité ( $10^{-6}$  à  $10^{-8}$  m/s). Mais son rôle capacitatif est très élevé car la porosité totale est très forte (40%). Les fractures, ouvertes en général sur une épaisseur de 40 m (granites) à 60 m (schistes) par la décompression superficielle des roches, constituent un aquifère discontinu à porosité de fissures extrêmement faible (quelque %: la réserve en eau de la roche est négligeable ( $10.000$  à  $400.000$   $m^3/km^2$ )). Une fracture sera utilisée comme un drain (1 à 4 km de long) capable d'inclure un grand volume fissuré et altéré.

### Guisselement:

Sur la roche affleurante, le guissement est intense, surtout sur les schistes peu perméables et sur les quartzites qui forment l'ossature des reliefs. Le guissement s'amortit sur les roches fissurées (grès-granites) mais s'intensifie rapidement lorsque les fractures sont pleines. Les plateaux cuirassés ont un fort pouvoir de rétention et le guissement est beaucoup plus réduit, les écoulements sont diffus sur schistes, et concentrés sur les grès et les plateaux cuirassés. L'altération argileuse sur schiste prolonge les écoulements après l'hivernage ainsi que l'altération sous plateau cuirassé. Ces phénomènes sont retenus comme critères de sélection des sites de stockage des eaux de surface.

- sur les bassins versants très cuirassés, la pente est faible et les

écoulements sont généralement temporaires avec des crues moyennes en raison de la forte rétention.

- si le cuirassement occupe 50% du bassin, les écoulements sont généralement permanents avec des crues moyennes (effets-tampon).

- si le cuirassement est faible, les écoulements sont temporaires avec des crues fortes à moyennes (pas d'effet-tampon, pas de rétention ni de soutien à l'étiage).

### Alimentation:

En raison de sa faible porosité, une fracture se remplit avec un volume d'eau réduit, surtout lorsque la couche est affleurante. Par contre, les altérites se comportent comme le CT en raison de leur porosité élevée. Une forte épaisseur d'altération peut immobiliser une grande partie de l'eau infiltrée. Mais dans la maille, l'eau est à faible profondeur ( $\bar{x} \approx 10$  m) et la rétention dans la frange non saturée ne prive pas l'alimentation des fractures, ni celle de l'aquifère de l'altération. Toutefois, un retard existe dans l'alimentation et le ruissellement.

## VI. Maille E. (voir carte en annexe)

### Situation:

Cette grande maille (7100 km<sup>2</sup> de superficie) couvre les bassins amont de la Casamance et de la Kayanza. Une bande étroite la sépare du territoire gambien au Nord tandis qu'au Sud elle est limitée par la Guinée Fissau.

Pluviométrie: Kolda (1923-1976) = 215 mm

Vélingara (1932-1976) = 1050 mm.

Ces moyennes ne traduisent pas la carence en pluie car depuis 1967, aucune année n'a eu 1050 mm d'eau à Vélingara, et à Kolda

depuis, la pluie n'a jamais dépassé 1200 mm, si bien que la tendance climatique tend vers celle des zones situées au Nord de la Gambie.

### Aquifères:

Le CT en surface est mal alimenté, sauf dans les bas-fonds. La baisse régulière de la nappe est de 0,10 à 0,50 cm/an. Le Miocène est localisé dans un sillon étroit entre Kolda-Badiou et Vélingara. Il déborde vers le Nord dans le haut bassin de la Casamance. Il est absent ou stérile en rive gauche de la Casamance et dans le bassin de la Kayanga. Pour les aquifères profonds, seul le Maestrichtien a été étudié; il se localise dans le bassin de la Casamance. Dans le SE de la maille, masquée par le recouvrement superficiel, les roches anciennes recèlent un aquifère de fentes.

### Guisselement superficiel:

L'eau ne guisse pas en période de sécheresse, sur 45% de la surface de la Haute Casamance, en particulier sur le versant rive droite et sur 70% du bassin de la Kayanga.

Dans le SE de la maille, le substratum est plus argileux et les roches anciennes ne sont pas très profondes.

D'une façon générale, la moitié de la maille est plus argileuse; ce qui, ajouté à une pluviométrie plus élevée, favorise l'hydromorphie et le guissement.

### Piezométrie:

Il n'existe pas de carte piézométrique détaillée. L'eau étant toujours à des cotes positives, la nappe a une allure pessilée obéissant aux formes de relief. Elle est drainée par les marigots. Dans cette zone amont, la piézométrie du Miocène tend vers celle du CT mais sous les plateaux la charge du CT est supérieure à celle du Miocène. La piézométrie de

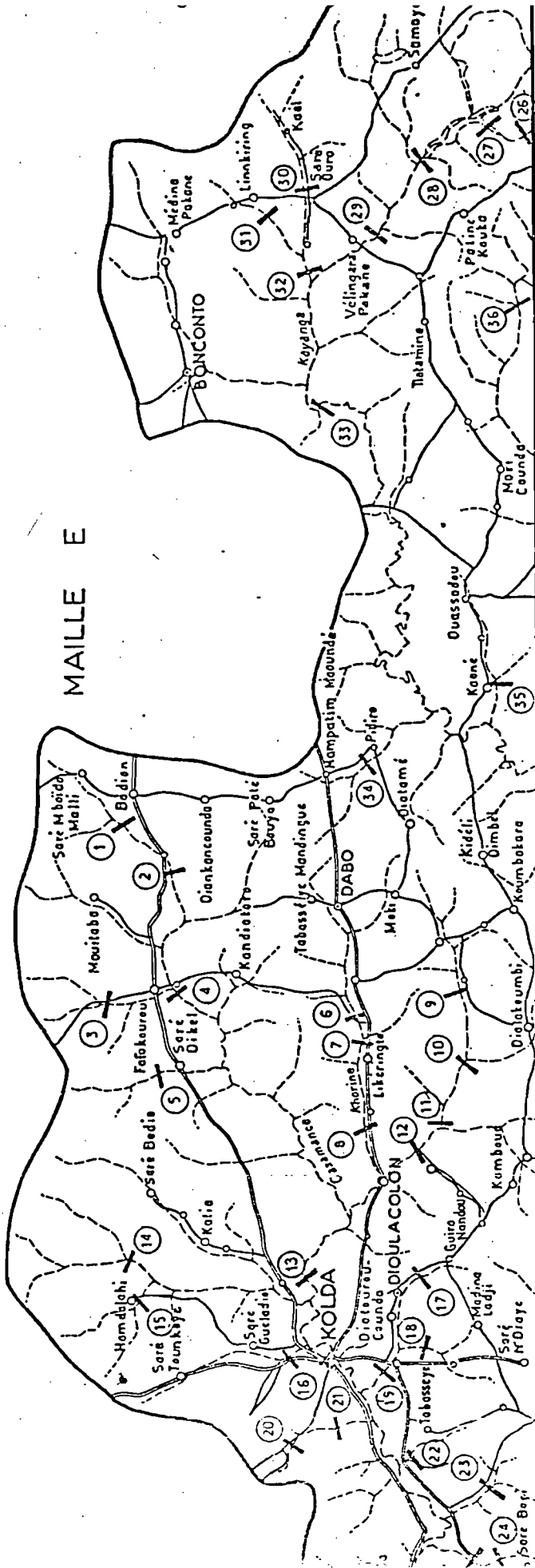


L'Éocène n'est pas connue et celle du Macotrichien est incomplète.

### Alimentation:

Dans cette zone de transition climatique, on distingue une pluviosité supérieure à 1300-1400 mm qui permet une alimentation des aquifères supérieurs. Elle n'a pas eu lieu depuis longtemps. Entre 900 et 1300 mm, l'alimentation n'est assurée que si le niveau de la nappe est à moins de 20 m de profondeur: ce qui localise l'alimentation dans les bas-fonds et une partie des versants. Sous les plateaux, l'étant étant vers 25 m de profondeur, l'alimentation est nulle. Pendant toutes les années déficitaires (pluie inférieure à 810 mm), l'alimentation peut même faire défaut dans les bas-fonds.

En Haute Casamance, 45% de la surface du bassin ne sont plus alimentés et ce pourcentage atteint 70% dans le bassin de la Kayanga. Cette absence d'alimentation se répercute sur celle du Niocène. Le Niocène peut être alimenté à l'amont de Kafakourou et plus généralement par les versants situés au rive droite de la Casamance amont.



**LÉGENDE**

ROUTE

PISTE

COURS D'EAU

CHEF LIEU D'ARRONDISSEMENT

VILLAGE

SITE

N° DU SITE

**LOCALISATION DES SITES DE RETENUE**

Echelle



e) MAILLE E

La persistance de la sècheresse a des effets marqués sur 50 à 70% de la surface de la maille. Ces effets agissent sur une nappe dont la profondeur atteint le point d'irréversibilité en ce qui concerne la cessation de l'alimentation.

Site N°	Fond du lit	Ruissellement	Écoulement	Bassin versant de ruissellement
1	Hydromorphe	Très réduit		
2	hydromorphe	en année très pluvieuse		
3	très filtrant	non assuré		
4	très filtrant	douteux en année moyenne		grand
5	hydromorphe	non assuré		
6	hydromorphe		semi-permanent	filiforme
7	hydromorphe		semi-permanent	filiforme
8	hydromorphe		semi-permanent	filiforme
9	très hydromorphe	non assuré en année sèche		filiforme
10	?	nul		nul
11	?			court
12	hydromorphe	possible		large
13	hydromorphe	possible		large
14	très perméable	nul		
15	très perméable	nul		
16	hydromorphe	limité	non assuré	
17	hydromorphe		intermittant	filiforme
18	hydromorphe		intermittant	moyen
19	?	permanent		grand
20	hydromorphe	limité	non assuré	
21	hydromorphe			filiforme et court
22	hydromorphe		temporaire restreint	"
23	hydromorphe			
24	hydromorphe	en année pluvieuse		
25	hydromorphe	en année pluvieuse		
26	hydromorphe			restreint
27	hydromorphe			restreint
28	hydromorphe			
29	hydromorphe			
30	hydromorphe		semi-permanent	
31	hydromorphe	limité		
32	hydromorphe			assez vaste
33	hydromorphe		permanent	assez vaste
34	hydromorphe		semi-permanent	réduit
35	hydromorphe	possible		assez vaste
36	hydromorphe		permanent en année pluvieuse	assez grand

	moyenne	sèche	enfouissement	ensemencement	types de cultures	surface (ha)	Observations	difficulté	autres remarques
1			Très élevé	semi-permanent			Absence de population		
2			moyen	permanent			" "		
3			"	"			" "	très difficile	
4			faible	semi-temporaire			" "		
5	6,5	3,5	élevé	temporaire	arachide, maïs, riz	180			
6			faible	"			zone abandonnée - Pb sanitaire		
7	32	16	très faible	"	arachide, riz	250			
8			moyen	permanent			pas de village		
9	220	125	"	"	arachide, riz, maïs	55			
10			"	"		450	inondation de terres cultivées		
11			"	"			pas de possibilités d'aménagement		
12			faible	temporaire			absence de population		relief très accidenté
13			très faible	"			" "		
14			faible	"			pas de possibilités d'aménagement		
15			moyen	permanent			" "		
16			moyen	"			absence de population		
17	5,5	3,1	"	temporaire	arachide, maïs, riz	165			
18	24	14	élevé	"	" " "	400			
19			moyen	"			absence de population		
20	300	165	"	"	arachide, maïs, riz	160			
21			assez fort	"	" " "				cours d'eau à forte amplitude de crue
22	24	12	très élevé	"			peu de besoins		
23			" "	"					mauvais rendement topographique
24			assez élevé	"					" "
25			faible	"					" "
26			"	permanent					" "
27			moyen	permanent			inondation de terres cultivées		
28			moyen	temporaire					cours d'eau à forte amplitude de crue
29	9	5,5	"	"				très difficile	
30			faible	permanent		160			" "

Observations :

- Sites éliminés par l'Agro-économiste : 1, 2, 4, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 19, 21, 26.
- Sites éliminés par des difficultés d'aménagement : 3, 12, 20, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30.
- Sites sélectionnés : 5, 7, 9, 17, 18, 29.

# 3<sup>ème</sup> PARTIE

IDENTIFICATION DES SITES DE FORAGES

## Introduction :

À la limite du Sahara, le Sénégal subit de plein fouet les conséquences d'une sécheresse qui ne fait que trop durer, révélatrice d'une situation pluviométrique précaire.

Ainsi se trouvent réduites les possibilités d'exploitation des eaux de surface, insuffisantes, comparées aux besoins.

D'où le recours aux eaux souterraines, dont l'exploitation, par le biais des puits et forages, doit obéir à certaines conditions aussi importantes les unes que les autres; Entre autres, essentielles, on peut citer la pluviométrie et la physiographie des bassins versants, car, avant de préconiser l'exploitation d'une nappe aquifère, il importe de s'assurer que les réserves pourront se renouveler à un rythme au moins égal à celui du pompage, faute de quoi elle se tarirait plus ou moins rapidement; sans perdre de vue que c'est le complexe physique d'un bassin versant qui conditionne ses possibilités de recharge.

### I — Ressources renouvelables et sur exploitation des nappes:

Les ressources renouvelables d'une nappe correspondent à la part des précipitations qui atteint la nappe et y reste jusqu'à la fin du cycle saisonnier après tous les départs en évapotranspiration et éventuellement en recharge superficielle. Elles sont donc égales à l'infiltration efficace diminuée de la réserve utile à la végétation.

Il existe un niveau critique entre une nappe affleurante et une nappe profonde, au-dessous duquel les ressources renouvelables s'annulent lorsque la nappe descend en dessous de ce seuil de position du plan d'eau par rapport au sol (20 à 40 m), aucune infiltration pluviale ne peut atteindre l'aquifère. Les départs en évaporation s'annulent aussi et la nappe devient figée ou morte. Le processus est pratiquement irréver-

- able, même si la pluviométrie restait excédentaire. C'est là un grave problème qui menace les nappes phréatiques du Sahel et a déjà atteint les nappes du Ferkol (5).

La surexploitation des eaux souterraines, c'est-à-dire leur exploitation au-delà des ressources renouvelables, constitue un facteur grave de désertification. L'abaissement, par exploitation abusive, de toute nappe dont la profondeur par rapport au sol est inférieure à 20 m entraîne un dépérissement de la végétation et au-delà de 20 m les ressources renouvelables de la nappe risquent de s'annuler.

## II — Identification des sites de forages en fonction de la pluviométrie et de la physiographie des bassins versants.

### • Région de Mbour. (3)

L'étude (géométrie de l'aquifère, analyse de la piézométrie...) montre que l'impluvium des calcaires paléocènes, correspond aux régions où les précipitations ont un effet manifeste sur les fluctuations piézométriques. Ça concerne les zones où les calcaires subaffleurent et celles où il y a infiltration par percolation à travers un recouvrement relativement mince d'épais de marnes et marne-calcaires de l'Eocène. C'est le cas pour la région d'Agas-Babou. Il faut aussi y ajouter les endroits où les précipitations, par ruissellement sur une forte pente, atteignent les calcaires : cas de la fontaine de Thiès.

De même, au Nord et jusqu'à la limite d'affleurement des calcaires - compartiment de Pontompis - les réserves stagnantes, antérieures, sont en partie reconstituées par les infiltrations.

### • zones au Sud de l'isohyète 800 mm : (4)

Dans cette zone, les endroits favorables à l'infiltration ont été vus dans l'étude hydrogéologique de chaque maille.

Les résultats sont synthétisés dans la carte qui suit.



4<sup>ème</sup> PARTIE

GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

## Introduction:

Il est certain que l'eau, au Sénégal comme partout ailleurs, se trouve à la disposition des hommes dans des limites bien définies. Alors que les ressources renouvelables totales des nappes exploitées dans le pays sont estimées à  $1357000 \text{ m}^3/\text{jour}$  ( ) pour des prélèvements totaux de l'ordre de  $120000 \text{ m}^3/\text{jour}$ , les populations, à défaut de gaspiller cette eau, dégradent sa qualité, en la rendant impropre à la satisfaction de leurs besoins domestiques, urbains, industriels ou agricoles.

À une époque où les perspectives de lutte contre la désertification sont plutôt sombres en raison du déficit pluviométrique que connaît le Sénégal, on peut paraître optimiste, en déclarant que le problème de l'eau n'est, ici, nullement un problème de quantité, dans une vision globale des ressources en eaux souterraines existantes, des besoins (même croissants) en eau, et des transformations successives et multiples de la qualité des eaux qui sont réalisables naturellement ou artificiellement. Le problème de l'eau est avant tout un problème de répartition et de qualité.

La bonne répartition fait appel à des techniques connues, mais pouvant être très coûteuses, pouvant même nécessiter des dépenses gigantesques (surtout en zone aride à l'intérieur du continent).

La bonne qualité fait également appel à des techniques connues, mais pouvant aussi être très coûteuses (épuration tertiaire des eaux usées par exemple...). En somme, le vrai problème de l'eau est celui de la gestion des ressources.

Aussi, importe-t-il d'élaborer une stratégie de gestion qui devra s'articuler dans le temps et dans l'espace autour d'un objectif

à long terme qui est la conservation et la maîtrise des ressources en eaux souterraines.

Cette politique de gestion devra s'appuyer sur un certain nombre de principes, se matérialiser par le biais de moyens techniques, humains, etc... au service d'une cellule de gestion, permanente, responsable également du contrôle et de la protection des nappes.

On ne saurait finir sans parler de l'entretien des puits de forages, ouvrages d'exhaure de l'eau souterraine.

### I. Principes:

Il s'agit de dégager ici le contexte dans lequel doit être considérée la gestion de l'eau, l'esprit qui doit être le sien, en rapport avec des objectifs visés. En effet,

— aujourd'hui plus que jamais, le Sénégal est appelé à accorder plus d'importance au problème de l'eau. Des longues décennies de pluviosité capricieuse jointes à la fragilité de l'économie nationale exigent, de la part des populations, une utilisation plus efficiente de l'eau. En d'autres termes, il s'agit de conscientiser l'usager primaire sur les retombées négatives que peut générer un usage abusif de l'eau. Une levée de boucliers, à son niveau, contre le gaspillage de cette précieuse denrée constitue la contribution individuelle à la stratégie établie.

— L'eau est un facteur rare qu'il est nécessaire de sauvegarder et de maîtriser, sous ses deux aspects :

- les eaux souterraines
- les eaux de surface,

en tenant compte de leurs utilisations multiples :

- hydraulique urbaine,
- hydraulique rurale et pastorale,
- irrigation et drainage,
- hydro-électricité,
- navigation.

En affectant les ressources disponibles, en eaux de surface et en eaux souterraines, il faut garder à l'esprit la relative rareté de ces dernières. Pour s'en convaincre, il suffit de comparer deux chiffres ( ) :

→ 23,8 milliards  $m^3$  → écoulement annuel en année normale du fleuve Sénégal à Bekel.

→ 0,5 à 0,7 milliard  $m^3$  : ressources renouvelables totales des eaux souterraines au Sénégal, pays pourtant relativement bien pourvu dans ce domaine.

Ainsi, les ressources en eaux souterraines, en général de meilleure qualité et bien réparties sur l'ensemble du pays, sont particulièrement bien adaptées et doivent être affectées en priorité à la satisfaction des besoins vitaux pour l'alimentation en eau des populations et du bétail, spécialement en zones rurales. Ces besoins sont en effet disséminés dans le cas de l'hydraulique rurale et pastorale, exigeants en qualité, mais relativement limités en quantité.

Dans le même ordre d'idées, l'irrigation, plus grosse consommatrice d'eau, se fera essentiellement à partir des eaux de surface. En milieu aride, la quantité d'eau nécessaire pour irriguer un hectare de culture suffit pour alimenter en eau un village de quatre mille âmes. Pour assurer sa subsistance, un tel village a besoin de plus de 100 hectares de cultures irriguées. Ceci signifie qu'en économie fermée,

en milieu aride, les besoins hydro-agricoles en eau sont cent fois plus importants en quantité que les besoins humains. (5).

— Le dernier élément, très important, concerne la planification de l'exploitation par une prévision des besoins et une estimation des besoins réels; ce qui nécessite de connaître l'état des ressources après chaque cycle pluviométrique: d'où la possibilité de moduler les prélèvements en conséquence. C'est un objectif à plus ou moins long terme, qu'on ne peut atteindre que par un certain nombre de moyens.

## II. Moyens:

Les ressources en eau d'une localité, d'un bassin, d'une région ou d'un pays peuvent être conservées et maintenues par le moyen de:

- 1- d'une connaissance approfondie des aquifères;
- 2- d'aménagements propres à favoriser l'alimentation des nappes souterraines et à faire obstacle à la progression des biefs salés qui constituent un facteur de désertification souvent irréversible, à accroître également la disponibilité dans l'espace à l'aide de canaux ou de canalisations géantes, ou à limiter les pertes par évaporation;

- 3- d'une cellule permanente, responsable de la gestion, du contrôle et de la protection des nappes, dotée du matériel logistique et du personnel nécessaire.

### 1. Connaissance des aquifères:

La mise en valeur régionale des ressources en eau, a comme préalable la connaissance des aquifères et doit reposer sur une programmation de la recherche et de l'exploitation de toutes les ressources en eau, de surface et souterraines, pour fins d'harmonisation et de coordination.

Le programme requiert l'exécution des études et travaux ci-après :

- étude hydrogéologique régionale préliminaire ;
- étude hydrogéologique régionale détaillée ;
- exécution des travaux de captages ;
- exploitation.

#### 1.1 Etude hydrogéologique régionale préliminaire :

Elle devra comprendre les opérations ci-après :

- Inventaire des ressources en eaux de surface et souterraines
  - \* Inventaire systématique et détaillé
  - \* Inventaire synthétique et sommaire
- Géomorphologie appliquée
- Géologie d'affleurement : zones d'infiltration, relations eaux de surface - eaux souterraines
- Géologie des couches aquifères
  - \* Structures hydrogéologiques
    - caractéristiques physiques : lithologie, granulométrie, fissuration, porosité, totale...
    - géologie structurale, sommaire
- Notions sommaires, qualitatives, sur les caractéristiques hydrogéologiques et les facteurs de l'écoulement. Essai de production.
- Synthèses préliminaires
  - \* cartographie géologique et coupes hydrogéologiques : séries lithologiques, structure
  - \* carte piézométrique
  - \* notions sommaires sur les réserves et les ressources

- en eaux de surface et souterraines
- Choix d'une solution (pour les eaux souterraines seules)
- programme des travaux de reconnaissance.

### 1.2. Etude hydrogéologique régionale détaillée:

- Eventuellement inventaire des ressources, systématique et détaillé
- Etude géologique détaillée des zones retenues
- Travaux de reconnaissance
  - \* sondages de reconnaissance et d'exploration
  - \* prospections géophysiques
- Structures hydrogéologiques (études complémentaires)
- Détermination des caractéristiques hydrogéologiques et des facteurs de l'écoulement; données quantitatives
  - \* essais de nappes (ponctuels, de pompage, sur sondage, de production)
  - \* emploi des isotopes
  - \* piézométrie détaillée
  - \* hydrochimie
- Synthèses
  - \* cartographie des eaux souterraines
  - \* établissement du bilan
  - \* estimation des réserves et des ressources
- Programme des travaux de captages.

### 1.3. Exécution des travaux de captages. Surveillance géologique des travaux.

#### 1.4. Exploitation:

- programme d'exploitation rationnelle
- conservation des ressources
- contrôle de l'exploitation.

#### 2. Aménagements:

L'accroissement des ressources en eaux souterraines se fait par des techniques classiques et avancées de nature variable en fonction de l'importance des besoins. Cependant, et pour un pays comme le Sénégal, les techniques les plus appropriées concernent:

- l'alimentation artificielle des nappes
  - \* par infiltration provoquée
  - \* par injection:

Citons, dans ce cas, l'expérience tentée à Ags-Babou où un forage a été utilisé pour injecter de l'eau de surface dans les calcaires. Ainsi, en une saison, malgré les problèmes de colmatage qui suivirent, 50.000 m<sup>3</sup> d'eau ont été injectés dans la nappe et sa teneur en fluor réduite de moitié, passant de 2.4 à 1.2 mg/l. (3).

Ainsi, les calcaires paléocènes regorgent de sites favorables à cette technique de recharge (cas du panneau Pont Nord).

- le stockage des eaux de ruissellement
  - \* dans des retenues collinaires
  - \* ou des barrages réservoirs
- recyclage des eaux usées.

#### III. Structure de la gestion:

Elle se compose essentiellement de la cellule de gestion et s'articule



, autour des fonctions ci-après :

- identification et évaluation des besoins ;
- inventaire et études des ressources disponibles ;
- choix de solutions appropriées ;

Il est impératif d'instaurer un organe de coordination qui devra se charger d'établir les contacts entre tous les intervenants dans les domaines de l'exploitation et de la gestion de ce précieux liquide qu'est l'eau, les scientifiques et les experts en hydraulique.

#### IV Entretien des puits de forages :

Autant il est vrai que la satisfaction des besoins en eau passe par la multiplication des points d'eau, autant l'entretien et la maintenance des ouvrages de captage s'avèrent nécessaires pour ne pas être indispensables, surtout pour un pays dont le "parc hydraulique" est relativement important. En effet, on dénombre 260 forages, quelques 1000 puits modernes et 40.000 autres traditionnels répartis à travers le pays. (6). Il importe, cependant, de noter que la densité des ouvrages hydrauliques est très faible dans certaines zones. Ce à quoi il faut ajouter leur état de dégradation : plus de 20% de ces ouvrages sont hors d'usage. Il apparaît alors la nécessité, pour l'hydraulique rurale, surtout, de penser à réhabiliter les ouvrages existants (puits traditionnels en particulier) en état d'obsolescence. La maintenance des ouvrages et des matériels d'exhaure, est un objectif prioritaire qui demande une réponse urgente au plan de l'organisation structurelle à créer.

#### Entretien proprement dit (2) :

Il concerne tous les puits, qu'ils aient été construits à l'aide de "l'investissement humain", en régie ou à l'entreprise. Il permet de prévenir

ou réparer les dégradations, prolonger la durée de vie de l'ouvrage et maintenir le débit qu'il fournit.

Le souci d'une bonne conservation du capital-puits, conseille donc d'assurer leur visite périodique, afin de pouvoir intervenir à temps si leur réparation est nécessaire.

### 1. Détériorations:

Le captage, qui est un organe "vivant", constitue la partie la plus délicate du puits. Son évolution au cours du temps nécessite un entretien préventif. Deux dangers le menacent en effet: l'ensablement et le colmatage.

#### — L'ensablement:

Lorsque tout ou partie des éléments constitutifs du terrain aquifère est susceptible de traverser le captage, les matériaux qui ont filtré s'accumulent à l'intérieur du puits, tandis que derrière les buses se forme une cavité qui s'agrandit progressivement jusqu'à la rupture ou le basculement du cuvelage.

On ne peut y remédier que par la mise en place d'un supplément de gravier-filtre entre les buses et le terrain, et par le choix d'une crépine adaptée à la granulométrie du terrain.

#### — Le colmatage:

Il résulte du dépôt sur la crépine d'un certain nombre de substances existant en suspension ou en solution dans l'eau de la nappe (argiles, concrétions ferrugineuses, ou carbonatées, etc...). Peu à peu, ou parfois très rapidement, ces dépôts obturent les espaces vides de la crépine et du massif filtrant.

Tout captage est plus ou moins sujet au colmatage. On doit donc le réaliser de telle manière que ce colmatage soit aussi réduit que possible.

et aussi tardif que possible.

Le décolmatage des captages fait appel à des procédés physiques (agitation, pompage intensif...) et chimiques (polyphosphate, acide) qui nécessitent l'intervention d'une équipe spécialisée.

Le tableau qui suit donne, pour chaque type de détérioration, les réparations qu'il y a lieu de faire:

Types de détériorations et de réparations  
propres aux puits.

détériorations	réparations
<u>captage</u>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• gravier filtrant insuffisant</li> <li>• ensablement</li> <li>• première buse cassée</li> <li>• buses fissurées ou trouées avec perte du gravier filtrant</li> <li>• décalage + inclinaison des buses</li>   <li>• absence ou disparition du captage</li> <li>• cavernes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mise en place de gravier filtrant</li> <li>• curage</li> <li>• extraction et remplacement de celle-ci</li> <li>• doublage du captage par une colonne de diamètre inférieur</li> <li>• si le décalage et l'inclinaison le permettent, doublage du captage</li> <li>• sinon, remblaiement du captage et mise en place d'un nouveau captage avec destruction et extraction de l'ancien</li> <li>• remblaiement jusqu'à la base du cuvelage et mise en place d'un captage nouveau</li> <li>• remblaiement</li> </ul>
<u>cuvelage</u>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• fissuration sans décrochement; trous dans le cuvelage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• maçonnerie</li> </ul>

- décrochement vertical ; et/m. cisaillement horizontal
- rupture du cuvelage au-dessus du captage
- cavernes

- doublage du cuvelage avec ancrage
- doublage du cuvelage avec appui sur le captage
- remblaiement.

### équipement de surface

- abreuvoirs cassés ou fissurés
- margelle au-dessus du niveau du sol (remblaiement zolien ou autre)
- absence d'abreuvoir
- absence de l'anti-bourbier
- déchaussement des bords du puits

- petite maçonnerie
- remontée de la margelle
- confection d'abreuvoir
- confection d'un dallage anti-bourbier
- remblaiement.

### commentaires du tableau :

- le gravier filtrant intercalé entre le terrain et le captage est sans cesse appelé vers la base du puits, et la réserve qu'on a recommandé de constituer au sommet du captage, sur 0,5 à 2 m de hauteur au-dessus du niveau de la nappe, se trouve périodiquement absorbée. Il y a donc lieu de reconstituer de temps à autres cette réserve.

- l'ensablement a pour effet de diminuer la tranche d'eau disponible et par conséquent le débit ; il faut donc régulièrement curer le puits.

- si l'ensablement est rapide, et si l'on omet de réalimenter la réserve de gravier filtrant, des désordres graves peuvent survenir à plus ou moins brève échéance : les bues de captage s'inclinent, se débâtent et vendent

Le puisage impossible.

Si l'intervention est pratiquée avant que l'inclinaison des buses ne devienne importante, il est possible de doubler la crépine par des buses perforées d'un diamètre inférieur, l'espace vide entre les buses étant rempli de gravier. Au-delà d'une certaine inclinaison, la réparation devient difficile et aléatoire: il faut extraire le captage, remblayer jusqu'au sommet de la nappe et remettre en place un nouveau captage.

Il est parfois impossible d'extraire la colonne endommagée; dans ce cas, on procède après remblaiement au hachage d'une nouvelle colonne, en détruisant l'ancienne au fur et à mesure de l'avancement des travaux (ce travail coûteux ne se justifie que pour un puits très profond, de plus de 60m). Lorsqu'un captage est réalisé en totalité dans des terrains très instables, son enfoncement continu dans le sous-sol est pratiquement inévitable. Le seul remède est de mettre périodiquement en place de nouvelles buses à sa partie supérieure, de telle façon que le sommet de la colonne de captage dépasse toujours notablement la base du cuvelage.

Le cuvelage, sauf cas exceptionnel (marnes gonflantes), s'il est correctement exécuté, avec de matériaux de bonne qualité et un ferrailage suffisant, ne doit pas se détériorer: une fois construit, il n'est en effet soumis à aucun effort particulier en dehors de la pression régulière du terrain.

La construction du cuvelage en descendant par tranches successives de 1,10 m entraîne toutefois dans certains cas la production de fissures entre les tranches. Il est alors nécessaire de reboucher soigneusement ces fissures avec du mortier. D'autre part, un captage détérioré entraîne souvent des répercussions sur la partie inférieure du cuvelage. Les cavernes qui se produisent dans ce cas déséquilibrent le cuvelage et peuvent entraîner sa rupture, avec ou sans déplacement latéral.

La rupture du cuvelage nécessite de le chemiser par un jeu de buses pleines. Si la cassure est située à proximité de la colonne de captage, ces buses pourront prendre appui sur elle. Dans le cas contraire, il sera nécessaire de les ancrer dans le terrain.

Les superstructures des puits peu fréquentés (ou de faible débit), sont très durables. Si, par contre, l'utilisation du puits est intense (puits pastoraux, certains puits ruraux), un boursier prend naissance au voisinage du puits, et les équipements de surface se dégradent rapidement.

On y remédie en procédant au remblaiement des abords du puits, ou en utilisant des abreuvoirs mobiles (remblaiement naturel dû au piétinement des animaux)

Si le puits est exploité à l'aide d'une pompe à main, les visites d'entretien devront y être beaucoup plus fréquentes en raison des servitudes propres à ce matériel.

## 2. Réparations:

L'approfondissement est souvent la seule solution pouvant remédier au tarissement ou à l'impossibilité d'utiliser certains puits, compte tenu de la conjugaison des fluctuations annuelles et pluri-annuelles du niveau des nappes, de la mauvaise perméabilité du milieu ou de la faible hauteur de la nappe captée.

Lorsqu'il ne s'agit pas d'un approfondissement très important, il peut se faire en ajoutant des buses par le haut au captage initial. Dans le cas contraire, une grèpine d'un diamètre inférieur est mise en place pour prolonger le captage existant (télécopage).

## 3. Entretien traditionnel:

C'est à des "brigades d'entretien", similaires aux brigades de travaux neufs que sont dévolus les travaux d'approfondissement des puits.

### Conclusions générales ; recommandations

Il ressort de ce travail qu'à l'heure actuelle, rien ne permet de prévoir l'évolution prochaine de la pluviométrie au Sénégal, d'où la nécessité de s'adapter à la situation actuelle, sans compter sur la certitude d'une amélioration prochaine.

Aussi, pour conjurer ce climat de psychose qu'occasionnent les déficits pluviométriques enregistrés, importe-t-il d'initier d'autres filières d'exploitation de l'eau par son transport dans l'espace et dans le temps au moyen de canalisations et de retenues collinaires pour ne citer que celles-là.

Une plus grande attention devra être accordée aux études hydrogéologiques. En effet, il me semble que les rapports réels, perçus sous l'angle du temps surtout, entre les précipitations et la piézométrie manquent de suivi régulier; chose plus ou moins inconcevable dans le cadre d'une gestion efficiente des ressources en eaux souterraines. Il s'agit, malgré la modicité de nos moyens, de nous efforcer à maîtriser le cycle hydrologique.

Toute politique de l'eau que l'on devra mettre au point, doit s'articuler sur une coordination efficace des projets, sur l'établissement sérieux des connaissances hydrogéologiques et hydrologiques du bassin sénégalais, la rupture du déséquilibre entre le milieu urbain et celui rural par le déplacement du tîm industriel du pays. Cette politique devra nous mener à une planification, à long termes, de la consommation de l'eau.

CUMUL PLUVIOMETRIQUE MENSUEL CLASSE EN VALEURS CROISSANTES POUR LA PERIODE(1932-1985); LES VALEURS SONT DONNEES EN 1/10 MM.

TABLEAU 1

	D A K A R					D I O U R B E L				
	J	J	A	S	O	J	A	S	O	
1	0	4	.	468	0	33	131	576	0	
2	0	7	204	518	0	194	253	620	0	
3	0	29	343	529	0	285	266	629	0	
4	0	58	381	531	0	314	1189	658	0	
5	0	60	487	555	0	407	1226	755	0	
6	0	84	633	564	0	462	1251	883	2	
7	0	148	699	567	1	505	1272	896	25	
8	0	158	816	584	11	581	1361	920	26	
9	0	171	817	629	13	590	1417	950	43	
10	0	188	953	656	16	607	1434	969	59	
11	0	226	1050	660	25	640	1478	976	70	
12	2	235	1099	684	31	703	1485	986	72	
13	3	257	1101	699	35	707	1487	1040	87	
14	5	261	1136	761	45	774	1583	1090	100	
15	7	270	1145	943	61	909	1599	1174	150	
16	7	336	1191	990	62	933	1605	1192	160	
17	8	392	1312	998	70	978	1637	1207	182	
18	10	454	1358	1081	106	1006	1685	1221	204	
19	11	458	1375	1104	115	1010	1833	1250	205	
20	12	487	1375	1122	118	1034	1843	1288	210	
21	19	505	1390	1141	122	1048	1866	1355	236	
22	20	507	1496	1175	123	1068	1894	1386	244	
23	23	513	1593	1218	138	1080	1898	1412	250	
24	24	533	1624	1265	139	1081	1965	1498	251	



ANNEXE

25	24	570	1697	1299	155	1111	1973	1527	276
26	35	591	1754	1305	179	1134	1913	1550	327
27	40	607	1786	1313	181	1137	2038	1631	330
28	45	637	1790	1335	182	1139	2062	1663	330
29	48	683	1941	1428	195	1140	2081	1667	336
30	54	721	1956	1439	263	1151	2225	1677	403
31	70	724	2001	1488	280	1167	2239	1730	459
32	76	725	2008	1500	310	1176	2258	1741	514
33	77	811	2049	1556	317	1277	2281	1749	528
34	87	812	2263	1603	331	1280	2286	1777	534
35	100	826	2384	1612	392	1284	2310	1909	542
36	123	863	2412	1681	402	1420	2473	1922	544
37	127	866	2513	1708	432	1533	2476	1939	724
38	127	914	2527	1796	435	1613	2490	1990	744
39	129	977	2581	1827	523	1626	2516	2143	779
40	135	1023	2607	1914	560	1629	2681	2360	779
41	135	1047	2660	1920	596	1663	2795	2375	827
42	176	1077	2770	1949	620	1701	2863	2501	883
43	195	1107	2791	2149	728	1714	2937	2650	938
44	215	1139	2817	2198	736	1781	3002	2673	1048
45	235	1231	2897	2259	877	1781	3025	2709	1093
46	265	1424	2976	2267	930	1838	3095	2719	1099
47	324	1580	2986	2331	995	1844	3115	2746	1137
48	331	1724	3053	2344	1025	1944	3280	2749	1274
49	339	1764	3598	2450	1389	1954	3631	2824	1274
50	368	2059	3306	2582	1532	2130	3687	3063	1370
51	558	2231	4050	2627	1570	2195	3891	3225	1421
52	689	2240	4134	2634	1718	2380	5034	3551	1526
53	759	2558	4239	2673	1830	2411	5622	3574	1658
54	935	4422	4554	3653	2375	2417	5670	4109	1683

CUMUL PLUVIOMETRIQUE MENSUEL CLASSE EN VALEURS CROISSANTES POUR LA PERIODE(1932-1985); LERS VALEURS SONT DONNEES EN 1/10 MM.

TABEAU 1

	S A I N T - L O U I S					T A M B A C O U N D A				
	J	J	A	S	O	J	J	A	S	O
1	0	.	45	38	0	206	796	679	640	2
2	0	10	116	81	0	214	905	734	695	16
3	0	37	311	145	0	311	938	767	763	32
4	0	43	311	167	0	363	1016	845	777	60
5	0	50	330	175	0	440	1343	1289	784	78
6	0	82	405	212	0	596	1350	1430	861	81
7	0	93	416	219	0	601	1356	1438	959	140
8	0	97	422	308	0	603	1361	1513	1079	145
9	0	102	519	357	0	632	1363	1608	1186	157
10	0	103	529	392	0	645	1412	1655	1236	168
11	0	121	600	472	2	649	1427	1665	1272	207
12	0	124	613	579	8	652	1492	1758	1392	246
13	0	129	631	650	11	674	1564	1827	1496	247
14	0	131	725	661	22	722	1573	1841	1516	277
15	0	135	739	672	29	746	1591	1864	1556	290
16	0	133	797	679	30	758	1595	1937	1558	309
17	0	141	804	749	34	782	1627	1948	1645	313
18	1	148	846	751	34	786	1698	2016	1664	339
19	2	176	878	764	40	809	1701	2071	1666	390
20	3	190	924	767	64	837	1717	2085	1713	394
21	3	197	927	781	65	840	1744	2117	1772	405
22	5	201	928	790	66	867	1746	2238	1803	494
23	5	205	961	802	67	881	1750	2303	1879	506
24	6	211	992	802	76	937	1785	2419	1896	535

25	10	245	1006	835	88	1022	1841	2428	1898	569
26	11	248	1035	839	118	1031	1884	2448	1916	570
27	13	258	1170	848	125	1041	1931	2470	1927	591
28	14	267	1194	852	127	1088	1971	2471	2003	595
29	14	293	1199	860	150	1106	2007	2725	2071	604
30	19	302	1249	874	172	1126	2035	2766	2099	622
31	26	331	1315	940	207	1222	2039	2785	2128	622
32	26	367	1339	949	217	1233	2095	2857	2250	627
33	34	421	1371	962	220	1256	2103	2879	2256	633
34	42	424	1448	975	221	1303	2208	2972	2256	656
35	52	432	1566	977	255	1327	2243	2991	2257	665
36	56	492	1610	983	262	1340	2265	3018	2295	694
37	63	492	1687	1013	264	1352	2300	3038	2398	752
38	65	526	1722	1015	264	1420	2324	3108	2434	775
39	69	529	1767	1093	300	1430	2347	3176	2437	838
40	71	603	1793	1188	364	1508	2381	3193	2449	839
41	108	673	1832	1232	384	1560	2390	3240	2495	862
42	108	695	2082	1357	389	1600	2403	3361	2515	978
43	113	764	2174	1373	396	1725	2457	3393	2534	1019
44	153	784	2292	1400	420	1730	2534	3556	2758	1043
45	154	821	2332	1446	451	1796	2550	3980	3013	1098
46	170	832	2360	1575	476	1807	2594	3994	3259	1169
47	177	836	2422	1606	548	1920	2594	4048	3272	1351
48	191	836	2432	1737	617	1941	2671	4056	3298	1357
49	220	856	2437	1799	672	1941	2671	4108	3616	1421
50	220	875	2437	1907	688	2194	2734	4122	3616	1476
51	250	1037	2506	1956	1060	2217	2835	4200	3991	1681
52	265	1092	2622	2127	1098	2250	2866	4303	4143	1849
53	282	1131	2802	2270	1979	2341	3100	4348	4410	1858
54		1287	2902	2978	2294	2379	3849	4945	4420	2071

Tableau 2 : cumul pluviométrique annuel classé en valeurs croissantes pour la période 1932-1985. valeurs en mm et pourcentages au non-dépassement.

N°	Dakar		Diourbel		Tambacounda		Saint-Louis	
	X(I)	$\frac{100}{N+1}$	X(I)	$\frac{100}{N+1}$	X(I)	$\frac{100}{N+1}$	X(I)	$\frac{100}{N+1}$
1	1160	2	2850	2	4579	2	997	2
2	1549	4	3285	4	4887	4	1023	4
3	1712	5	3337	5	5239	5	1091	5
4	1770	7	3406	7	5369	7	1521	7
5	2344	9	3518	9	5535	9	1735	9
6	2539	11	3588	11	5901	11	1770	11
7	2587	13	3708	13	6023	13	1799	13
8	2731	15	3711	15	6327	15	1904	15
9	2870	16	3906	16	6395	16	1913	16
10	3095	18	4095	18	6656	18	1925	18
11	3234	20	4194	20	7181	20	1968	20
12	3382	22	4468	22	7256	22	2055	22
13	3411	24	4627	24	7264	24	2053	24
14	3641	25	4971	25	7378	25	2091	25
15	3663	27	5052	27	7550	27	2195	27
16	3667	29	5093	29	7628	29	2205	29
17	3778	31	5273	31	7692	31	2227	31
18	3873	33	5363	33	7787	33	2250	33
19	3878	35	5593	35	8030	35	2334	35
20	4117	36	5637	36	8091	36	2510	36
21	4167	38	5722	38	8155	38	2593	38
22	4170	40	5832	40	8261	40	2607	40
23	4266	42	5845	42	8269	42	2752	42
24	4356	44	5864	44	8369	44	2838	44
25	4453	45	5927	45	8474	45	2887	45
26	4515	47	5989	47	8477	47	2943	47
27	4560	49	6000	49	8570	49	3173	49
28	4768	51	6025	51	8820	51	3227	51
29	4769	53	6054	53	8929	53	3234	53
30	4772	55	6165	55	8934	55	3318	55
31	5034	56	6314	56	9226	56	3342	56
32	5203	58	6383	58	9236	58	3358	58
33	5640	60	6512	60	9390	60	3432	60
34	5701	62	6628	62	9430	62	3540	62
35	5826	64	6834	64	9574	64	3572	64
36	5950	65	7115	65	9647	65	3614	65
37	6128	67	7231	67	9715	67	3734	67
38	6143	69	7243	69	9781	69	3877	69
39	6181	71	7302	71	9828	71	3894	71
40	6043	73	7398	73	9882	73	4156	73
41	6265	75	7455	75	9923	75	4162	75
42	6342	76	7859	76	10434	76	4202	76
43	6737	78	7847	78	10491	78	4245	78
44	6777	80	8034	80	10587	80	4386	80
45	6790	82	8100	82	10928	82	4494	82
46	7097	84	8140	84	10918	84	4496	84
47	7513	85	8576	85	10948	85	4496	85
48	7606	87	8757	87	11096	87	4551	87
49	8022	89	8757	89	11174	89	4592	89
50	8083	91	9277	91	11272	91	4734	91
51	8170	93	9401	93	11939	93	5109	93
52	8224	95	9629	95	12233	95	5216	95
53	8550	96	10294	96	12459	96	5310	96
54	9010	98	11580	98	12627	98	5427	98

PARAMETRES STATISTIQUES CARACTERISTIQUES DES QUATRE SERIES PLUVIOMETRIQUES MENSUELLES : LES VALEURS SONT DONNEES EN 1/10mm POUR LA PERIODE 1932 -1985 DE JUIN A OCTOBRE

TABLEAU 3 JUIN

	DAKAR	DIOURBEL	ST-LOUIS	TAMBA
VALEUR MINI (mm) Année	0 1938-39 46-49-69 82-70-74 75-76-78	-	0 1938-42-45 46-80-82-83 47-52-56 58-60-61-64 64-70-75	206 (1985)
MOYENNE ( mm )	129	-	65	1170
ECART-TYPE ( mm )	201	-	117	615
COEFFICIENT DE VARIATION %	156	-	180	53
VALEUR MAXI (mm) Année	935 (1933)	-	707 (1955)	3379 (1934)
ASSYMETRIE A	2.31	-	3.36	1.01
APPLATISSEMENT K	5.16	-	14.35	1.45
MEDIANE (mm)	42	-	13	1064

TABLEAU 4 JUILLET

MOYENNE ( mm )	820	1264	432	2314
ECART-TYPE ( mm )	783	638	383	2856
COEFFICIENT DE VARIATION %	96	50	88	123
VALEUR MAXI (mm) Année	4422 (1940)	2417 (1955)	1287 (1968)	3849 (1955)
VALEUR MINI (mm) Année	4 (1983)	33 (1983)	0 (1977)	796 (1982)
ASSYMETRIE A	2.18	0.56	1.29	6.67
APPLATISSEMENT K	6.51	0.45	1.63	44.63
MEDIANE (mm)	622	1138	262	1951

TABLEAU 5 AOUT

	DAKAR	DIOURBEL	ST-LOUIS	TAMBA
MOYENNE ( mm )	1948	2253	1309	2593
ECART-TYPE ( mm )	1085	1108	767	1035
COEFFICIENT DE VARIATION %	56	49	58	40
VALEUR MAXI (mm) Année	4554 (1932)	5670 (1954)	2902 (1949)	4945 (1937)
VALEUR MINI (mm) Année	0 (1948)	131 (1983)	45 (1941)	679 (1976)
ASSYMETRIE A	0.46	1.08	0.38	0.19
APPLATISSEMENT K	-0.38	1.96	-0.98	-0.69
MEDIANE (mm)	1788	2050	1182	2470

TABLEAU 6 SEPTEMBRE

MOYENNE ( mm )	431	1766	963	2368
ECART-TYPE ( mm )	547	841	591	941
COEFFICIENT DE VARIATION %	167	48	61	40
VALEUR MAXI (mm) Année	3653 (1967)	4109 (1952)	2978 (1979)	4410 (1964)
VALEUR MINI (mm) Année	468 (1982)	576 (1973)	38 (1950)	640 (1949)
ASSYMETRIE A	1.71	0.74	0.97	-0.32
APPLATISSEMENT K	2.34	-0.14	1.25	-0.62
MEDIANE (mm)	1323	1647	850	1965

TABLEAU 7 OCTOBRE

MOYENNE ( mm )	1450	495	311	661
ECART-TYPE ( mm )	721	479	481	506
COEFFICIENT DE VARIATION %	50	97	155	76
VALEUR MAXI (mm) Année	2375 (1951)	1683 (1970)	2294 (1963)	2071 (1965)
VALEUR MINI (mm) Année	59 0 1961 -64 77-79-83	0 1932-42-59 65-84	0 47-59 1932-48-83 85-60-64-71 73-71	2 (1963)
ASSYMETRIE A	0.62	-0.19	2.69	0.97
APPLATISSEMENT K	-0.04	0.97	7.23	0.33
MEDIANE (mm)	181	330	126	593

VALEURS données en 1/10mm.

PARAMETRES STATISTIQUES CARACTERISTIQUES DES QUATRE SERIES PLUVIOMETRIQUES ANNUELLES POUR LA PERIODE 1932 -1985

TABLEAU 8

	DAKAR	DIORBEL	ST-LOUIS	TAMBA
MOYENNE ( mm )	4952	6236	3137	871.3
ECART-TYPE ( mm )	1994	1963	1212	200.3
COEFFICIENT DE VARIATION %	40	31	39	23
VALEUR MAXI (mm) Année	9010 (1951)	11580 (1949)	5927 (1943)	12462 (1935)
VALEUR MINI (mm) Année	1160 (1972)	2850 (1981)	997 (1983)	4579 (1982)
ASSYMETRIE A	0.19	0.47	5	+1.4
APPLATISSEMENT K	-0.74	-0.21	32	-0.95
MEDIANE (mm)	4664	6012	3200	8695



Les indices de covariation des totaux pluviométriques mensuels:

période 1932-1985

Tableau 9: Dakar - Djoumbet

Mois	juin	juillet	Août	Septembre	Octobre
i	-	0.33	0.26	0.15	0.04

Tableau 10: Dakar - St-Louis

Mois	juin	juillet	Août	Septembre	Octobre
i	0.52	0.44	0.63	0.18	0.48

Tableau 11: Dakar - Tamba

Mois	juin	juillet	Août	Septembre	Octobre
i	0	0.33	0.18	0.22	0.22

Tableau 12: Djoumbet - St-Louis

Mois	juin	juillet	Août	Septembre	Octobre
i	-	0.37	-	0.04	0.37

Tableau 13: Djoumbet - Tamba

Mois	juin	juillet	Août	Septembre	Octobre
i	-	0.33	0.18	0.18	0.40

Tableau 14: St-Louis - Tamba

Mois	juin	juillet	Août	Septembre	Octobre
i	0.11	0.22	-	-0.04	0.44

Les indices de covariation des totaux pluviométriques annuels:

Tableau 15: valeurs de l'indice  $i$  pour les totaux pluviométriques annuels entre différentes stations du Sénégal 1932-1985

STATIONS 2/2	Dakar Diourbel	Dakar St-Louis	Dakar Tamba	Diourbel St-Louis	Diourbel Tamba	St-Louis Tamba
$i$	0.25	0.40	-0.29	0.70	0.59	0.61

Tableau 16: valeurs de l'indice  $i$ , pour les totaux pluviométriques annuels pour la période 1950-1967 au Sénégal

STATIONS 2/2	Dakar Diourbel	Dakar Linguère	Dakar St-Louis	Dakar Tamba	Diourbel Linguère	Diourbel St-Louis	Diourbel Tamba	Linguère St-Louis	Linguère Tamba	St-Louis Tamba
$i$	0.55	0.33	0.33	-0.11	0.22	0.66	0.22	0.11	-0.11	0.33

Tableau 17: valeurs de l'indice  $i$  pour les totaux pluviométriques annuels pour la période 1968-1985, au Sénégal

STATIONS 2/2	Dakar Diourbel	Dakar Linguère	Dakar St-Louis	Dakar Tamba	Diourbel Linguère	Diourbel St-Louis	Diourbel Tamba	Linguère St-Louis	Linguère Tamba	St-Louis Tamba
$i$	0.44	0.66	0.44	0.33	0.11	-0.11	0.44	0.33	0.0	0.22

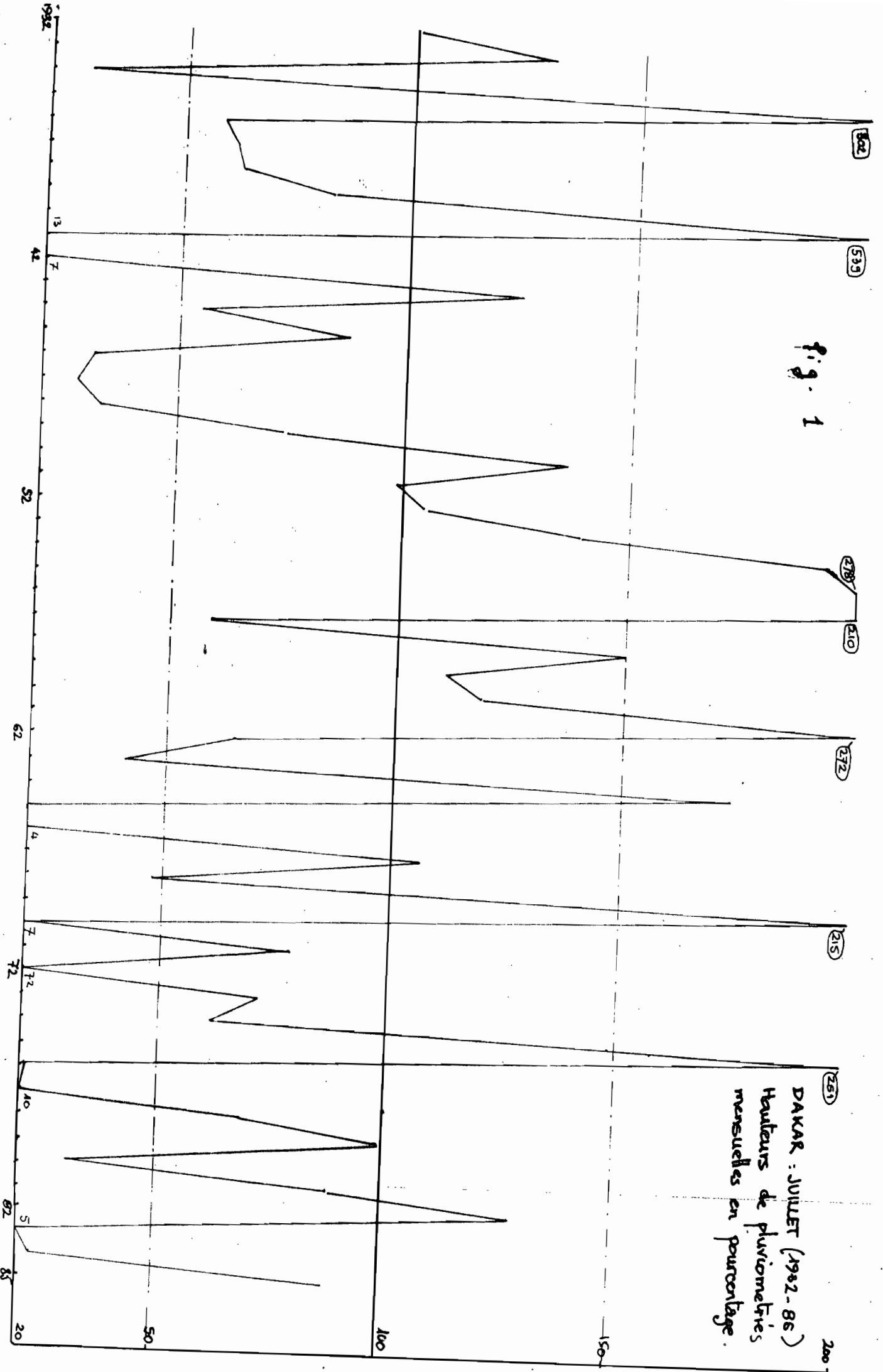


fig. 1

DAKAR : JUILLET (1952-86)  
 Hauteurs de pluviométries  
 mensuelles en pourcentage.

fig. 2

DAKAR : Août (1932-85)  
Hauteurs de pluviosimetrie  
mensuelles en pourcentage

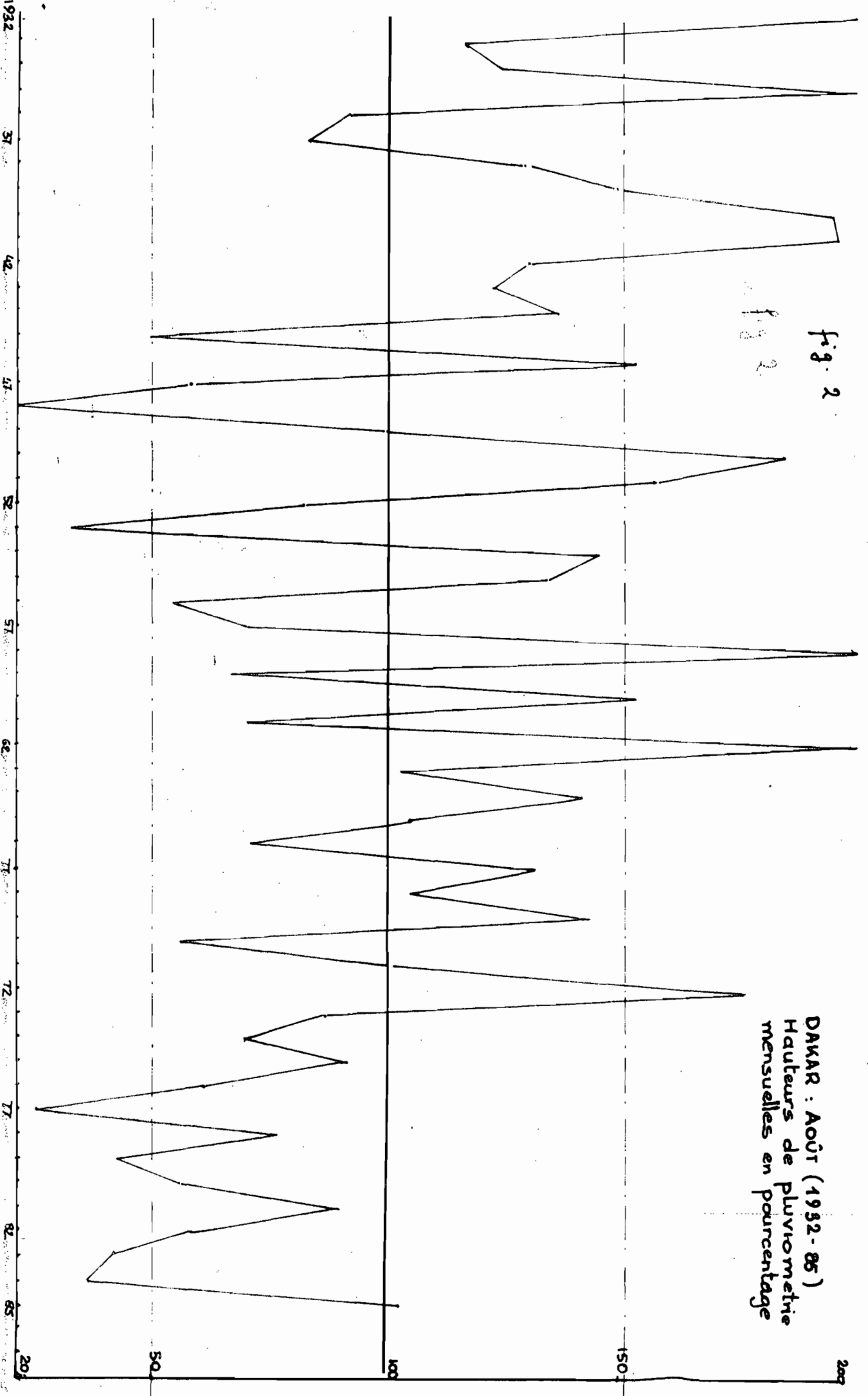


fig 3

DAKAR : SEPTEMBRE (1932-85)  
Hauteurs de pluviométrie  
mensuelles en pourcentage.

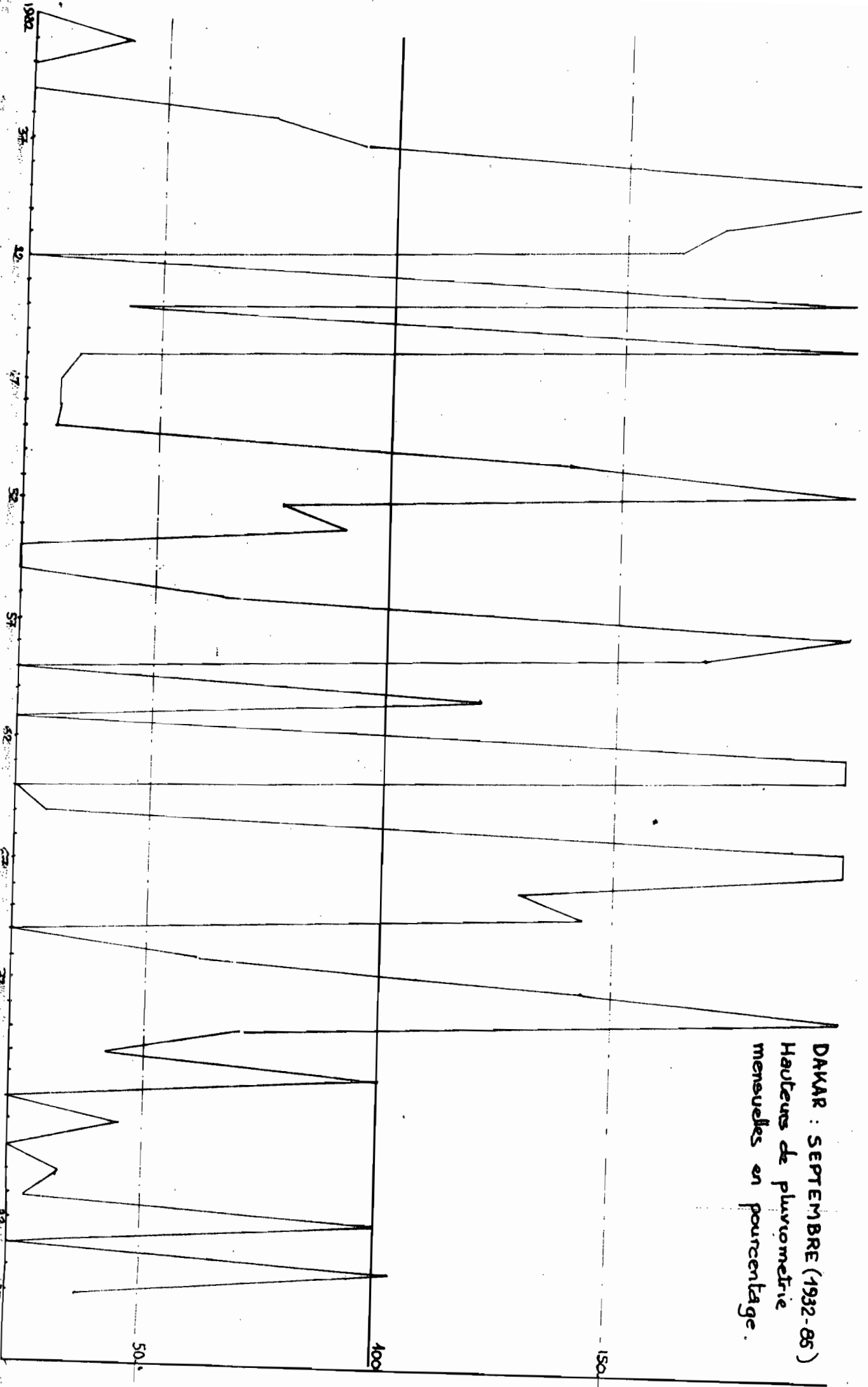
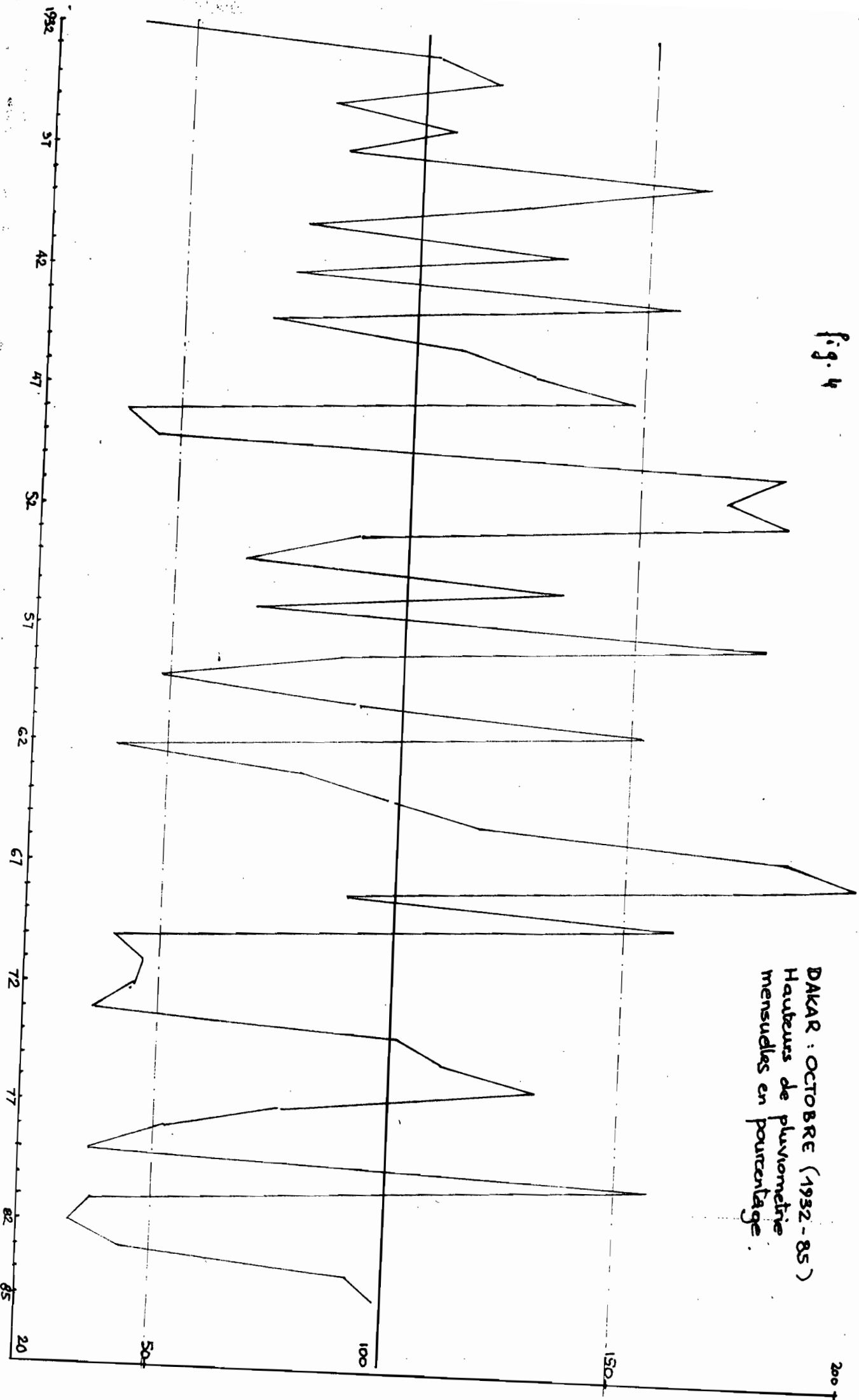


fig. 4

DAKAR : OCTOBRE (1932-85)  
Hauteurs de pluviométrie  
mensuelles en pourcentage.



DIURBEL . JUINLET (1932-'85)  
 Hauteurs de pluviomètres  
 mensuelles en pourcentage.

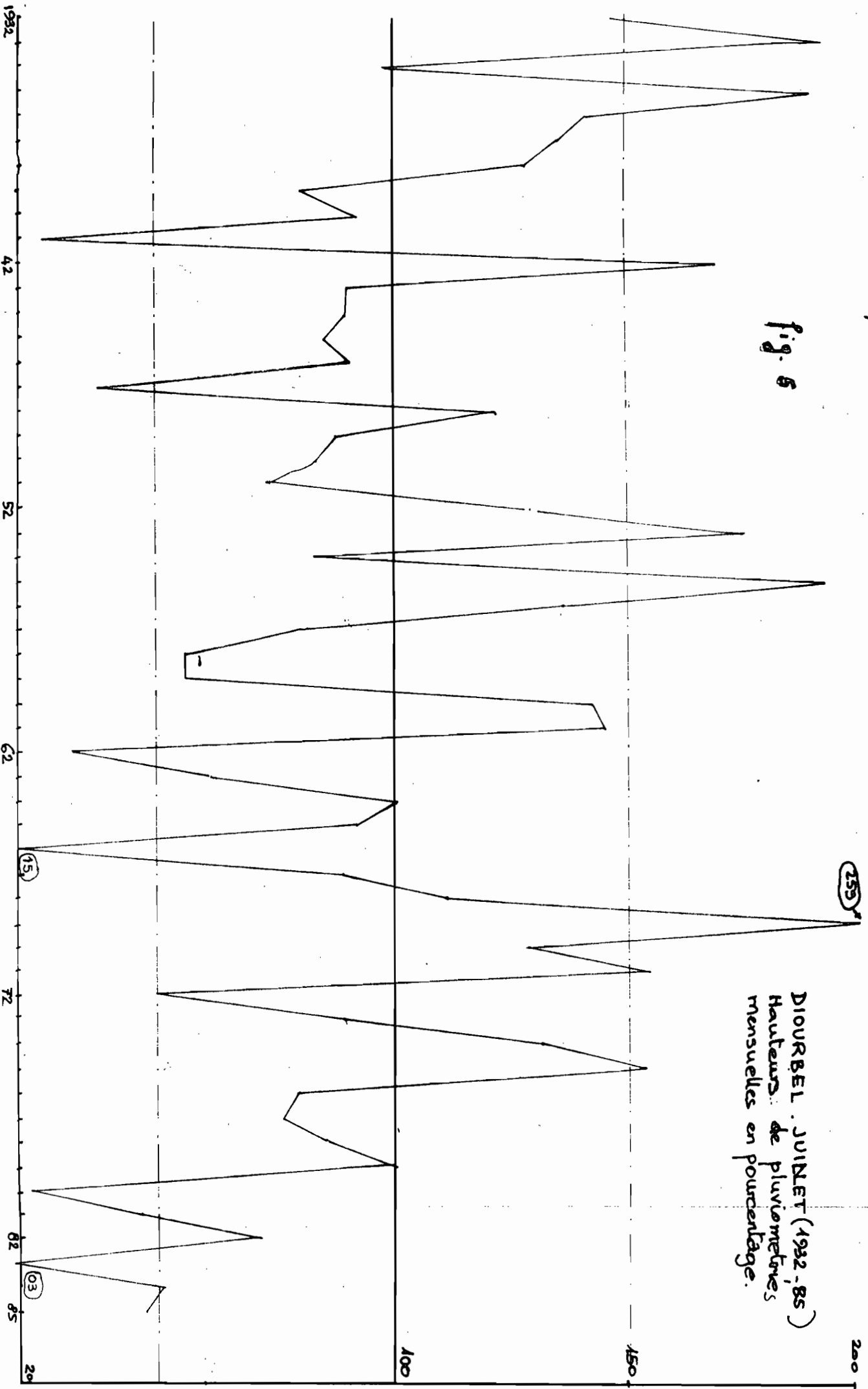


Fig. 6

Fig. 6

DIURBEL : AOUT (1932 - 1985)  
Hauteurs de pluviometrie  
mensuelles en pourcentage.

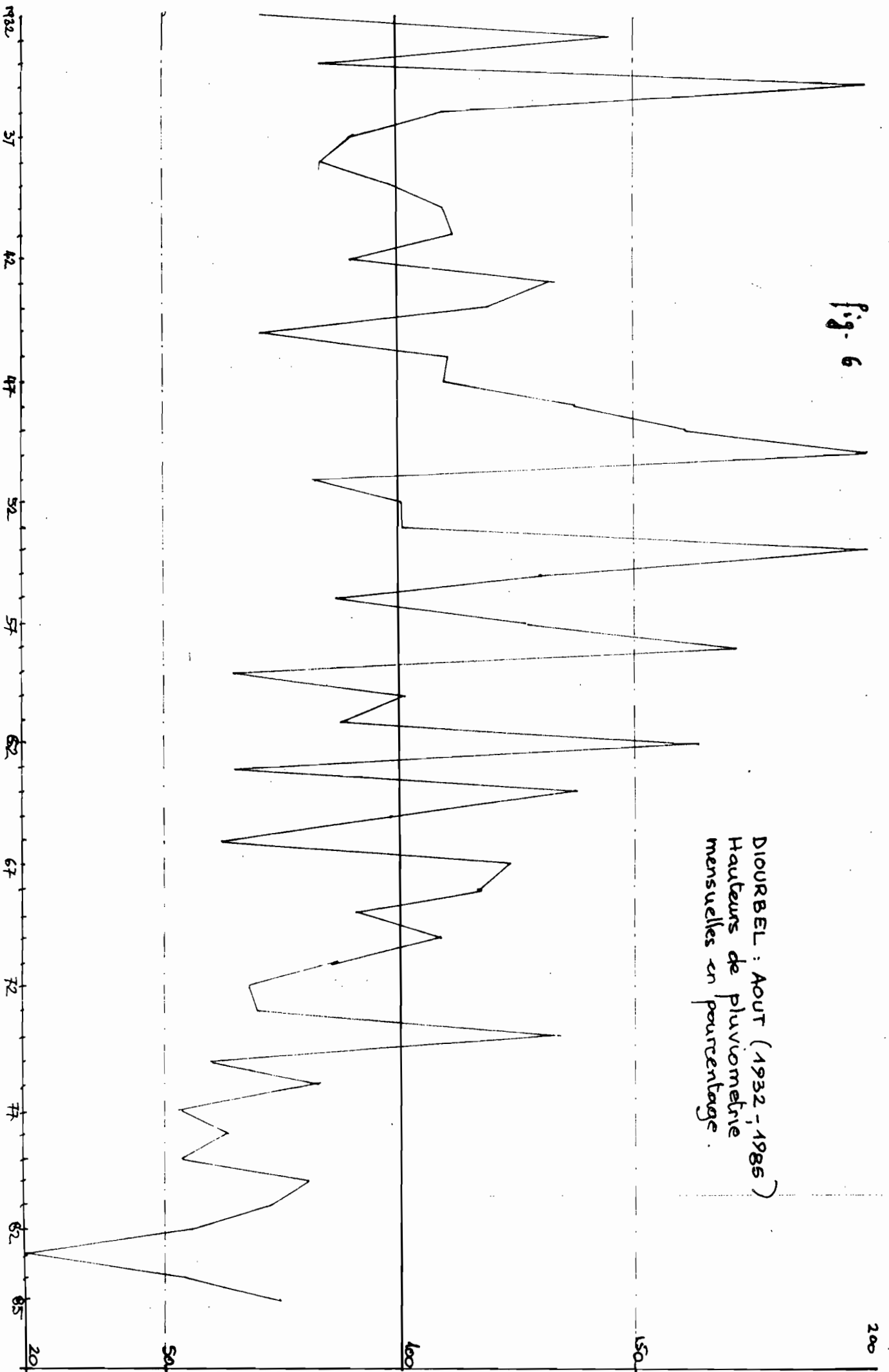
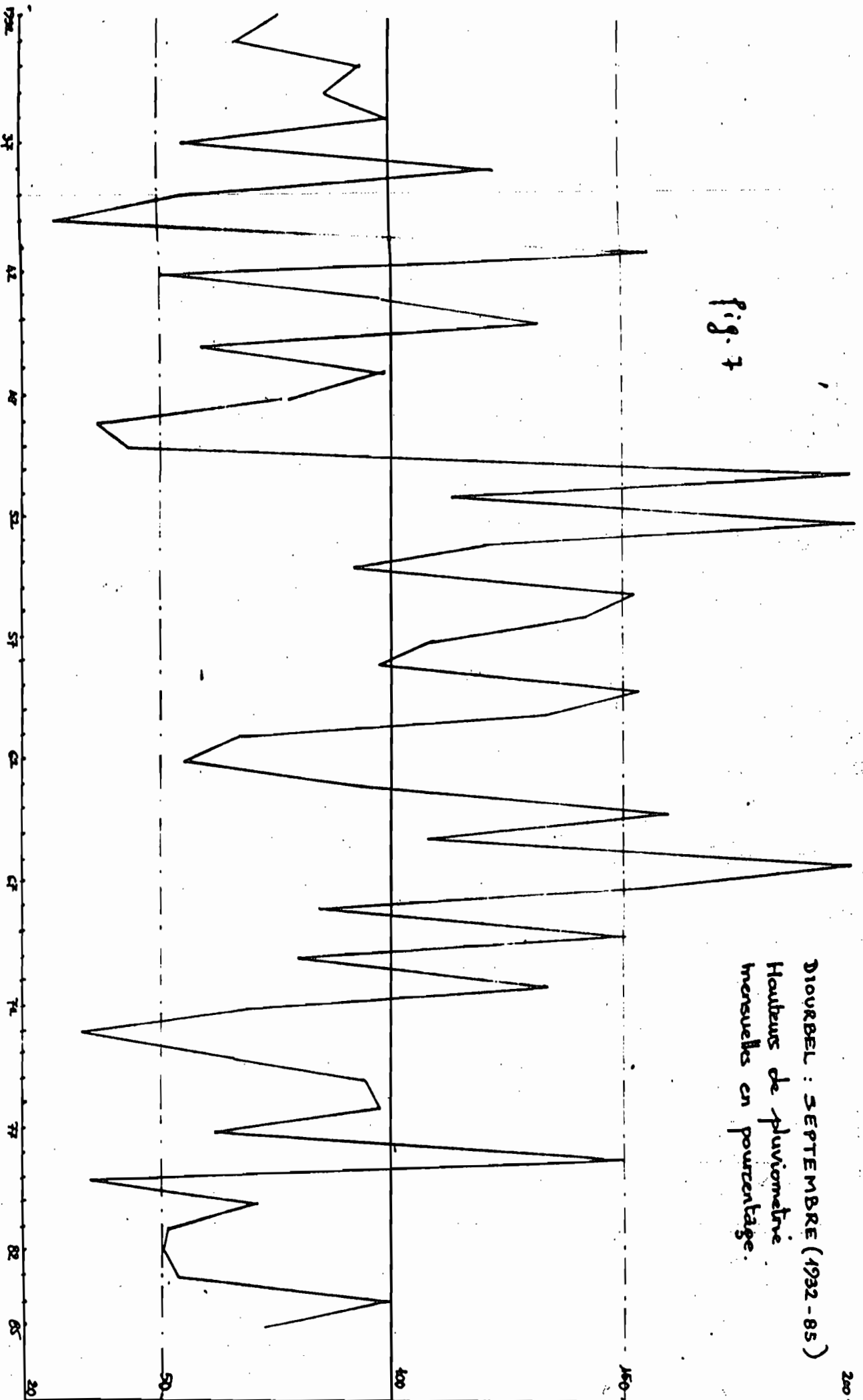




Fig. 7

DIORBEL : SEPTEMBRE (1932-85)  
Hauteurs de pluviometrie  
mensuelles en pourcentage.



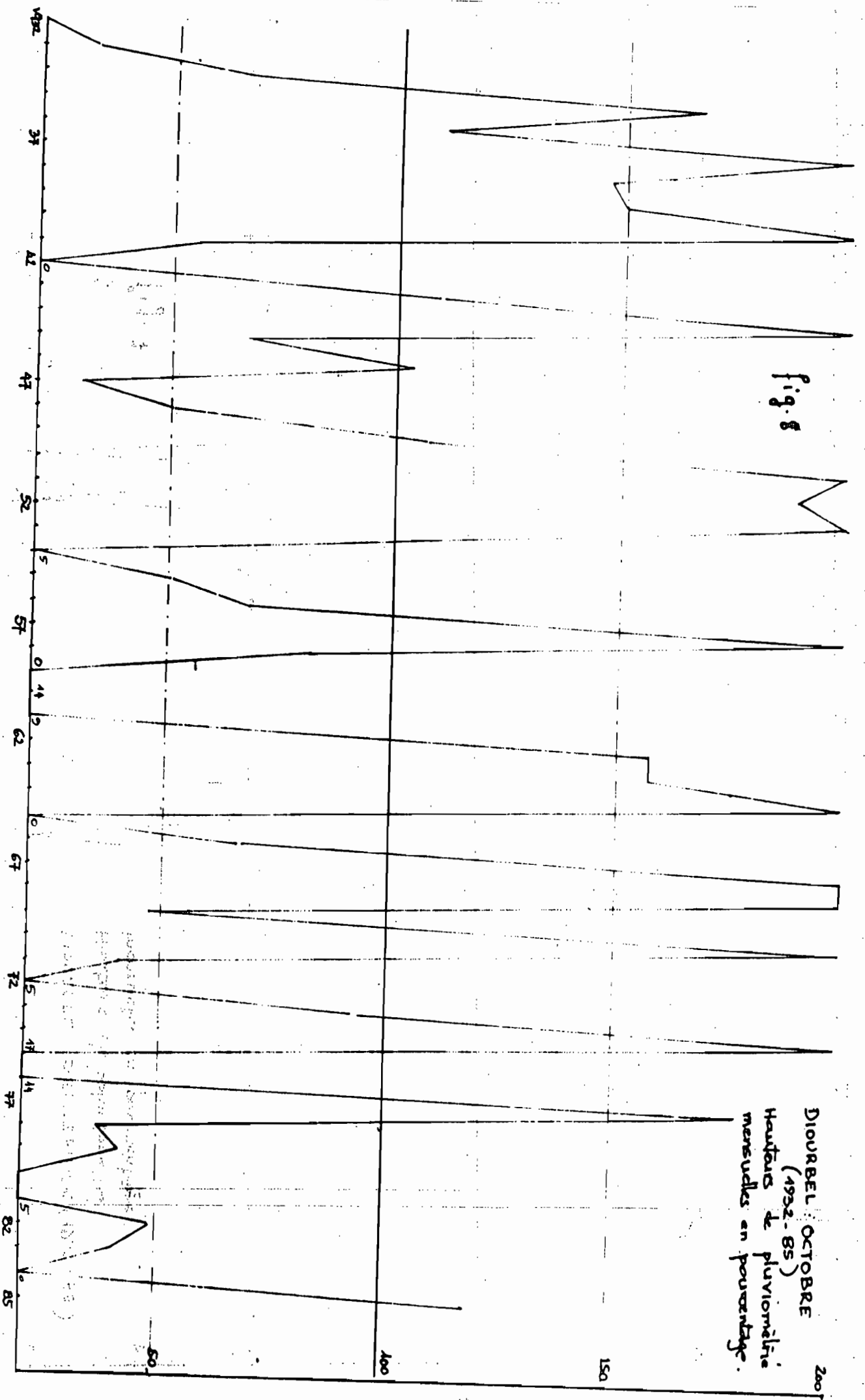


fig. 8

DIOURBEL OCTOBRE  
(1952-55)  
Hauteurs de pluviométrie  
mensuelles en pourcentage.

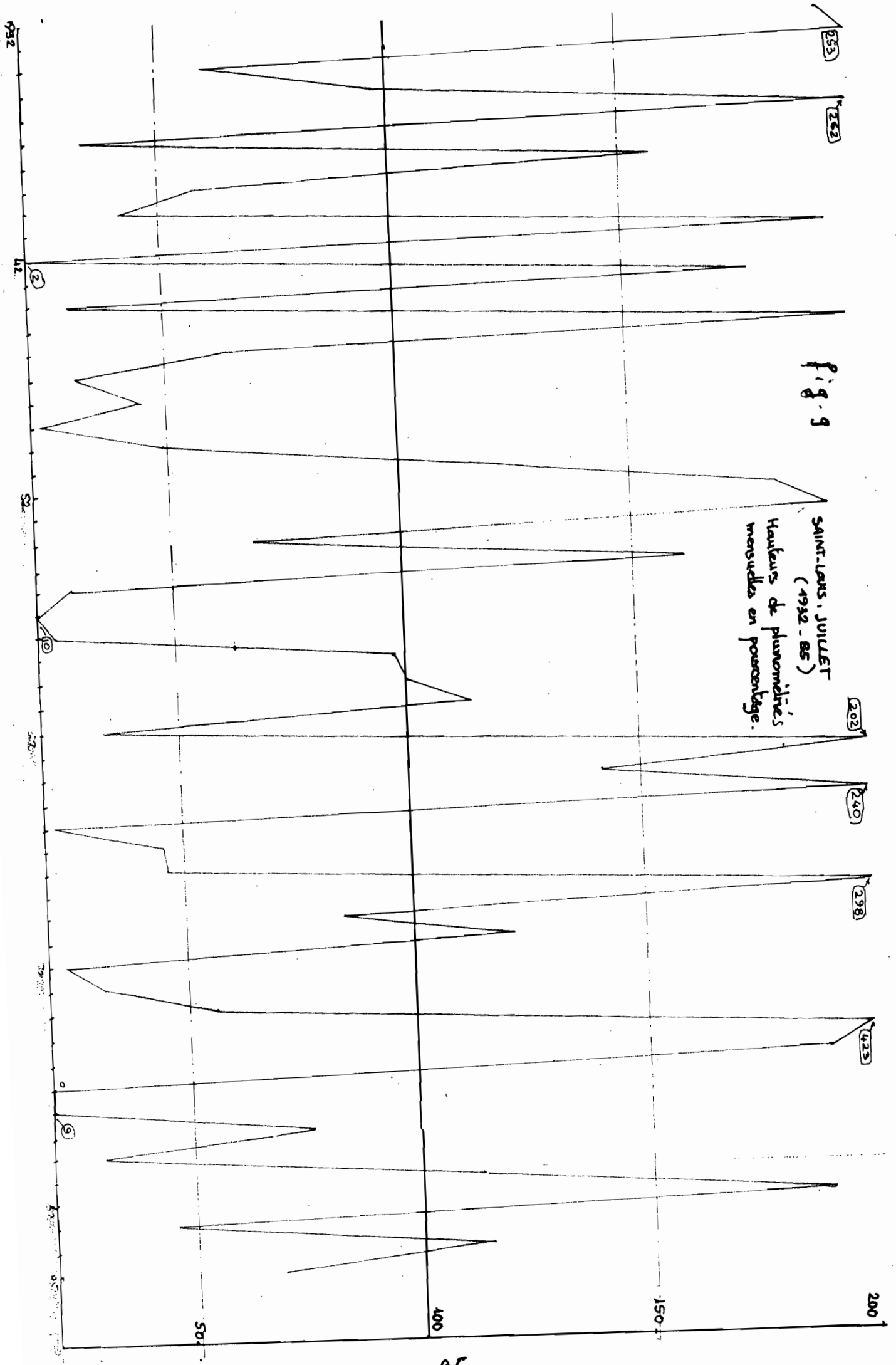


Fig. 9  
 SAINT-LOUIS, JUILLET  
 (1982 - 85)  
 Hauteurs de cumulonimbus  
 mesurées en pourcentage.

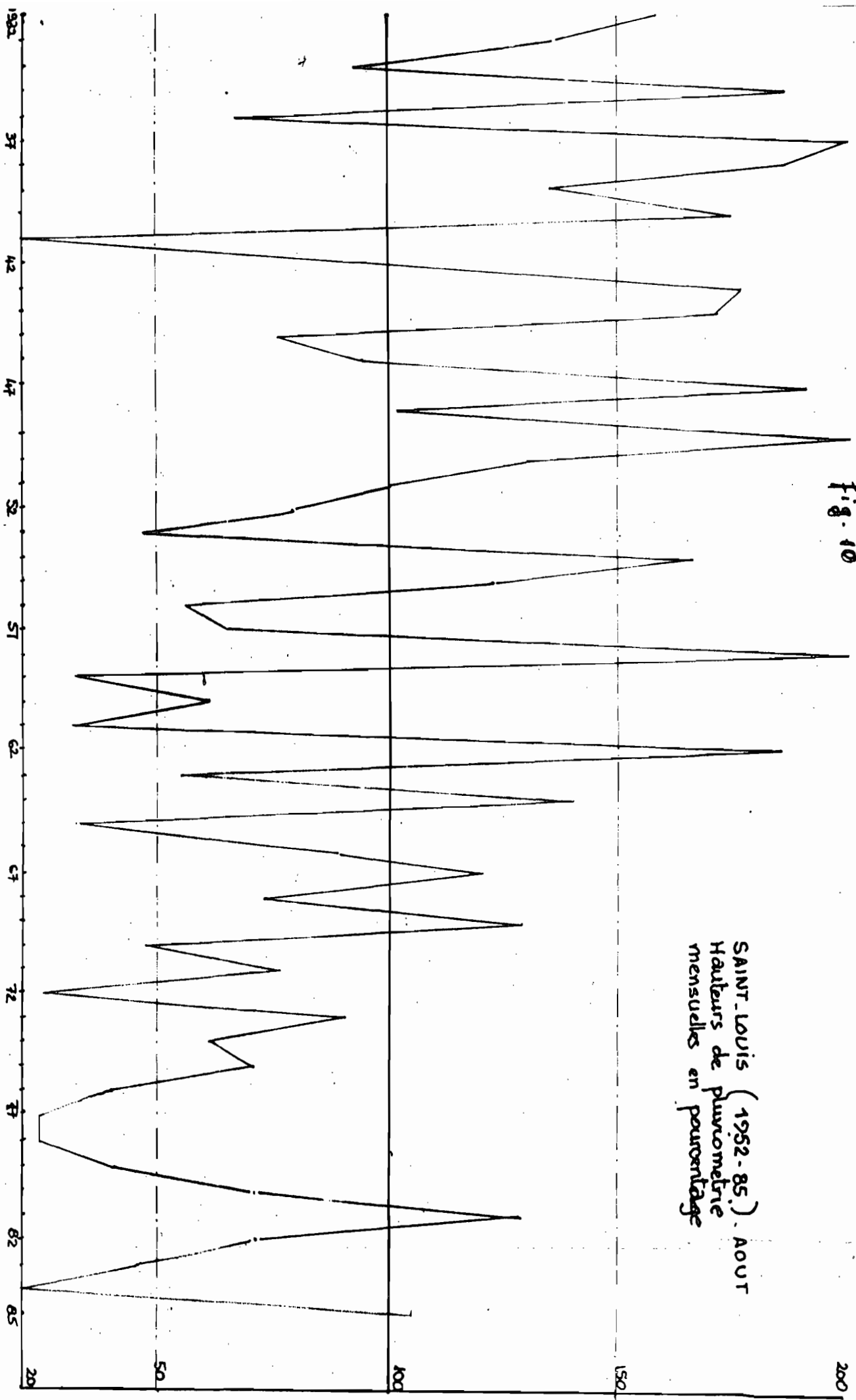


fig. 10

SAINT-LOUIS (1952-85). AOÛT  
 Hauteurs de pluviométrie  
 mensuelles en pourcentage

SAINT-LOUIS : SEPTEMBRE (1932 - 85)  
 Hauteurs de pluviométrie  
 mensuelles en pourcentage .

Fig. 11

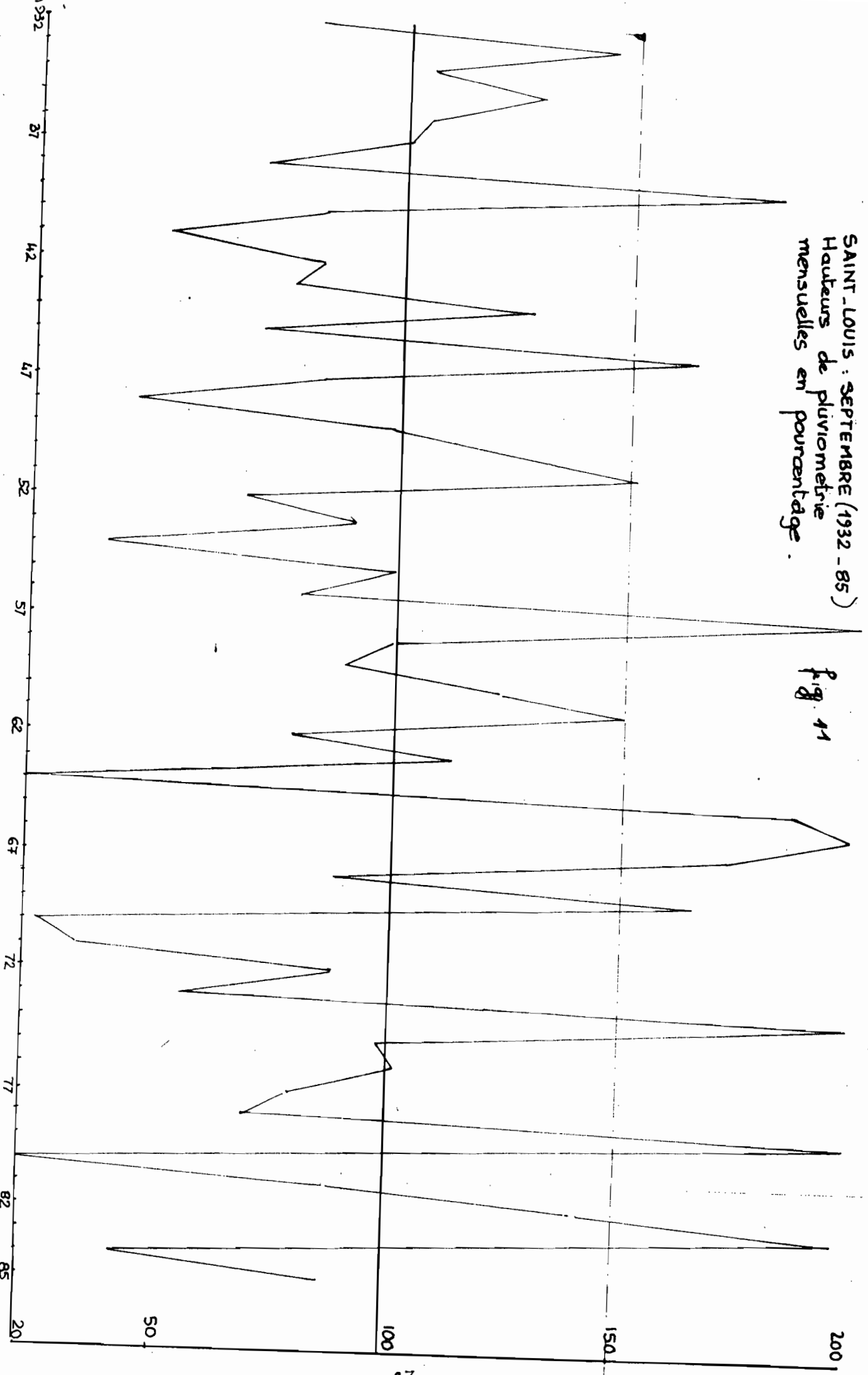
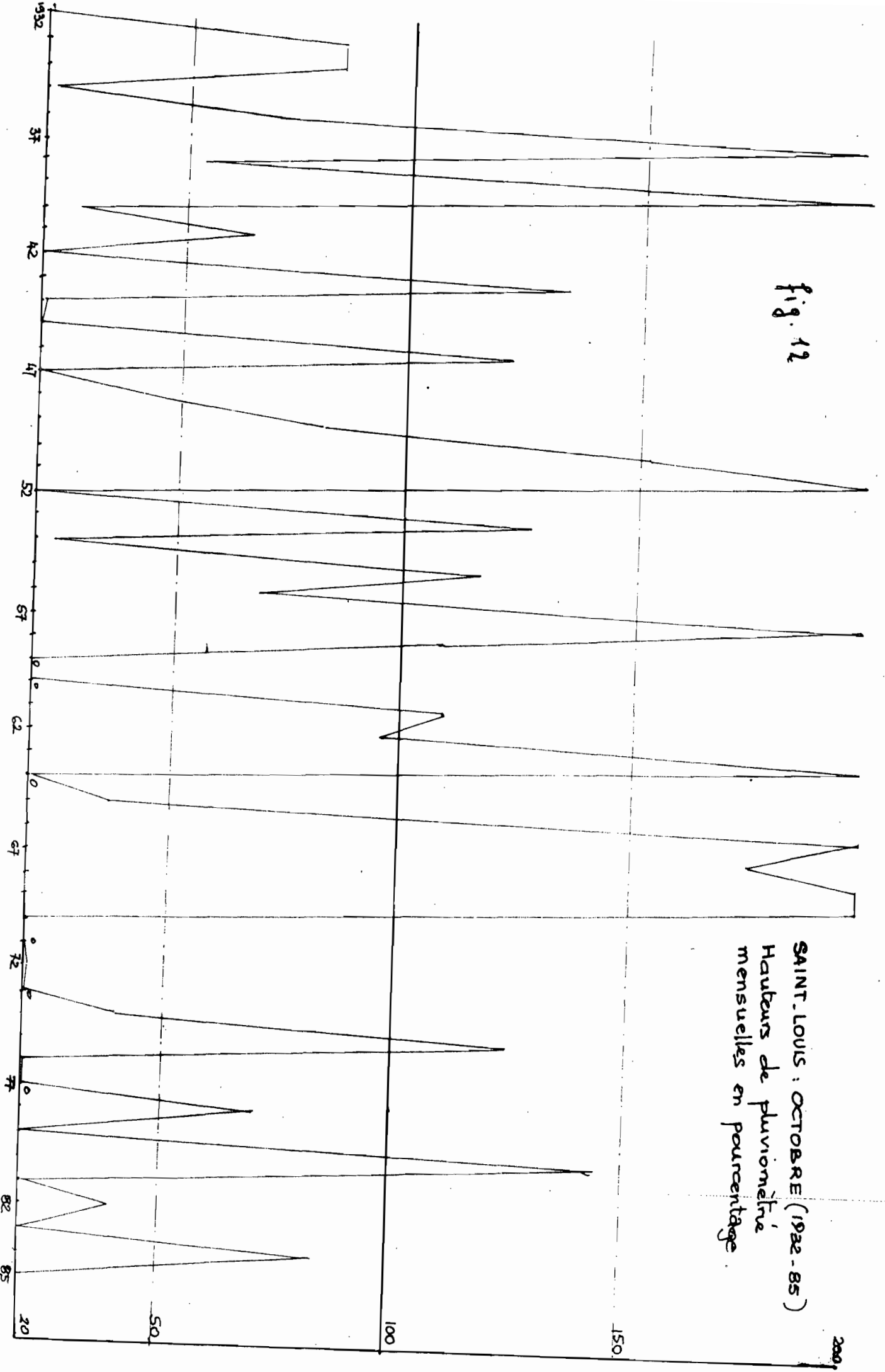


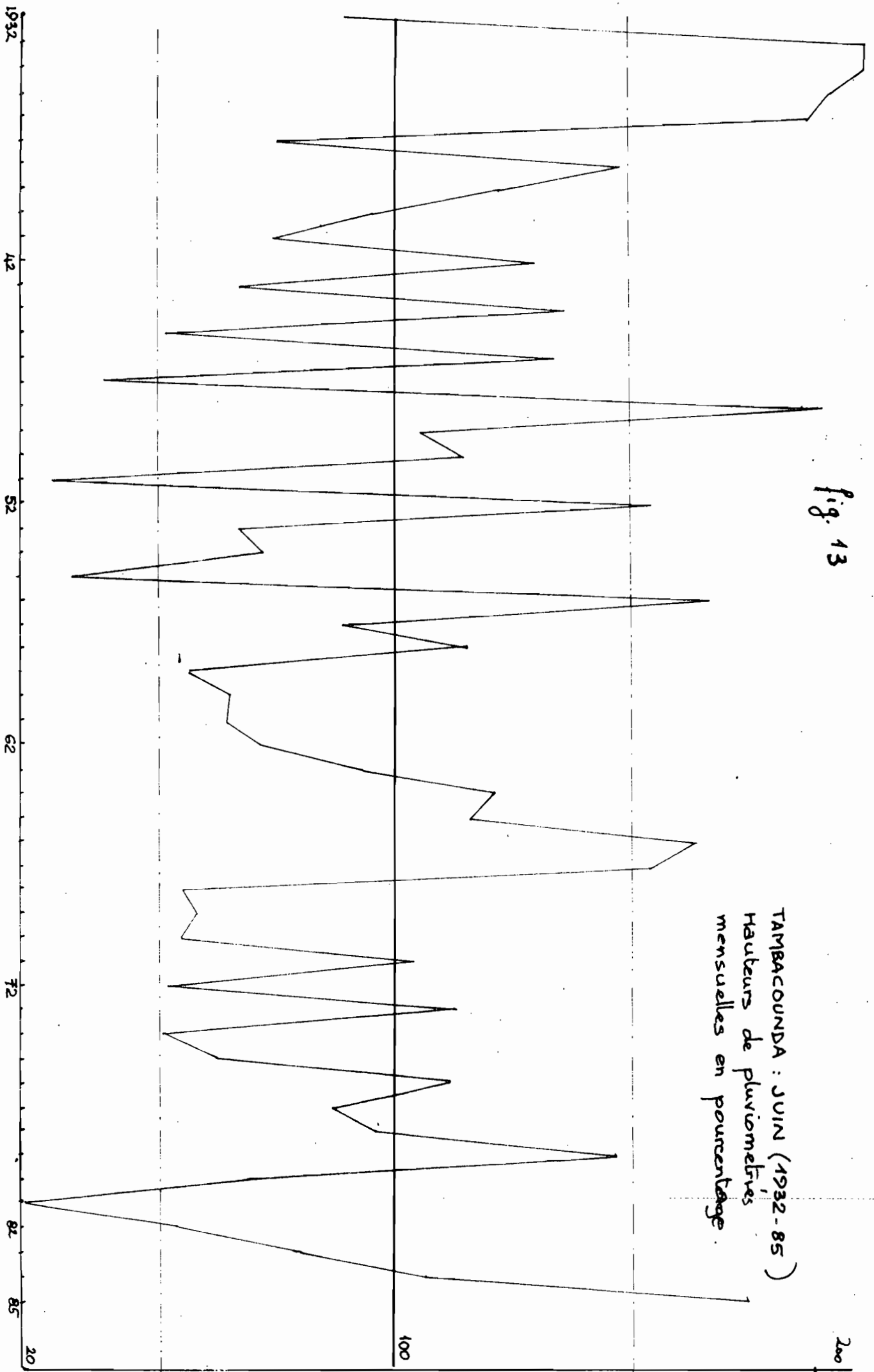
Fig. 12



SAINT-LOUIS : OCTOBRE (1932-85)  
Hauteurs de pluviométrie  
mensuelles en pourcentage

Fig. 13

TAMBACOUNDA : JUIN (1932-85)  
Hauteurs de pluviométries  
mensuelles en pourcentage



919

Fig. 14

TAMBACOUNDA : JUILLET (1932-85)  
Hauturs de pluviometrie  
mensuelles en pourcentage

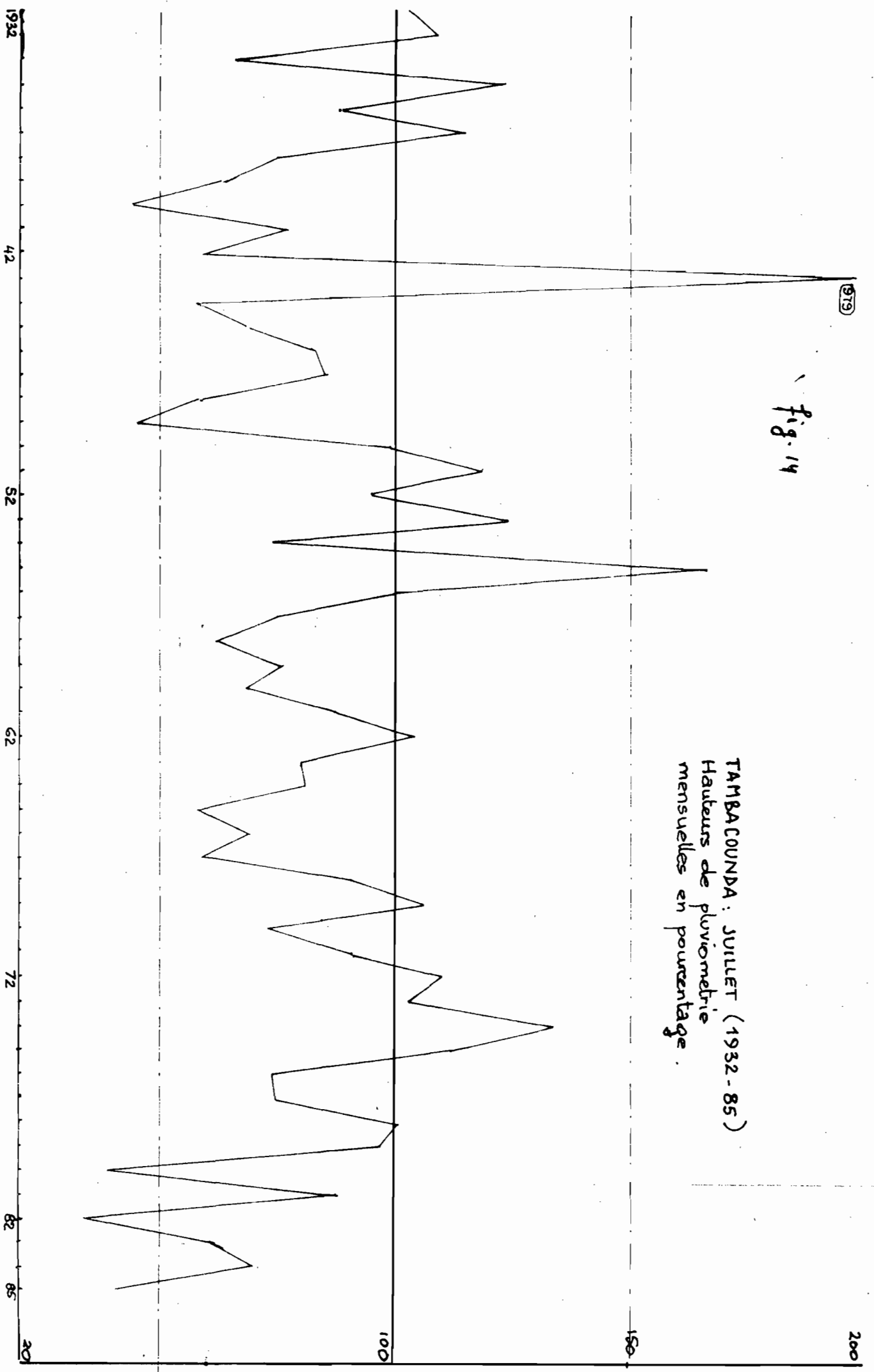




Fig. 15

Tamba : Août 1932-85  
Hauteurs de Pluviométrie mensuelles en  
Pourcentage .

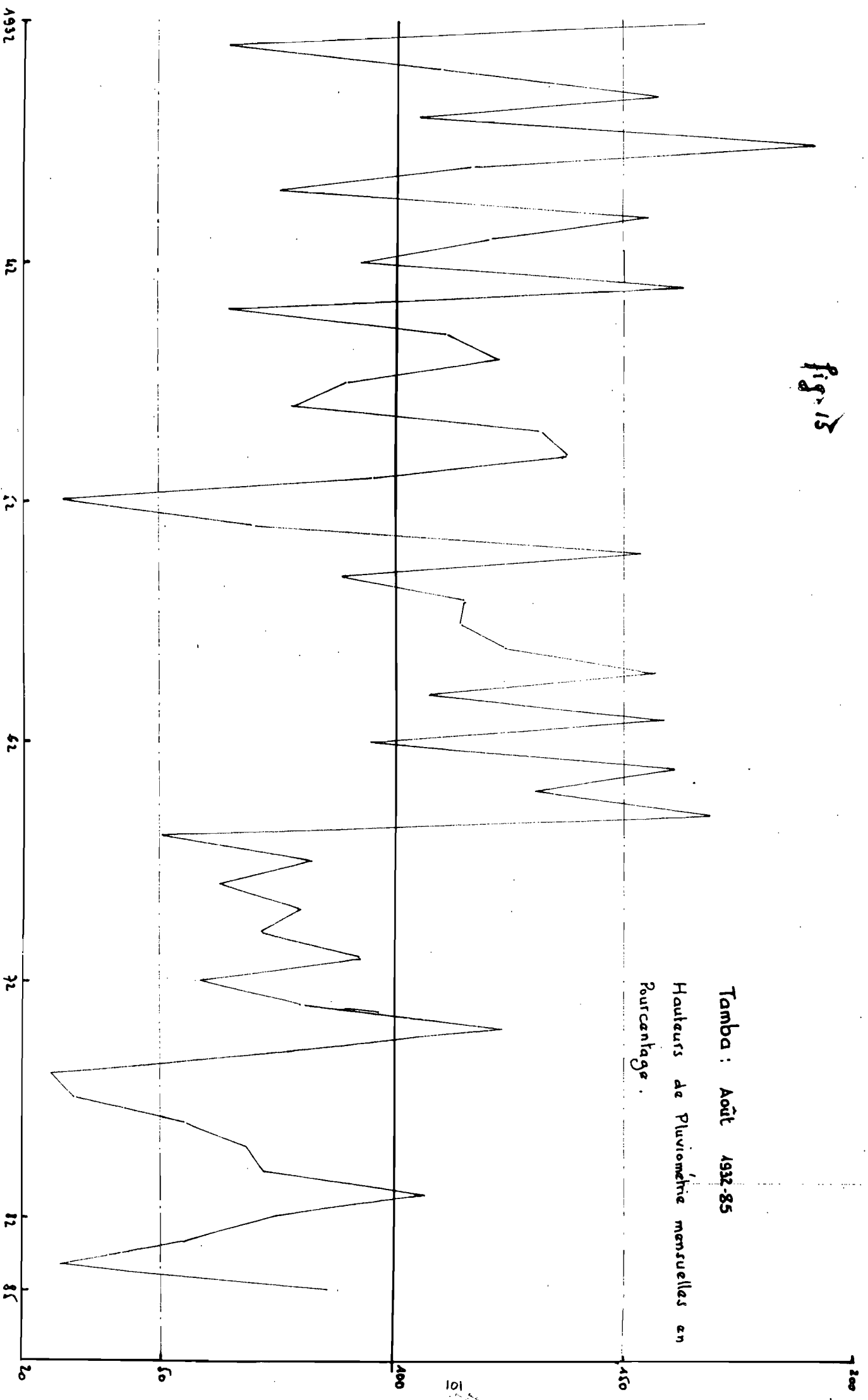


Fig. 16

TAMBA : Sept. 1932.85  
Hauteurs de Pluviométrie mensuelles  
en pourcentage .

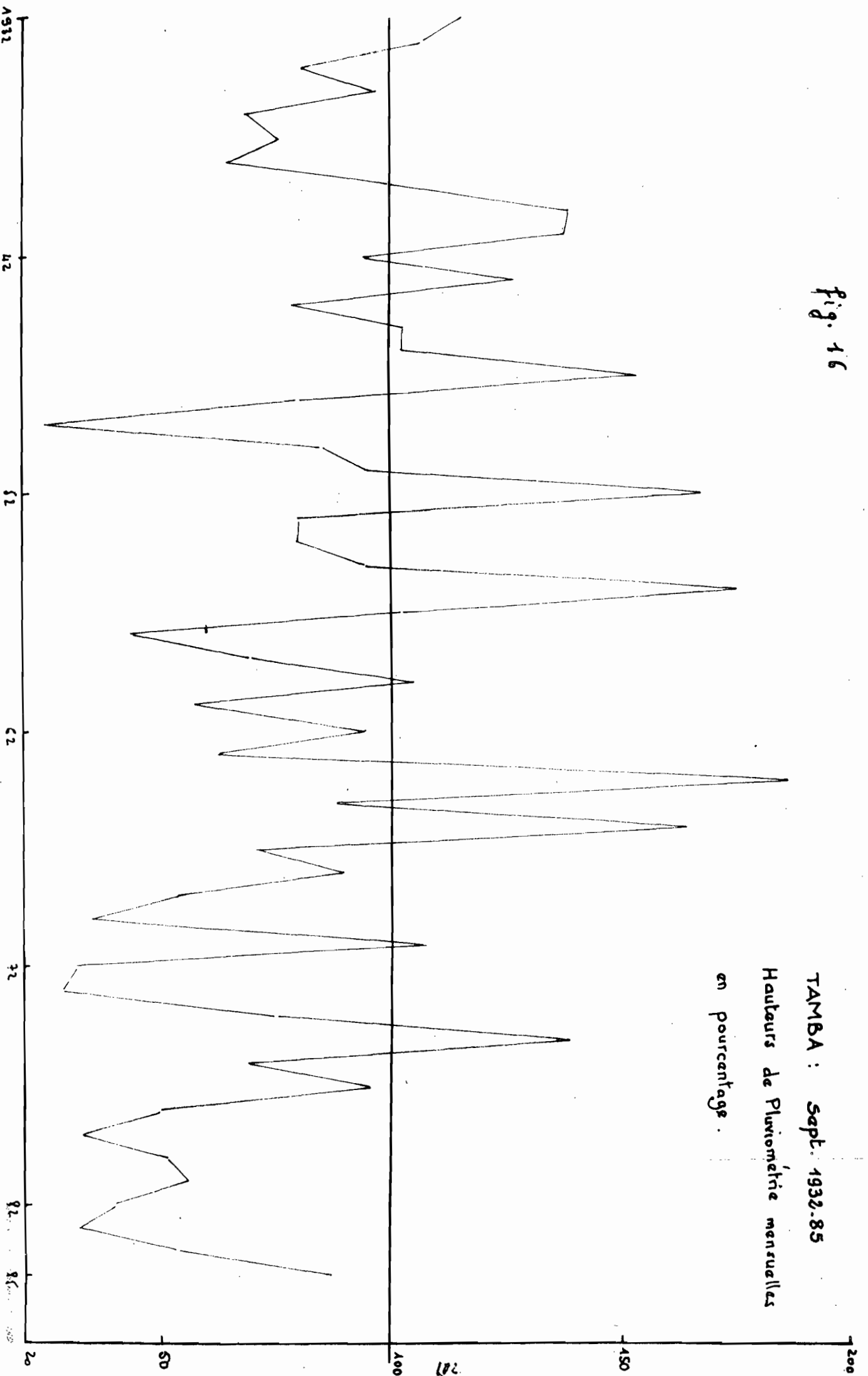


Fig. 17

Tamba : oct. 1932-35  
Hauteurs de Pluviometrie mensuelles en %  
(Pourcentage)

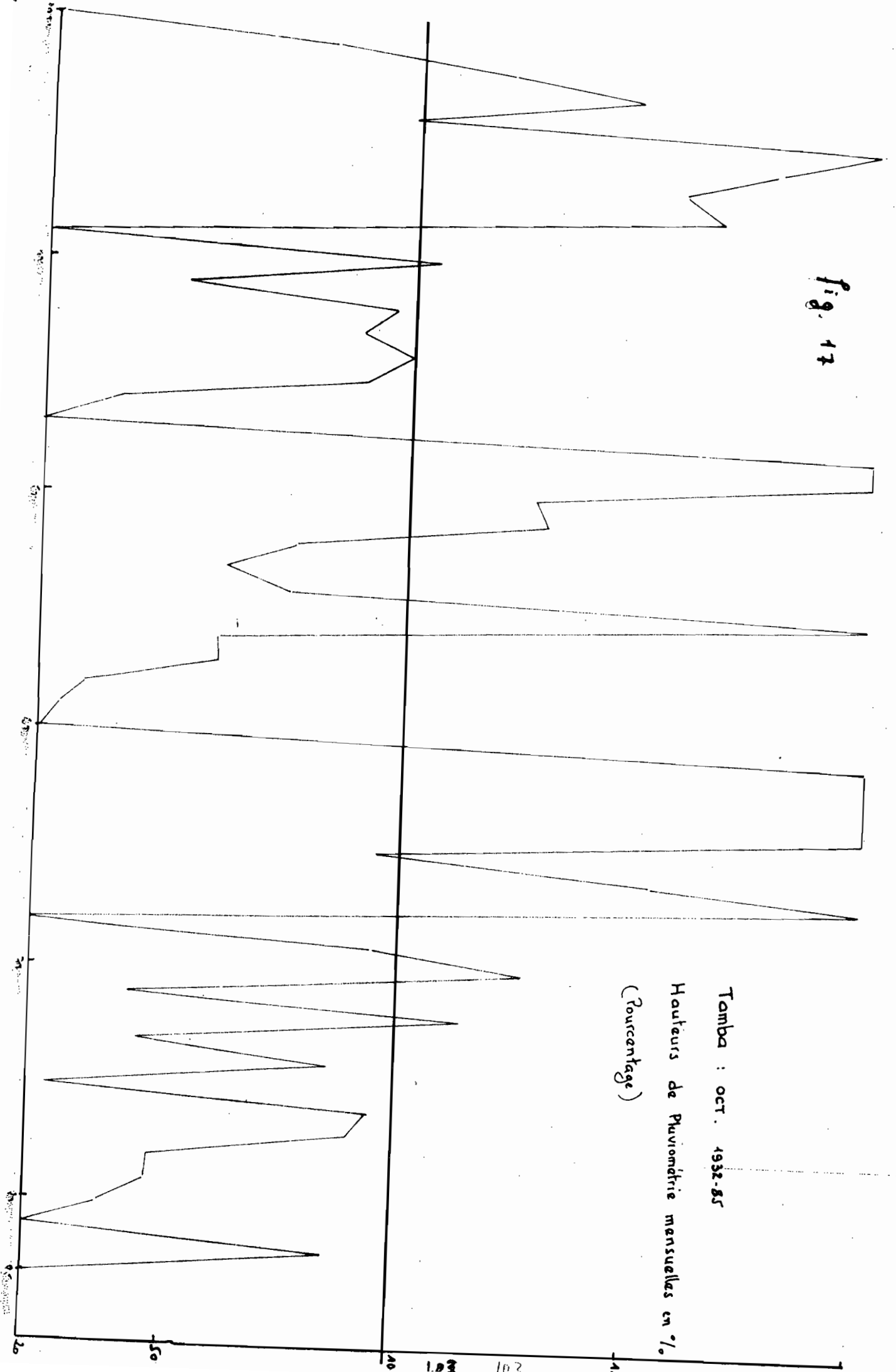


Fig. 18

DAKAR

Pluviométrie annuelle en pourcentage  
de la normale 32-85

— : 1932-1985  
- - - : 1950-67  
- . . : 1968-1985

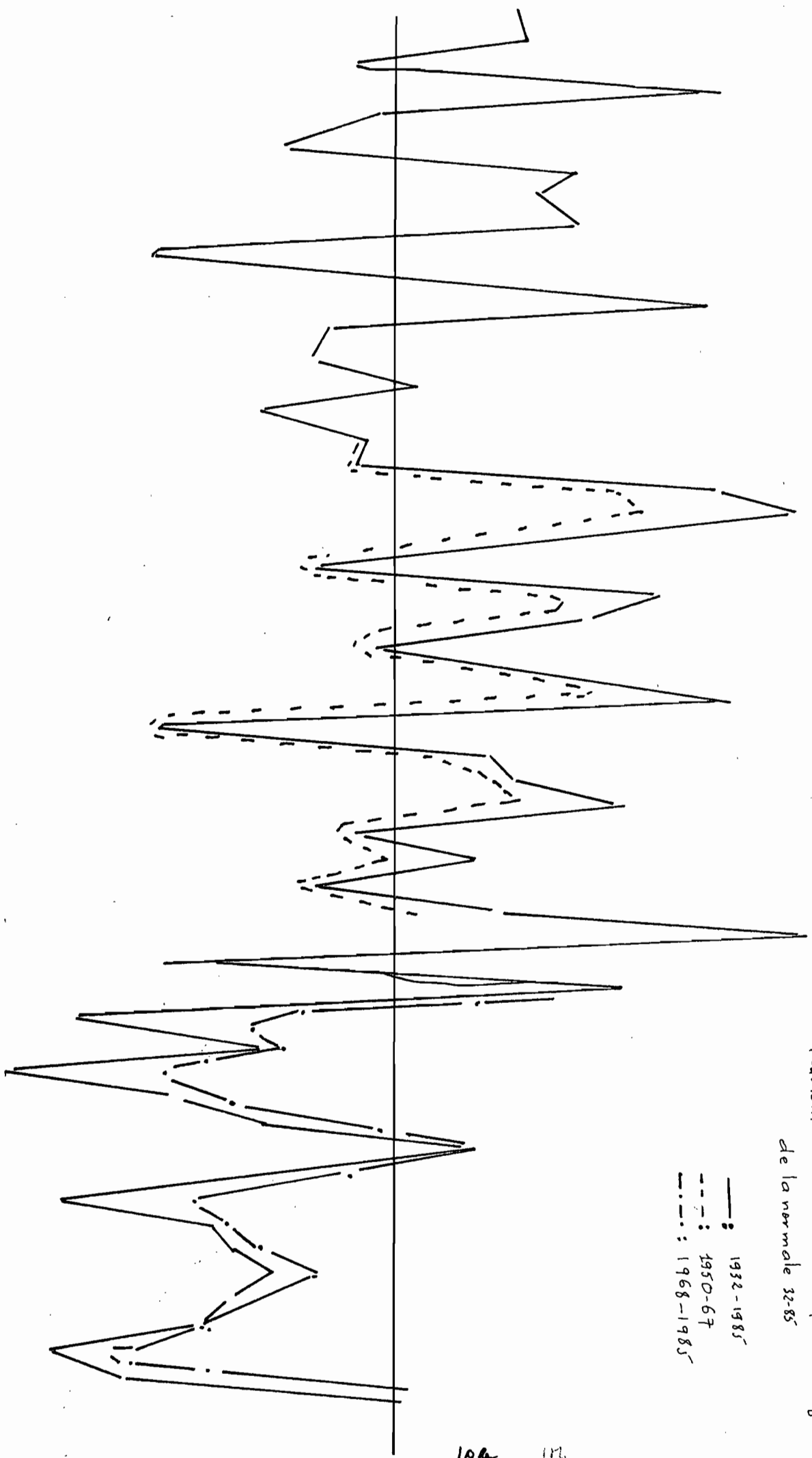
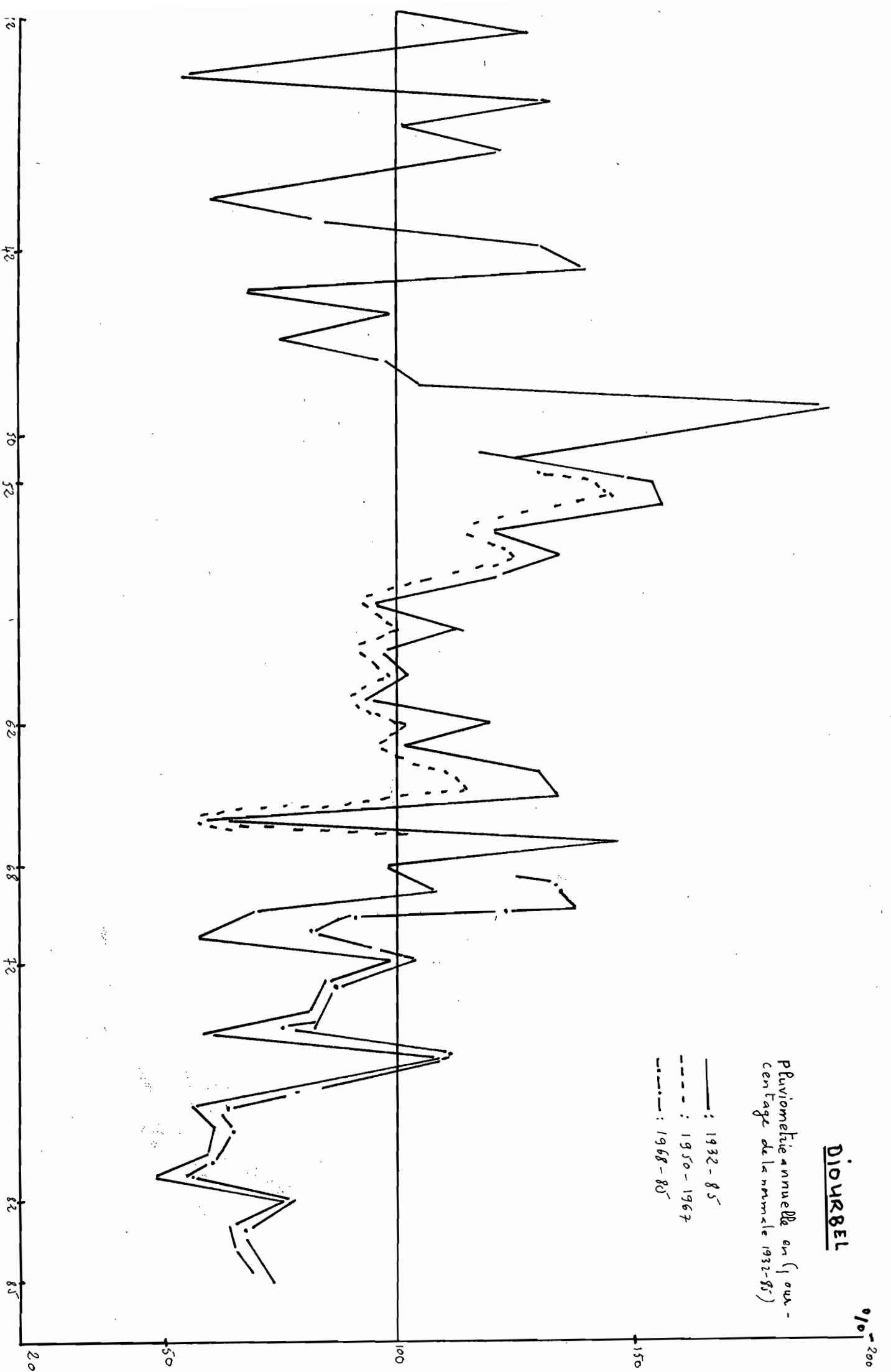


Fig. 19



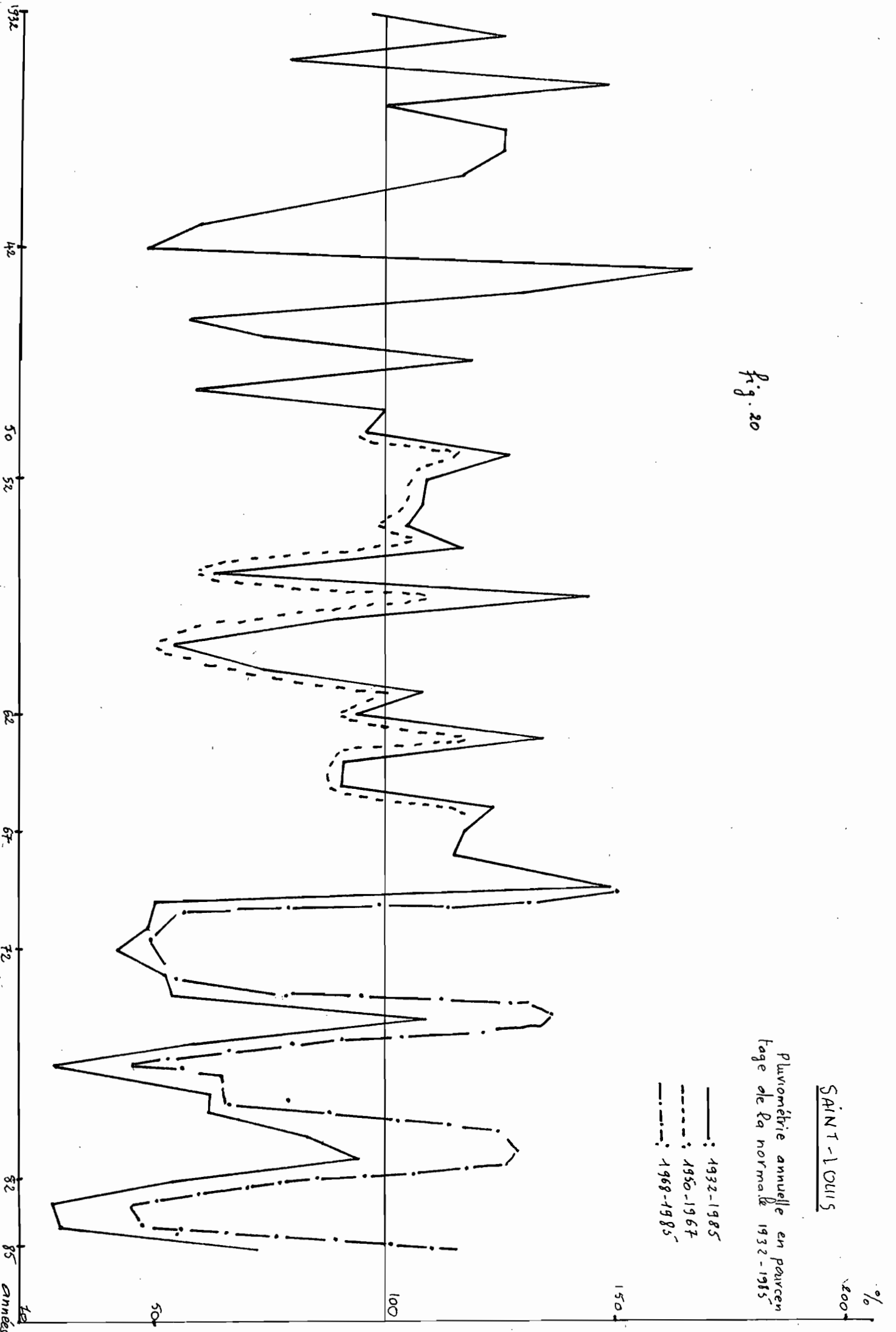


Fig. 20

Fig. 21

TAMBRA COUNDA.

Pluviométrie annuelle  
en pourcentage de la  
normale 32-85

— : 1932-1985  
- - - : 1950-1967  
- · - · : 1968-1985

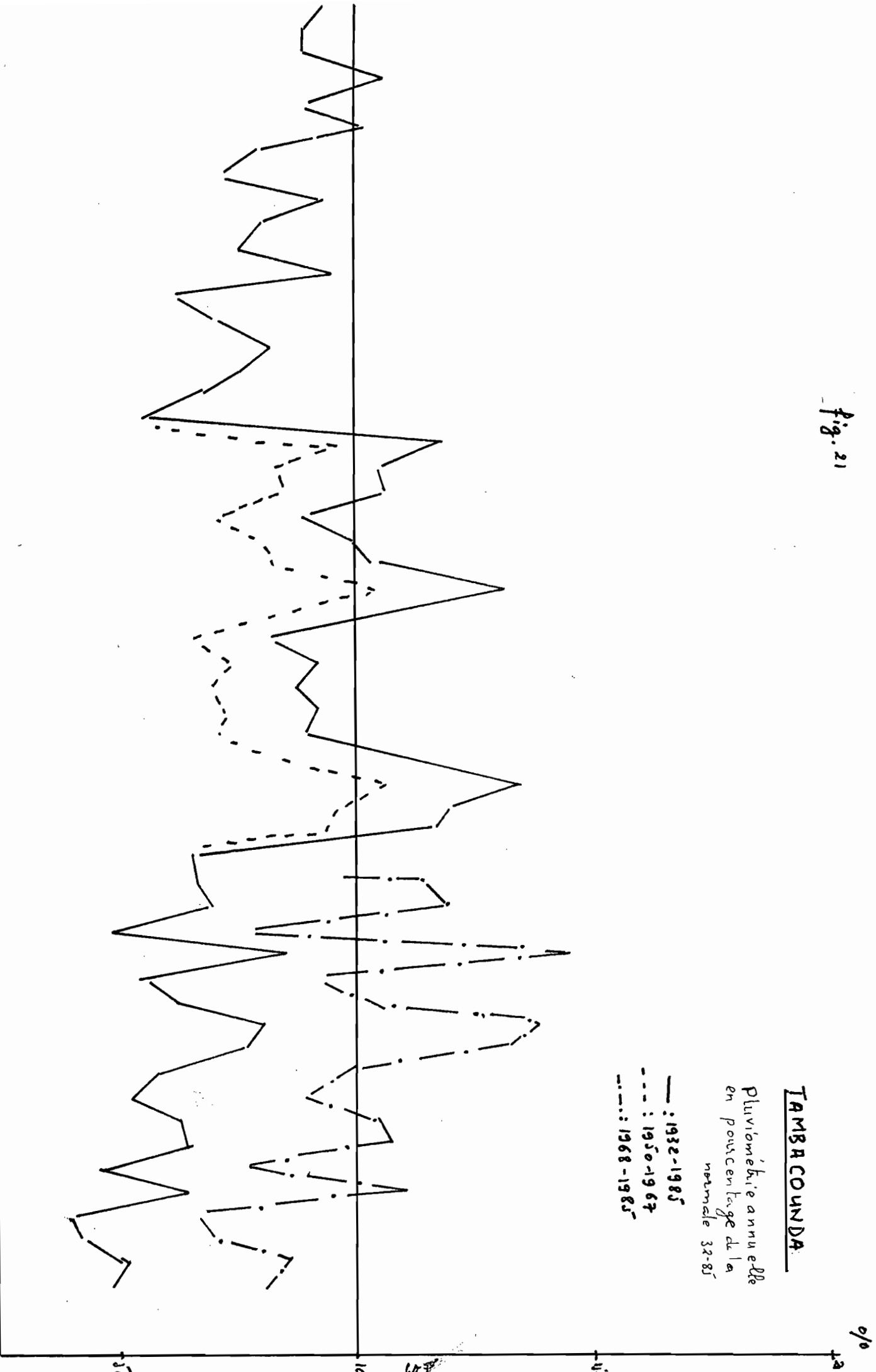


Fig. 22

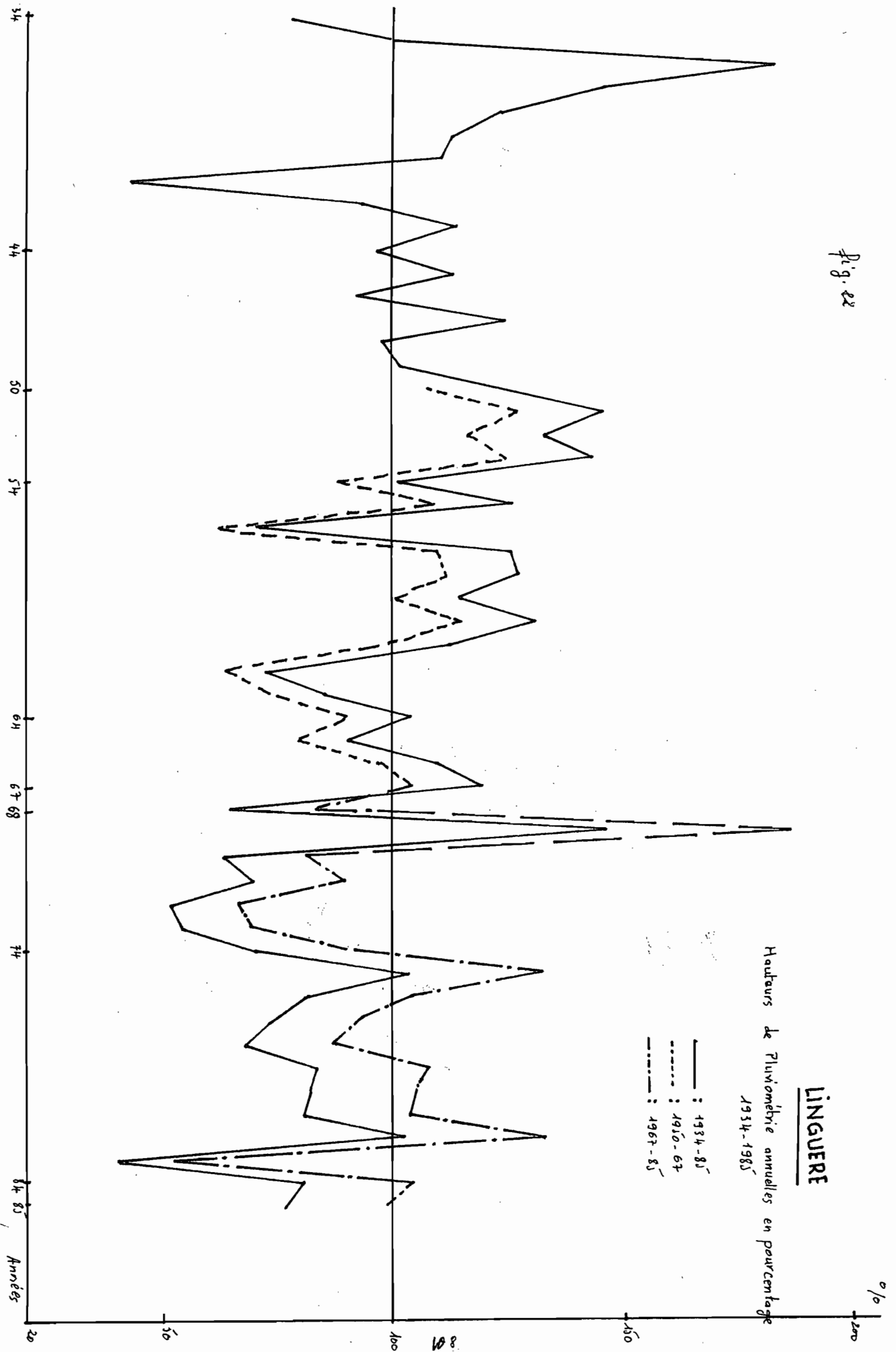
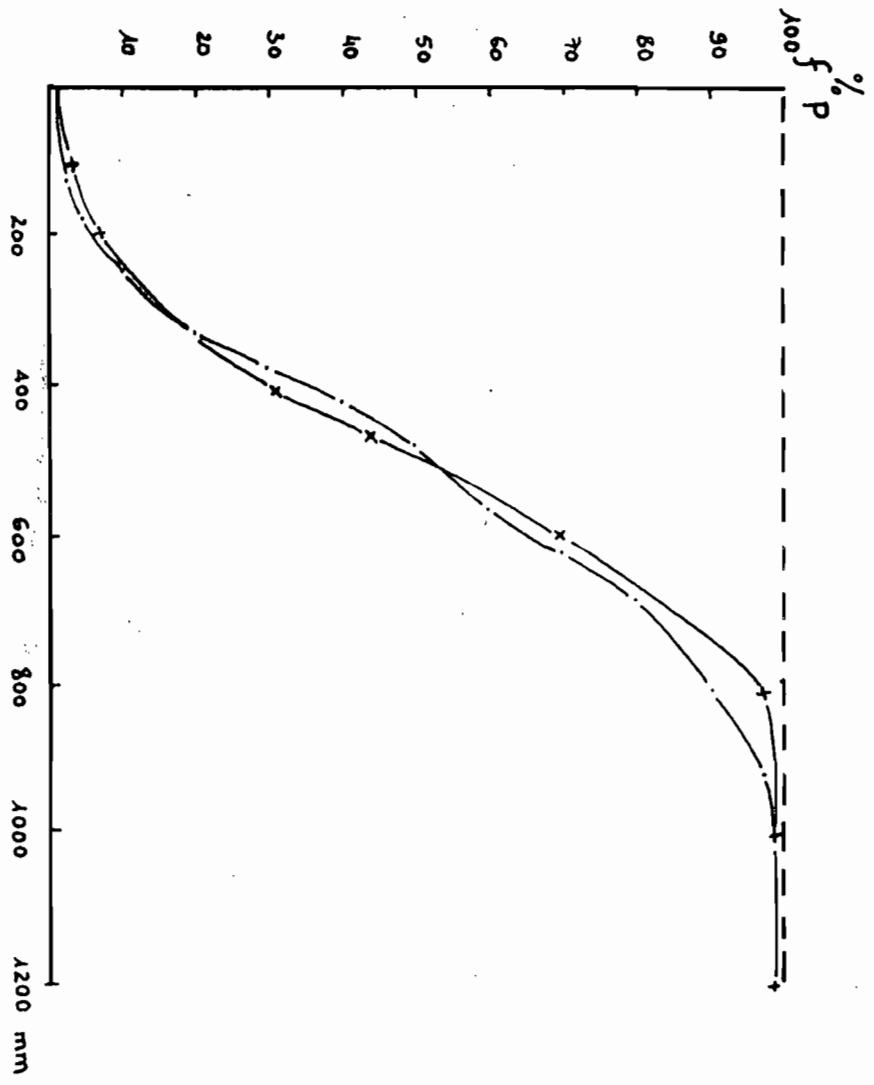




Fig. 23

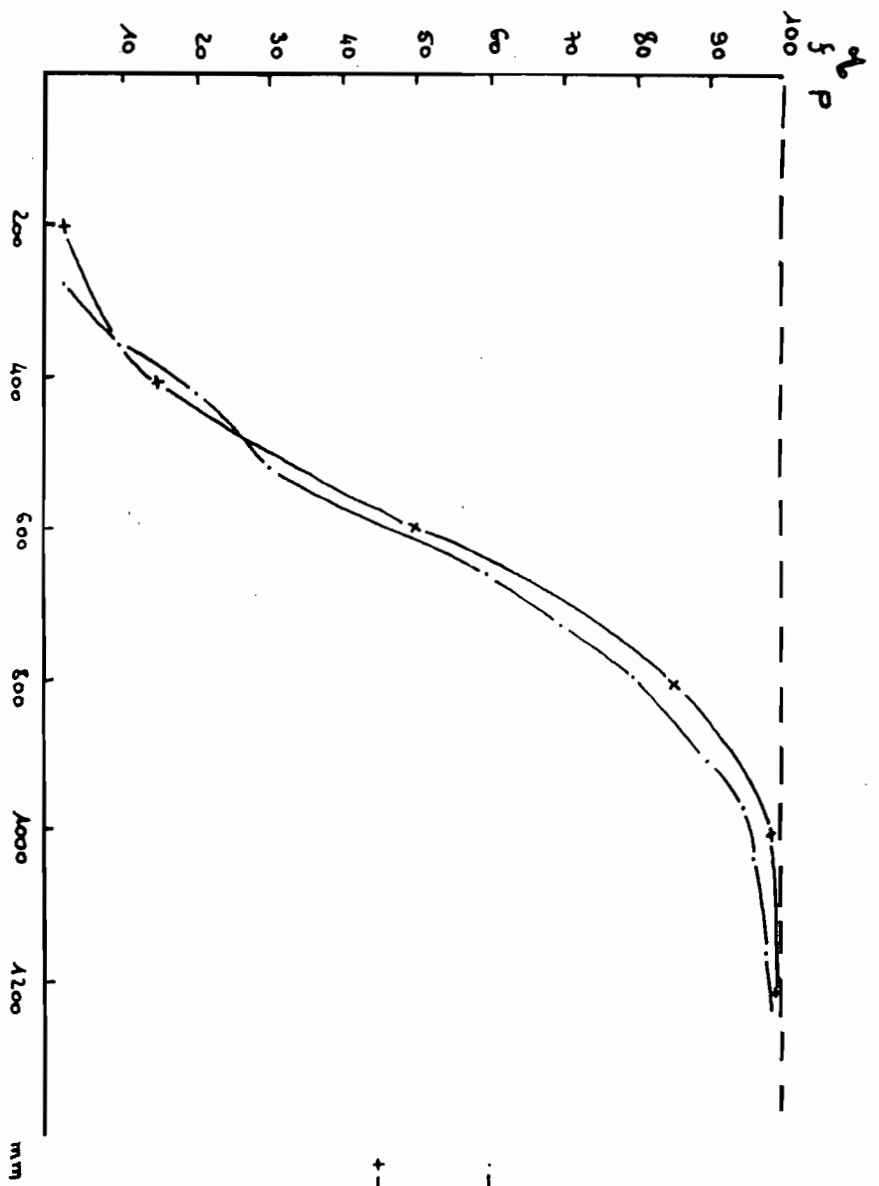
Dakar



..... Pour une distribution non normale.  
+ - - - + Pour une distribution supposée normale.

Fig: 24

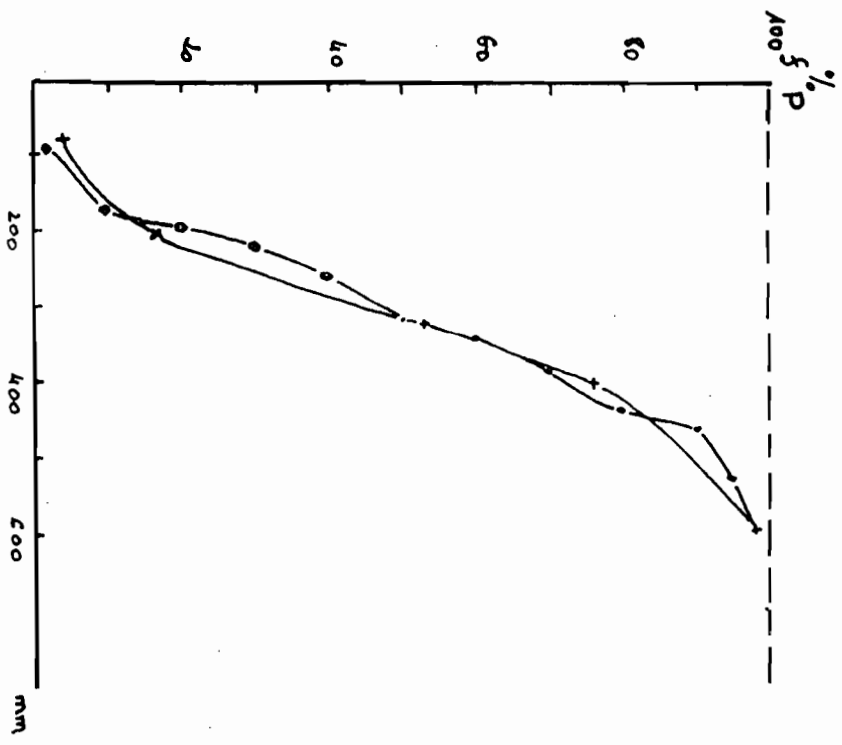
Diourbel



- - - - - Pour une distribution non normale.  
 + - - - - + Pour une distribution supposée normale.

Fig: 25

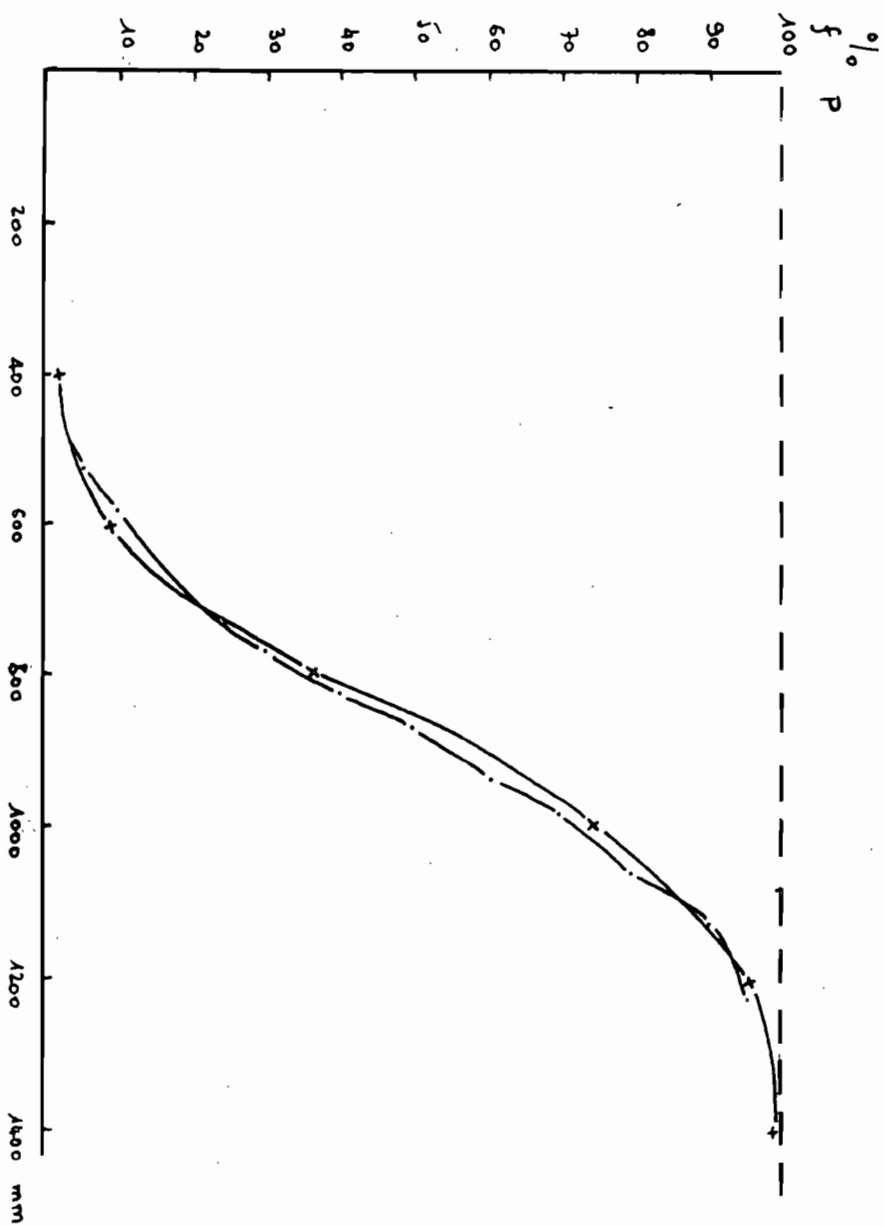
Saint-Louis



- 1 - - - - - Pour une distribution non normale
- 2 x - - - - x - - - x Pour une distribution supposée normale

Fig. 26

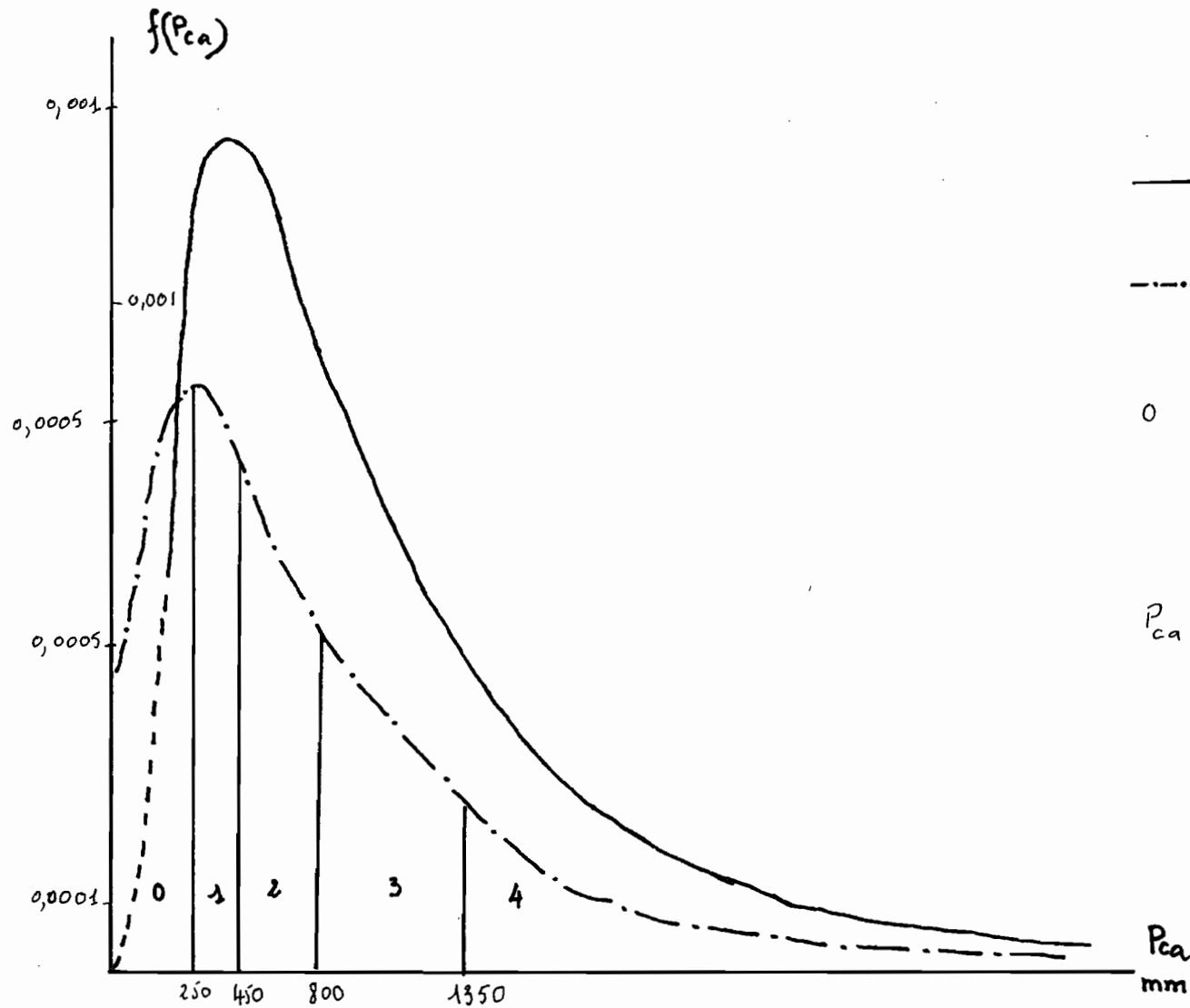
Tambacounda



---+--- Pour une distribution non normale.

+---+---+ Pour une distribution supposée normale.

fig. 27



— : Courbe Théorique pour les précipitations annuelles.

-.-.- : Etablissement de classe pour précipitations annuelles.

0 1 2 3 4 : les cinq classes de la classification numérique des climats mondiaux.

$P_{ca}$  : Précipitations annuelles.

## Bibliographie:

1 — S. Diallo:

" contribution à l'étude de l'évolution de la pluviométrie au Sénégal au cours des cinquante quatre dernières années." Dakar Mars 1986

2 — Gi. Castany:

" prospection et exploration des eaux souterraines " Dunod Paris 1968

3 — Ministère de l'équipement:

" Etude hydrogéologique des calcaires paléocènes de la région de Mbour." Dakar, décembre 1980

4 — Ministère de l'hydraulique:

" Etude des possibilités de stockage des eaux de ruissellement au Sénégal."

Phase 1 Avril 1984

5 — Ministère de l'hydraulique:

" L'eau et la lutte contre la désertification." Avril 1985

6 — quotidien national "Le Soleil" n° 4.814 du 27-05-86.

# RESSOURCES EN EAU DU SENEGAL

R.Rv: Ressources renouvelables en m<sup>3</sup>/jour  
 Q.ext: Débits prélevés



<b>SABLES LITTORAL NORD</b>
R.Rv: 115.000
Q.ext: 100.000
dont 23.000 A.E.P. Dakar

<b>ALLUVIONS SENEGAL</b>
R.Rv: 140.000
Q.ext: 20.000

<b>SABLES PRESQU'ILE</b>
R.Rv: 47.000
Q.ext: 40.000
dont 16.000 A.E.P. Dakar

<b>MAESTRICHTIEN</b>
R.Rv: 420.000
Q.ext: W. de Fatick 90.000
dont 52.800 A.E.P. Dakar
Q.ext: E. de Fatick 25.000

<b>CONTINENTAL TERMINAL</b>
Amont isopléze 0
R.Rv: 445.000
Q.ext: 30.000
Aval isopléze 0
R.Rv: 0
Q.ext: 20.000

<b>INFRABASALTIQUE</b>
R.Rv: 18.000
Q.ext: 21.000
A.E.P. Dakar

<b>C. PALEOCENE SEBIKOTANE</b>
R.Rv: 20.000
Q.ext: 31.000
dont 27.000 A.E.P. Dakar

<b>C. PALEOCENE POUT MBOUR</b>
R.Rv: 38.000
Q.ext: 35.000
dont 27.000 A.E.P. Dakar

<b>Lentille eau douce SALOUM</b>
R.Rv: 4.000
<b>Base CASAMANCE</b>
R.Rv: 5.000

<b>MIOCENE CASAMANCE</b>
R.Rv: 105.000
Q.ext: 10.000

<b>TERRAINS ANCIENS</b>
R.Rv: 500.000
R.Rv: mobilisables 50.000

