

ACADEMIE DE MONTPELLIER
UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES

OPTION : SCIENCES DE L'EAU ET AMENAGEMENT

**FORME DES AVERSES
VARIABILITE SPATIALE ET TEMPORELLE
AU NORD OUEST DE LA COTE D'IVOIRE**

P A R
KOUAME Brou

SOUTENUE LE 30 SEPTEMBRE 1987

JURY = MM. C. BOCQUILLON
P. CHEVALLIER
A. DELACOURT
Y. L'HOTE

LHM

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE
MATHEMATIQUE

ORSTOM

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE POUR LE
DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

à

Delphine,

Landry,

Mes camarades de l'ENSTP YAMOUSSOUKRO

AVANT - PROPOS

En m'acceptant dans leur laboratoire respectif d'Hydrologie de l'O.R.S.T.O.M. et d'Hydrologie Mathématique de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Messieurs B. POUYAUD et C. BOCQUILLON m'ont fait un grand honneur. Je les en remercie très sincèrement.

J'adresse mes vifs remerciements à Messieurs A. CASENAVE et P. CHEVALLIER, anciens responsables du Laboratoire d'Hydrologie du Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé en Côte d'Ivoire, qui m'ont permis d'effectuer tous mes stages d'élève Ingénieur dans leur laboratoire et qui ont sollicité la poursuite de mes études en France. Je sais infiniment gré à Monsieur P. CHEVALLIER qui m'a encadré depuis ces stages jusqu'au présent mémoire.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur A.DELACOURT, enseignant au département des Eaux à l'ENGREF et Monsieur Y. L'HOTE chercheur à l'O.R.S.T.O.M. qui ont accepté d'être parmi mes juges.

Que Monsieur P. RIBSTEIN qui s'est mis à ma disposition pour répondre à mes incessantes préoccupations trouve ici l'expression de toute ma sympathie.

Monsieur S. PIEYNS, Responsable de la formation au Laboratoire d'Hydrologie de l'O.R.S.T.O.M. n'a ménagé aucun effort pour résoudre mes problèmes administratifs. Je lui suis très reconnaissant.

De même, que tous ceux qui m'ont apporté leur aide dans la réalisation de ce travail, en particulier Messieurs T. LEBEL, A. GIODA, J.F. BOYER et J.P. DEBUICHE, tous à l'O.R.S.T.O.M., trouvent ici le témoignage de ma gratitude.

Enfin, je saisis cette occasion pour remercier très sincèrement Monsieur le Ministre de la Recherche Scientifique et Technique de la Côte d'Ivoire pour l'octroi de ma bourse d'études et Monsieur Adiko AMONCHO Directeur Adjoint du Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé pour le rôle important qu'il a joué dans mes démarches administratives.

* *
*

S O M M A I R E

INTRODUCTION	1
<u>PREMIERE PARTIE: PRECIPITATION EN AFRIQUE DE L'OUEST</u>	3
CHAPITRE I : LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES EN AFRIQUE OCCIDENTALE.	5
I.1. : Le climat	5
I.2. : Les fronts principaux	5
I.3. : Les grands types d'averses (les tornades, les averses à caractère continu, les crachins).	9
I.4. : L'origine des précipitations (1a convection, les rencontres de fronts).	11
CHAPITRE II : QUELQUES EXEMPLES D'ETUDES SUR LES PRECIPITATIONS	12
II.1.: La notion d'averse et d'épisode pluvieux (1'individualisation des averses, 1'épisode pluvieux)	12
II.2. : La caractérisation d'une averse (les variables dans le temps, les variables dans 1'espace).	14
II.3. : Conclusion de la première partie.	24
<u>DEUXIEME PARTIE : PRECIPITATIONS DE LA REGION DE BOORO-BOROTOU</u>	25
CHAPITRE I. : GENERALITES	27

I.1. : Présentation du bassin versant de Booro-Borotou (le bassin principal, le bassin de la Séné, les équipements hydropluviométriques).	27
I.2. : Régime régional des précipitations (résumé des caractéristiques pluviométriques, évolution de l'indice de précipitation antérieure).	36
CHAPITRE II : DONNEES PLUVIOMETRIQUES	43
II.1. : Données disponibles	43
II.2. : Mise en forme des données	45
CHAPITRE III : VARIABILITE TEMPORELLE DES AVERSES	55
III.1 : Individualisation des averse (critères de séparation et différents seuils)	55
III.2. : Caractéristiques des averse	60
III.3. : Etude statistique aux postes P01 et P12 (Généralités et ajustements).	69
III.4. : Conclusion.	90
CHAPITRE IV : REPARTITION SPATIALE DES AVERSES	92
IV.1. : Dynamique des averse	92
IV.2. : Corrélation entre postes	98
IV.3. : Conclusion.	101
CHAPITRE V : TYPES D'AVERSES	102
V.1. : Répartition des trois catégories principales d'averse	102
V.2. : Exemples de hyétogrammes des trois types d'averse.	105

CONCLUSION GENERALE

109

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE

* *
*

INTRODUCTION

La pluie étant un des principaux éléments du cycle de l'eau, il s'avère indispensable de caractériser certains de ses paramètres pour les besoins des responsables de projets d'aménagements dans les domaines tels que l'agriculture, l'assainissement urbain et rural, la protection contre les crues, etc ...

La difficulté et le coût élevé de la collecte des informations de base sur les averses au niveau des grandes superficies ont conduit les services hydrologiques à étudier en peu d'années de petits bassins versants représentatifs où un suivi permanent des systèmes de collectes des données peut être facilement effectué. C'est dans ce contexte que le bassin versant de Booro-Borotou au Nord-Ouest de la Côte-d'Ivoire a été équipé. Le choix de ce bassin correspond à un compromis des souhaits de chacun des participants à une étude multidisciplinaire (hydrologie, pédologie, botanique) qui y est en cours actuellement.

Le sujet de ce mémoire, la forme des averses et leur variabilité spatiale et temporelle va en effet servir de base à l'étude du bilan hydrique de ce bassin de Booro-Borotou.

La présente étude est divisée en deux parties.

La première partie est une étude bibliographique qui recense quelques paramètres de définition des averses.

La deuxième partie constitue l'étude personnelle de la variabilité des averses dans l'espace et dans le temps sur un petit bassin de 1,36 Km² suivi en détail et un grand bassin de 111 Km² englobant le premier. Les données pluviographiques que nous avons exploitées s'étendent sur trois années hydrologiques, (d'avril 1984 à avril 1987).

Les différents paramètres que nous avons étudiés sont :

- . Le nombre d'averses par jour,
- . La durée de l'averse,
- . La hauteur de l'averse,
- . L'intensité maximale de l'averse,
- . La durée depuis l'averse précédente,
- . La hauteur maximale en différentes durées.

* *
*

PREMIERE PARTIE :

PRECIPITATIONS EN AFRIQUE DE L'OUËST

Dans cette partie traitant des précipitations en Afrique Occidentale, nous allons voir dans un premier temps quelques aspects des caractéristiques climatiques de cette région et les types d'averses qu'on y rencontre.

Dans un second temps nous donnerons quelques exemples d'études sur les précipitations aussi bien en Afrique que dans le reste du monde.

CHAPITRE I. : LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES EN AFRIQUE OCCIDENTALE

I.1. : Le climat :

Les caractéristiques climatiques tiennent une très grande place dans le classement des régimes hydrologiques en Afrique Occidentale.

Le climat tropical africain présente au Nord du 8ème parallèle deux saisons bien marquées : la saison sèche en hiver et la saison des pluies en été. Au cours de la saison sèche les précipitations sont rares et on observe de grands écarts de température entre la nuit et la journée. La saison des pluies est quant à elle caractérisée par de faibles écarts de température. (RODIER, 1964).

Au Sud du 8ème parallèle on observe une évolution vers un climat dit équatorial. Ce climat est caractérisé par deux saisons des pluies (Avril-Juin et Septembre-Novembre) et deux saisons sèches (Juillet-Août et Décembre-Mars).

I.2. : Les fronts principaux :

L'Afrique Occidentale de manière générale, est soumise toute l'année à l'influence de deux flux principaux d'air de direction et de caractéristiques opposées (SIRCOULON, 1976).

Il s'agit :

- de l'air continental originaire des régions sahariennes, chaud et très sec qu'on appelle Harmattan ou alizé boréal qui souffle du Nord au Sud.
- de l'air océanique des régions équatoriales chargé d'humidité appelé alizé austral ou mousson ; cet air souffle dans la direction Sud-Nord.

La figure 1 (LEROUX, 1984) représente ces flux et discontinuités sur l'Afrique.

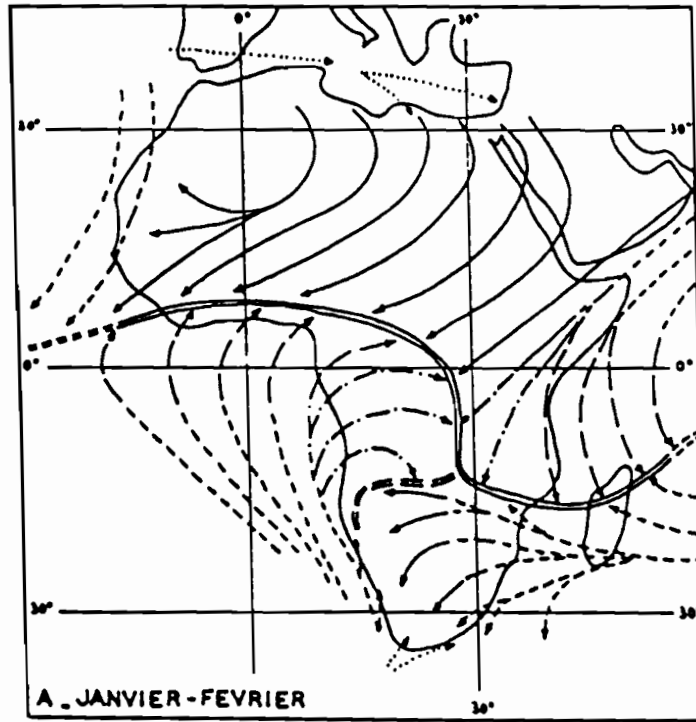
La rencontre de ces masses d'air donne lieu à des fronts.

Les deux principaux sont :

- le Front Intertropical (F.I.T.), entre l'harmattan et la mousson.
- le Front des Alizés entre l'Alizé des Açores et l'harmattan.

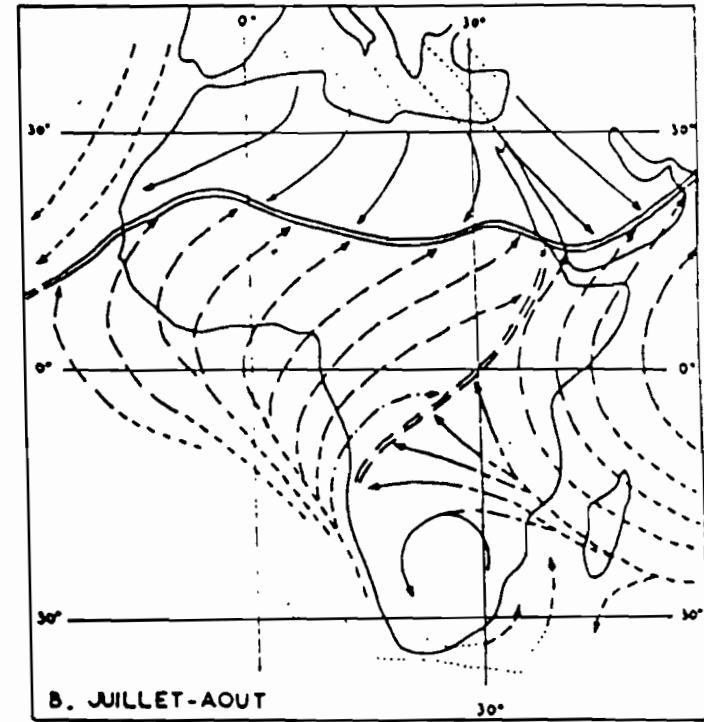
Signalons que l'Alizé des Açores provient de l'Anticyclone des Açores qui est une zone de haute pression axée sur le 30ème parallèle Nord.

Le FIT ou ITCZ (INTERTROPICAL CONVERGENCE ZONE : terme anglo-saxon) est le lieu de convergence entre l'harmattan et la mousson. Son déplacement conditionne les précipitations sur l'Afrique Occidentale (GOUYOU, 1985). On note ainsi que quand les régions situées au Nord du FIT où souffle l'harmattan se trouvent en saison sèche,



A. JANVIER-FEVRIER

- Alizé maritime
- Mousson
- Alizé continental
- ==== Confluence Inter Océanique

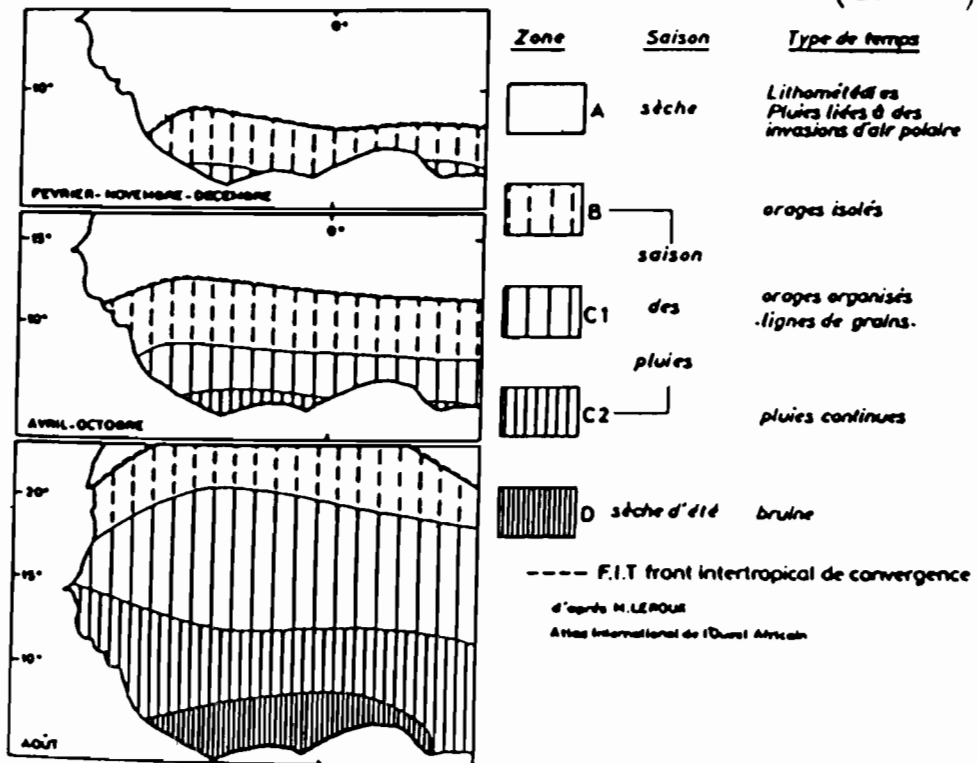


B. JUILLET-AOUT

- Alizé maritime continentalisé
- 'Mousson' (alizé dévié)
- ==== Front Intertropical
- ==== Zone Intertropicale de Confluence

FIG. 1. — Flux et discontinuités sur l'Afrique. (LERDOUX, 1984)

FIG. 2 : POSITIONS MOYENNES MENSUELLES des ZONES CLIMATIQUES et SUCCESSION MOYENNE des TYPES de TEMPS ASSOCIES (COUREL, 1984)



celles situées au Sud sont en saison des pluies (figure 2 : COUREL, 1984).

La trace au sol du FIT occupe deux positions extrêmes : la position méridionale en Décembre-Janvier et la position septentrionale en Juillet-Août. Pour accomplir sa migration Sud-Nord, le FIT met environ six mois et quatre mois pour revenir à sa position initiale (COUREL, 1984).

I.3. : Les grands types d'averses :

L'étude des régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'Ouest du Congo (RODIER, 1964) a montré qu'on peut observer principalement trois catégories d'averses dans les régions tropicales et équatoriales.

I.3.1. : Les tornades :

Sur une coupe verticale on peut remarquer que la mousson forme sous l'harmattan un coin d'air frais et humide dont l'épaisseur peut atteindre 2 500 m. Lorsque cette épaisseur reste inférieure à une valeur estimée à 2 000 m les averses engendrées par ce contact entre la mousson et l'harmattan sont appelées tornades. Au-delà de 2 000 m ce sont des pluies de mousson qu'on observe.

Une tornade classique présente en un lieu donné les phases suivantes :

- une période préliminaire d'intensité moyenne, 10 à 30 mm/h, de courte durée.
- le corps de la tornade, d'intensité moyenne variant entre 40 et 100 mm/h et de durée allant de 5 à 20 minutes.
- la traîne de la tornade qui a une faible intensité, de 15 à 1 mm/h.
Cette traîne dure d'une demi-heure à deux heures.

Les tornades ont généralement lieu en fin d'après-midi ou la nuit.

I.3.2. : Les_averses_à_caractère_continu :

Ces averses sont souvent appelées pluies de mousson. Elles sont caractéristiques de la saison des pluies et surtout du milieu de celle-ci. Leur durée est de plusieurs heures avec des intensités moyennes qui restent inférieures à celles des tornades.

I.3.3. : Les_pluies_de_crachin :

Elles sont rares. Ce sont des pluies fines et régulières qui ont une assez longue durée et des intensités faibles.

I.4. : L'Origine des précipitations :

On distingue principalement deux origines : convective et frontale.

I.4.1. : La convection :

Dans les régions tropicales, en raison de la chaleur élevée, les masses d'air se réchauffent au voisinage du sol. Ces masses d'air ainsi surchauffées et chargées d'humidité s'élèvent en courants ascendants et se refroidissent à un moment donné. Ainsi la vapeur d'eau se condense sous forme de gros nuages (les cumulo-nimbus) qui retombent en pluies. La convection est parfois accentuée par le relief.

La formation des cumulo-nimbus a lieu le plus souvent dans l'après-midi et la pluie survient en fin de journée (AUBREVILLE, 1949 ; REED, 1984).

On rencontre également ce phénomène en climat tempéré sous forme d'orage d'été.

I.4.2. : Les rencontres de fronts :

Lorsque plusieurs masses d'air de propriétés différentes se rencontrent, les plus chaudes sont poussées vers les hautes altitudes où elles se refroidissent et se condensent. Cela donne lieu à des précipitations importantes et longues.

CHAPITRE II. : QUELQUES EXEMPLES D'ETUDES SUR LES PRECIPITATIONS.

Après avoir rappelé les grands traits du climat et des averses en Afrique Occidentale il n'est pas inutile de voir comment certains auteurs ont déjà abordé cette étude des averses.

Les études effectuées sur les averses ont le plus souvent pour éléments de base les enregistrements journaliers et hebdomadaires obtenus à partir de pluviographes.

Ce genre d'étude nécessite d'abord une vérification des données pluviographiques pour s'assurer si la série en question est satisfaisante et ne présente pas de déformations particulières : exemples des augets mal réglés, de changement de feuille pendant l'averse, etc ... (LE BARBE, 1982 ; BOUVIER, 1986).

II.1. : La notion d'averse et d'épisode pluvieux :

II.1.1. : L'individualisation des averses :

Une averse, qui est un élément d'un épisode pluvieux, peut être séparée d'une autre par une durée pendant laquelle l'intensité de précipitation est inférieure à un seuil i . La précipitation journalière peut ainsi se répartir en une ou plusieurs averses individualisées.

Afin d'arriver à une telle individualisation il faut émettre un certain nombre de critères. Pour l'étude sur le bassin versant de Korhogo en Côte d'Ivoire (CAMUS et al, 1976) les critères qui ont été retenus sont : $d \geq 30$ minutes avec $i \leq 5$ mm/h. Cela signifie que si les intensités successives n'ont pas excédé la valeur de 5 mm/h au cours d'une durée totale supérieure à la limite 30 minutes, l'averse antérieure est considérée comme indépendante de l'averse future.

II.1.2. : L'épisode pluvieux :

Comme pour l'averse il faut définir aussi une durée D pendant laquelle les pluies sont insignifiantes. On choisit cette durée D en fonction de l'utilisation prévue pour les résultats de l'étude. Ainsi en hydrologie urbaine (MASSON, 1980) on adopte $D = 6$ h avec moins de 1 mm/h pour que dans la plupart des cas les réseaux urbains d'assainissement puissent se vidanger complètement entre deux épisodes pluvieux.

A l'intérieur de chaque épisode pluvieux on peut définir un certain nombre de variables (TOURASSE, 1981) :

- le nombre N_A d'averses à l'intérieur de l'épisode,
- la durée d entre deux averses,
- la durée DA d'une averse,
- la hauteur d'eau $H (DA)$ tombée pendant l'averse,

- la position HM du maximum à l'intérieur d'une averse.
- le rapport RPA exprimé en pourcentage de la pluie tombée pendant l'heure du maximum sur le volume total de l'averse.

II.2. : La caractérisation d'une averse :

La structure et la distribution des précipitations varient énormément dans le temps et dans l'espace. On peut rechercher certains paramètres caractéristiques de ces deux échelles.

II.2.1. : Les variables dans le temps :

Sur l'échelle des temps une averse est généralement caractérisée par quatre paramètres : la hauteur totale, la hauteur du corps, la durée et l'intensité (CAMUS et al, 1976 ; VAUCHEL, 1977).

II.2.1.1. : Nombre d'averses en 24 h et hauteurs pluviométriques correspondantes :

On essaie de rechercher une corrélation entre la hauteur de l'averse la plus forte de la journée et la hauteur de la précipitation journalière pour les journées où il y a eu plus d'une averse.

L'étude menée sur le bassin de Korhogo (CAMUS et al, 1976) a montré que lorsqu'il y a deux averses, le

pourcentage de la plus forte dans le total journalier croit avec celui-ci (60% pour 20 mm, 80% pour 100 mm). Les journées de trois averses restent peu nombreuses et dans ce cas la plus forte ne dépasse pas 50 % du total journalier.

II.2.1.2. : Le corps de l'averse

Le corps ou la partie utile de l'averse est défini comme la somme des tranches de l'averse dont l'intensité est supérieure à une intensité I . C'est un seuil qui correspond à l'intensité minimale en-dessous de laquelle on considère que la tranche de précipitation ne ruisselle pas.

On peut définir une droite de régression entre la hauteur du corps C et la hauteur de pluie P . Pour le bassin de Korhogo les études ont révélé deux droites distinctes selon que la quantité de pluie tombée est forte ou non.

$$C = 0,786 P - 1,6 \quad \text{pour } P \leq 50 \text{ mm}$$

$$C = 0,98 P - 11,2 \quad \text{pour } P > 50 \text{ mm}$$

II.2.1.3. : La durée de l'averse

On établit à ce niveau une relation de la durée en fonction de la hauteur de précipitation journalière P . Ainsi pour $5 \text{ mm} \leq P \leq 90 \text{ mm}$ (CAMUS et al, 1976) il est possible d'ajuster aux valeurs médianes une fonction parabolique d'équation :

$$d = 0,016 (P - 5)^2 + 1,17 (P - 5) + 15$$

avec

d = durée de l'averse en minutes

P = valeur de la précipitation en mm;

II.2.1.4. : L'intensité durant une averse :

Une fois l'averse localisée selon les critères qu'on aura choisis en fonction des résultats escomptés de l'étude, on établit les intensités maximales observées pendant des intervalles de temps donnés. Le plus souvent on cherche les intensités en 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 et 180 minutes. On obtient ainsi pour chacune des tranches des échantillons qui sont ensuite soumis à une analyse statistique.

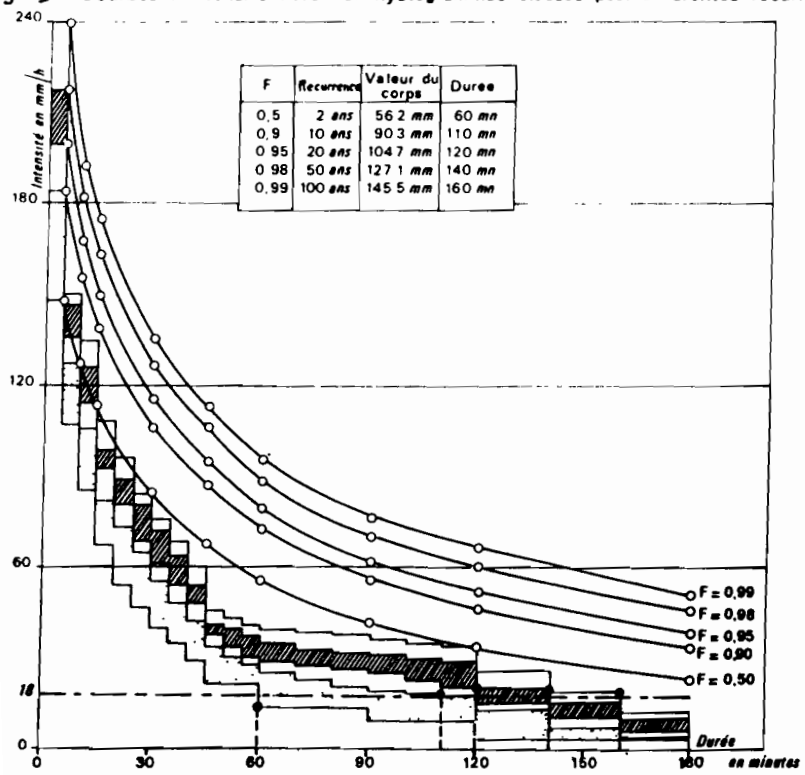
En ajustant des lois statistiques aux intensités maximales des averses pour différentes fréquences on établit à partir de ces résultats les courbes intensité - durée - fréquence (fig. 3, CAMUS et al, 1976).

Une telle analyse présente un grand intérêt pour l'étude des ruissellements sur de petits bassins urbains et ruraux en ce qui concerne surtout leur drainage.

II.2.2. : Les variables dans l'espace :

L'estimation de la pluie en un point donné est en général résolu par les observations effectuées en ce lieu à l'aide de pluviomètres ou de pluviographes. Le problème qui se pose est l'estimation de cette pluie en plusieurs points d'une surface S et ainsi sur cette surface entière.

Fig. 3 . Courbes d'intensité-durée et hyetogrammes classes pour différentes récurrences (CAMUS, 1976)



Certains paramètres tentent de répondre à cette préoccupation.

II.2.2.1. : Le coefficient d'abattement :

C'est un coefficient qui permet de rechercher la pluie moyenne P_m sur une surface S à partir de la pluie ponctuelle P en un point arbitraire de cette surface (BRUNET-MORET et ROCHE, 1976). Ce coefficient est défini comme le rapport de la pluie moyenne P_m par la pluie ponctuelle P .

$$K = \frac{P_m}{P}$$

Cette définition n'est valable que si P et P_m ont la même probabilité et si la loi de répartition statistique de la pluie est la même en chaque point de la surface S .

Le coefficient d'abattement est généralement calculé pour les pluies journalières compte tenu du fait que la plupart des relevés sont journaliers.

Une étude de l'abattement des précipitations journalières en Afrique intertropicale sur cinq bassins versants (VUILLAUME, 1974) a permis d'établir une équation généralisée de la forme :

$$K = 1 - (9 \log r - 42 \cdot 10^{-3} P + 152 \pm 10) 10^{-3} \log S$$

où

K = coefficient d'abattement, sans dimension, inférieur à 1.

r = recurrence en années de l'évènement étudié

P = pluviométrie moyenne interannuelle de bassin en mm.

S = superficie du bassin en km²

Avec cette relation VUILLAUME (1974) a établi un abaque (fig. 4), couvrant la zone de 250 à 3000mm de pluviosité annuelle.

II.2.2.2. La notion de coefficient d'épicentrage :

Le coefficient d'épicentrage KX est le rapport entre la pluie ponctuelle maximale PX et la pluie ponctuelle locale PL d'une zone donnée pour la même distribution fréquentielle T. On le note

$$KX (T) = \frac{PX (T)}{PL (T)}$$

Une étude de ce coefficient a été effectuée en France près de Paris sur le bassin versant représentatif de l'Orgeval (GALEA et al, 1981). La formule de calage obtenue à la suite de cette étude est la suivante :

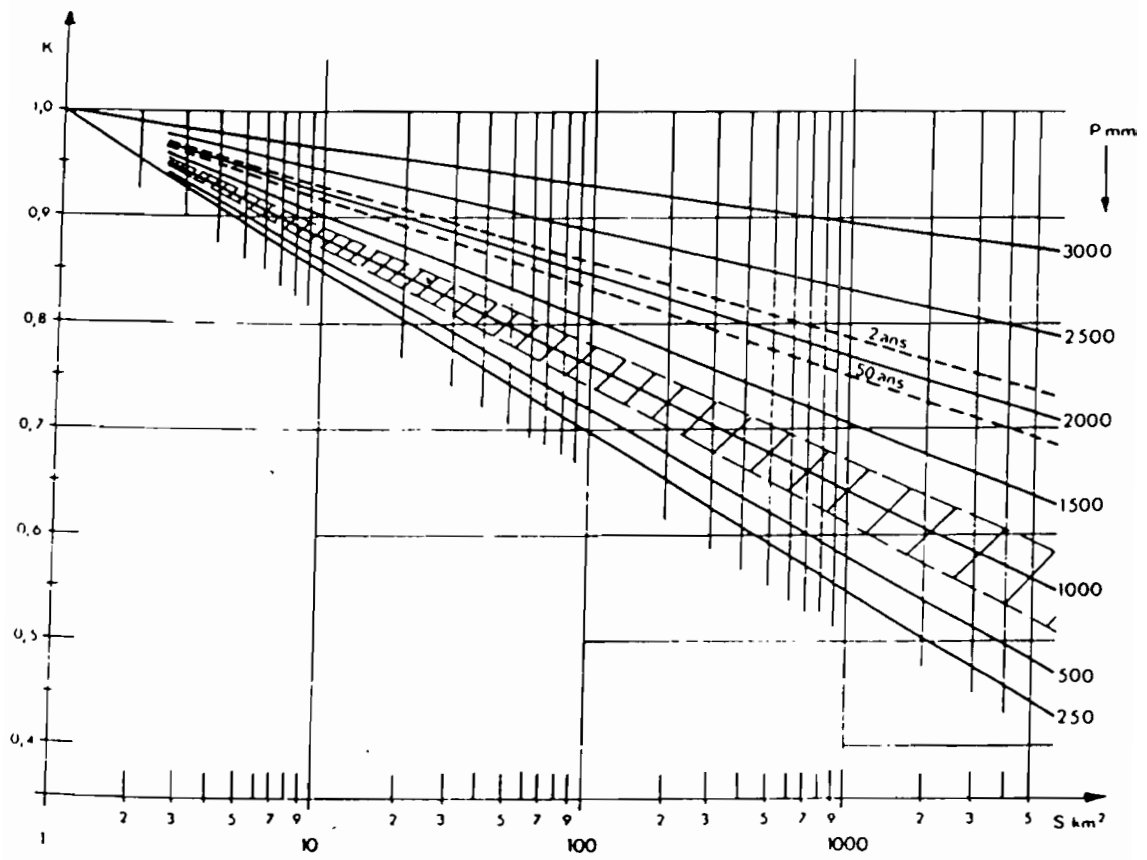


Fig. 4 - Variation du coefficient d'abattement avec la surface pour différentes pluviosités interannuelles (pour un paramètre d'échelle $n = 20$)

(VUILLAUME, 1974)

$$KX = 1 + \left[\ln \left(\frac{s + 1}{\frac{s}{p} + 1} \right) \right] \left[0,03 + 0,026 \ln T + 0,32 e^{-\frac{t}{20}} \right]$$

avec

KX = coefficient d'épicentrage

S = superficie du domaine en Km^2

p = nombre de pluviographes

T = période de retour en années

t = durée des pluies en heures.

Cette formule peut être simplifiée en la rendant indépendante de la densité du réseau de mesure. Dans ces conditions on considère qu'il y a un très grand nombre de pluviographes p . On obtient alors :

$$KX = 1 + \left[\ln (S + 1) \right] \left[0,03 + 0,026 \ln T + 0,32 e^{-\frac{t}{20}} \right]$$

II.2.2.3. : Le coefficient de corrélation

Pour étudier la corrélation entre les pluies observées aux points X_i et X_j distants de h d'un bassin versant deux modèles semblent adaptés (LABORDE et LEMPEREUR, 1986) parmi les intégrations analytiques.

- Le modèle sphérique :

Dans ce modèle le coefficient de corrélation $\rho(h)$ a pour expression :

$$\rho(h) = 1 - 1,5 \frac{h}{p} + 0,5 \left(\frac{h}{p} \right)^3 \quad \text{si } h < p$$

$$\rho(h) = 0 \quad \text{si } h \geq p$$

avec h : distance entre les points X_i et X_j
P : portée

- Le modèle exponentiel :

L'expression de $\rho(h)$ est la suivante :

$$\rho(h) = e^{-\frac{h}{a}}$$

où

h = distance entre les points X_i et X_j

a = portée virtuelle (distance limite d'indépendance).

Dans les deux cas on voit que $\rho(0) = 1$ et $\rho(h)$ tend vers 0 lorsque h tend vers l'infini. Cela explique le fait que pour des postes très éloignés les uns des autres, les pluies ponctuelles sont indépendantes. Cette diminution du coefficient de corrélation avec l'éloignement des postes a été aussi mise en évidence par une étude d'averses effectuée en Tunisie (BERNDTSSON et NIEMCZYNOWICZ, 1986).

L'ajustement de ces deux modèles sur les données pluviographiques d'un bassin géré par les Services Techniques du District de l'Agglomération Nancéenne (D.A.N.) a révélé que c'est le modèle exponentiel qui s'adapte le mieux à l'étude de ces pluies.

II.2.2.4. : Etude des écarts entre les précipitations ponctuelles et leur moyenne arithmétique :

Une étude récente a été menée en région parisienne par BERGAOUI (1987) sur la distribution spatio-temporelle des précipitations à des échelles fines de temps et d'espace. Concernant la distribution des écarts relatifs à la moyenne arithmétique des intensités synchrones aux divers postes pluviographiques pour différentes durées (de 5 minutes à 6 heures) BERGAOUI est arrivé aux conclusions suivantes :

- pour des pas de temps supérieurs à 5 minutes et des fréquences de non-dépassement d'intensités supérieures à la fréquence bimensuelle, les précipitations sur le réseau de Rungis peuvent statistiquement être considérées comme homogènes.

- pour des faibles intensités et durées, les dispersions sont significatives. Ces dispersions seraient attribuées à la nature de la mesure (fonctionnement des appareils, captation des faibles intensités), à la nature des phénomènes pluvieux et à l'environnement des appareils.

II.3. : CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE :

Cette première partie a permis d'une part de rappeler les caractéristiques du climat de l'Afrique Occidentale qui comprend deux régimes hydrologiques essentiellement basés sur la pluviométrie; le régime tropical et le régime équatorial.

D'autre part, les différentes références bibliographiques nous ont permis de rappeler un certain nombre de paramètres d'étude des averses.

Cette partie nous a aussi donné l'occasion de mesurer combien l'évènement pluie est aléatoire dans l'espace et dans le temps.

* *
*

DEUXIEME PARTIE :

PRECIPITATIONS DE LA REGION DE BOORO - BOROTOU

A la suite de la première partie qui a été consacrée à une étude bibliographique des précipitations, cette seconde partie étudie les précipitations régionales au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Nous allons d'abord présenter le bassin versant de Booro-Borotou sur lequel porte cette étude avec ses différents équipements et données pluviographiques. Ensuite nous étudierons les distributions spatio-temporelles des averses dans cette région.

CHAPITRE I. : GENERALITES

I.1. : Présentation du bassin versant de Booro-Borotou.

La région de Booro-Borotou est le site d'une étude multidisciplinaire dont le programme est dénommé programme Hydro-Pédologique de Recherche sur Bassin Versant (HYPERBAV). Les premières mesures climatologiques et hydropluviométriques ont commencé en début de l'année 1984.

L'étude porte sur deux bassins versants :

- le bassin "Booro-Principal"
- le bassin de la Séné à Touresso.

I.1.1. : Le bassin principal :

Le bassin versant principal de Booro-Borotou est situé dans le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire (Fig. 5 et 6, CHEVALLIER et al. 1985) à 25 km au Nord de la ville de Touba. Ses coordonnées géographiques sont :

- Latitude : 8° 28' N
- Longitude : 7° 35 W
- Altitude : 427-475 mètres.

Le marigot qui draine ce bassin est un affluent de la Séné elle-même affluent de la Féré Dougouba, principal tributaire nord-ouest du fleuve Sassandra.

FIG.5 - CÔTE D'IVOIRE : SITUATION DU BASSIN VERSANT REPRESENTATIF DE BOORO - BOROTOU

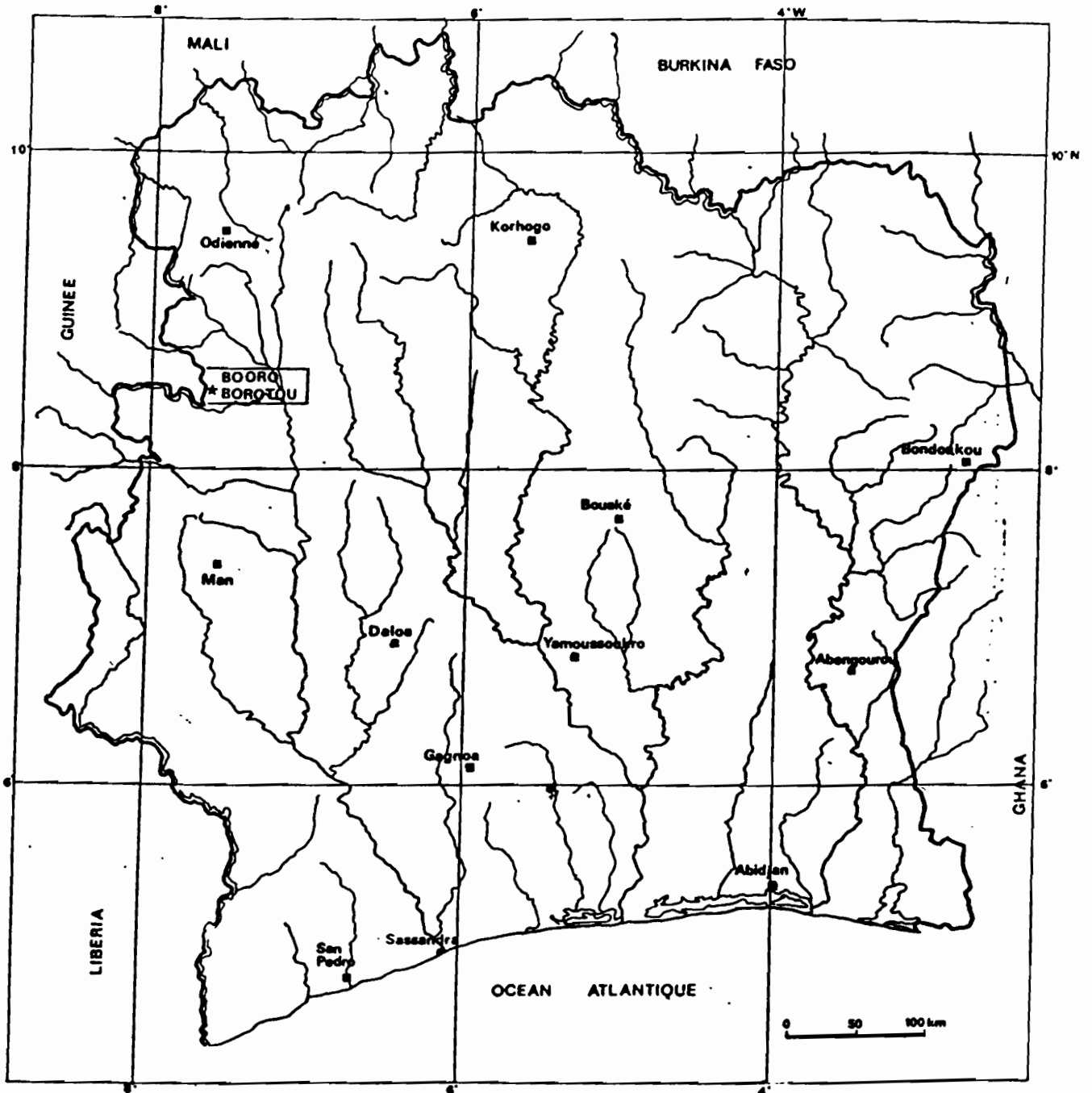
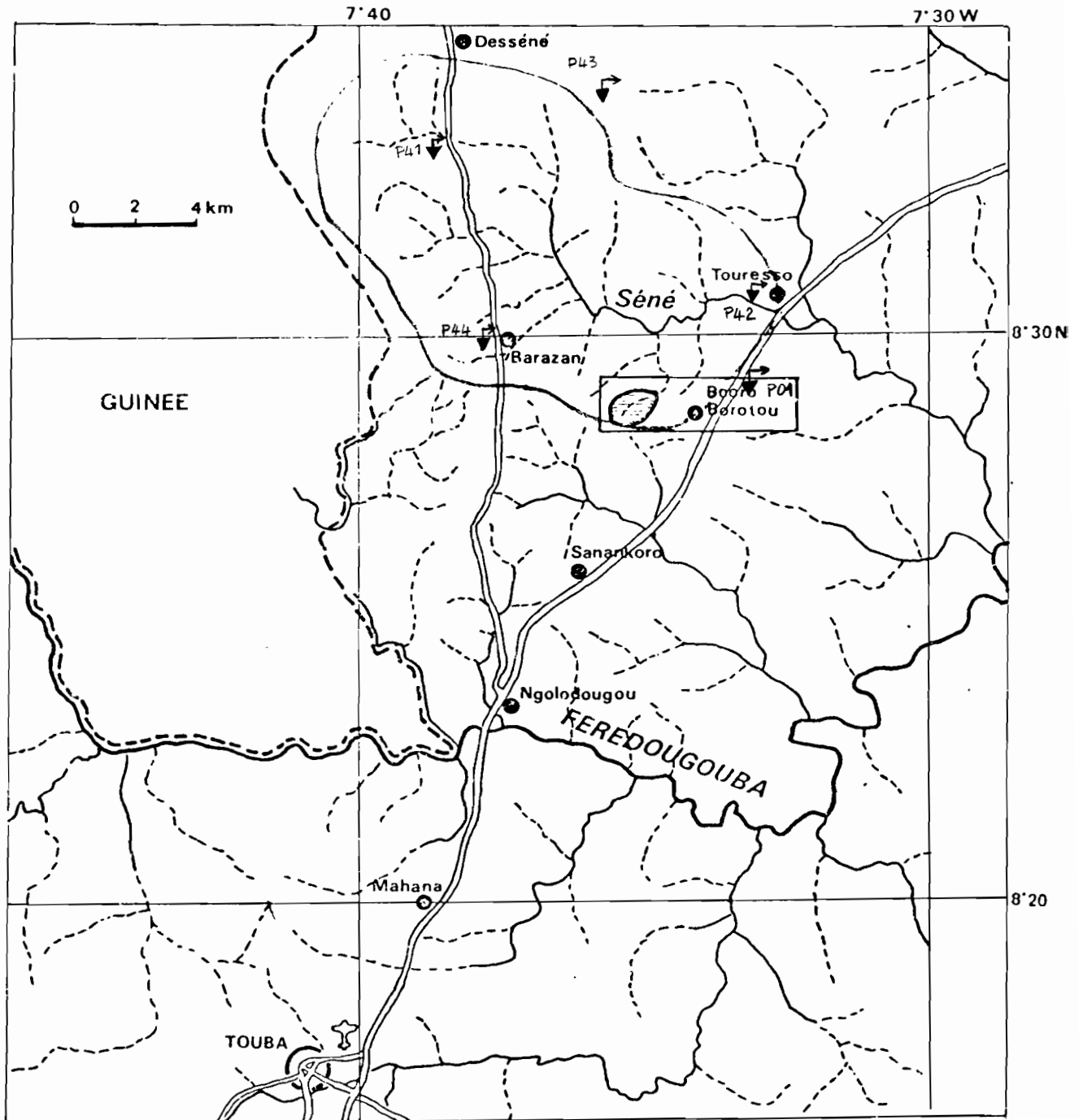


FIG. 6 - REGION DE TOUBA



Après une année de mesures, un sous-bassin amont a été créé sur le bassin principal. Les caractéristiques physiques du bassin principal et de son sous-bassin sont consignés dans le tableau 1.

Tableau 1 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT DE BOORO-BOROTOU.

NOM	BASSIN PRINCIPAL	BASSIN AMONT
Surface (km ²)	1,36	0,455
Périmètre (km)	4,92	3,00
Indice de compacité	1,18	1,25
Longueur du rectangle équivalent (km)	1,62	1,08
Altitude maximale (m)	474,5	474,5
Altitude à l'exutoire (m)	426,5	439,2
Indice global de pente (m/km)	22,2	26,6
Indice de pente de ROCHE	0,180	0,179

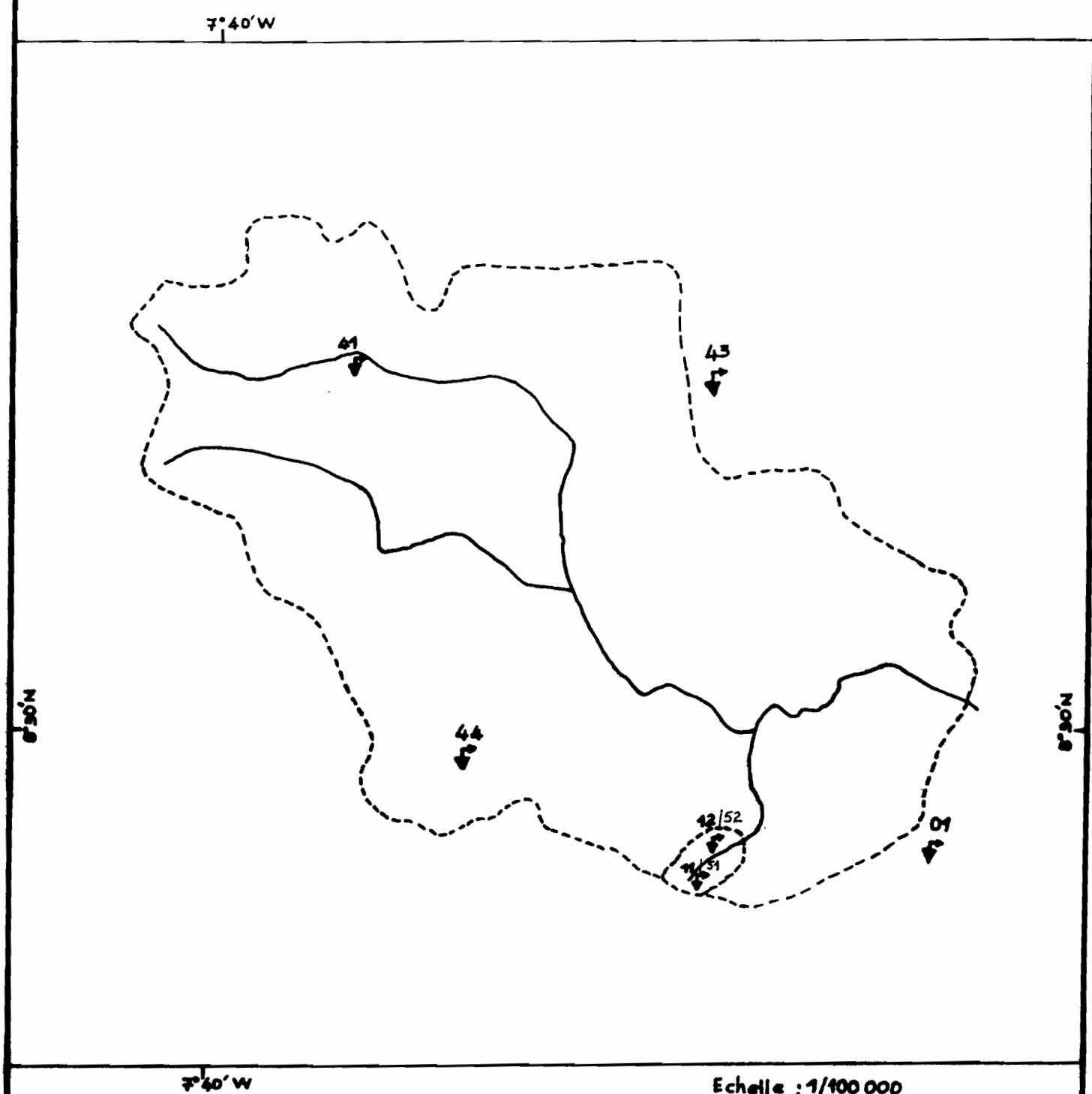
I.1.2. : Le bassin versant de la Séné à Touresso :

Ce bassin qui englobe le bassin principal et son sous-bassin amont est drainé par la Séné. Son installation a été postérieure à celle de Booro-Borotou. L'idée qui a prévalu à la création de ce grand bassin est de pouvoir disposer d'informations hydropluviométriques supplémentaires dans cette région à une échelle un peu plus large afin de mieux interpréter les données recueillies. Ses principales caractéristiques sont données par le tableau 2 et la figure 7 ci-dessous (CHEVALLIER et al. 1986).

Tableau 2 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA SENE A TOURESSO.

NOM	VALEUR
Superficie (km ²)	111
Périmètre (km)	48,2
Indice de compacité	1,28
Longueur du rectangle équivalent (km)	17,9
Altitude maximale (m)	913
Altitude à l'exutoire (m)	394,5
Indice global de pente (m/km)	7,54
Indice de pente de ROCHE	0,106

FIG. 7: BASSIN VERSANT DE LA SENE A TOURESSO



D'après la classification des bassins représentatifs et expérimentaux (DUBREUIL et al, 1972) le bassin principal de Booro-Borotou et celui de la Séné, ramenés à un bassin de 25 Km² ont des pentes moyennes respectives de 11,1 et 15 m/km. Ces pentes étant comprises entre 10 et 20 m/km, le type de relief qui correspond aux deux bassins dans la classification de DUBREUIL et al. est le relief assez fort (R4).

I.1.3. : Les équipements hydropluviométriques

I.1.3.1. Les équipements hydrométriques

Le bassin principal est équipé à son exutoire de deux capteurs :

- le capteur 1 est un limnigraphe OTT X à rotation en 24 h et de réduction 1/5. Il enregistre les écoulements de base et les faibles crues jusqu'à 110 l/s.
- le capteur 2 enregistre les écoulements de crues moyennes et fortes. C'est aussi un limnigraphe OTTX à rotation en 24 h et de réduction 1/10 puis 1/5 après les écoulements de la première saison.

La station du bassin amont a été installée en 1985 pendant la période d'écoulement nul. Elle complète ainsi le dispositif de mesure des écoulements à la lumière de certaines observations pédologiques. Cette station est constituée d'un limnigraphe OTT X à rotation en 24 h de réduction 1/5 et d'une échelle de référence.

Quant à la station de la Séné à Touresso, elle est installée sur le pont de la route nationale A7 reliant Daloa et Odienné à environ 30 km au nord de Touba. Elle est équipée d'un limnigraphe à flotteur OTT X de réduction 1/5, à rotation hebdomadaire et d'une batterie de trois éléments d'échelle.

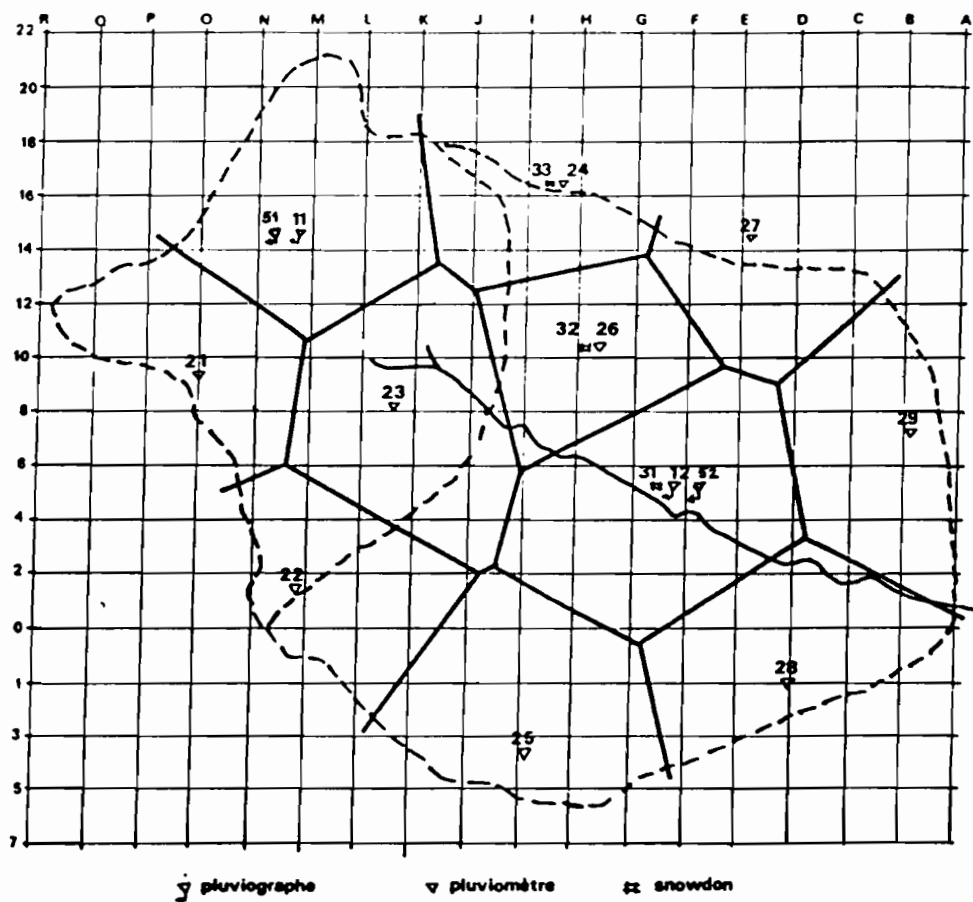
I.1.3.2. : Les équipements pluviométriques

On dénombre :

- 11 pluviomètres type "Association" dont la bague de réception de 400 cm² est à un mètre du sol.
- 3 pluviomètres snowdon modifiés ORSTOM de bague de réception 400 cm² au niveau du sol.
- 3 pluviographes journaliers du type Précis Mécanique à augets basculeurs.
- 1 pluviographe hebdomadaire Précis Mécanique à augets basculeurs.
- 1 pluviographe à platine déroulante longue durée.
- 3 pluviographes Oedipe à mémoire statique de stockage de l'information.

Sur les figures 6, 7 et 8 on voit l'emplacement des équipements pluviométriques d'une part sur le bassin de la Séné à Touresso et d'autre part sur le bassin de Booro-Borotou.

FIG B - EQUIPEMENT PLUVIOMETRIQUE ET POLYGONES DE THIESSEN



I.2. : Régime régional des précipitations

Pour avoir une idée sur la précipitation de la région on peut donner les principaux résultats d'une étude de KOUAME (1986) sur la pluviométrie au poste de Touba.

I.2.1. : Résumé des caractéristiques pluviométriques régionales

Après une critique des données pluviométriques observées au poste de Touba depuis 1938, KOUAME n'a retenu que 33 années pour l'étude statistique sur les périodes suivantes : 1939/1957, 1966/1978 et 1984. Les données en dehors de ces périodes ne paraissent pas suffisamment fiables.

. Précipitations annuelles

Le meilleur ajustement statistique se fait sur une loi de Gauss dont les paramètres sont les suivants : Moyenne : 1359 mm et Ecart-type : 223 mm.

Cela donne les valeurs suivantes (en mm) pour des périodes de retour données.

Réurrence	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100
Sèche	1 359	1 171	1 073	992	901	841
Humide	1 359	1 546	1 644	1 725	1 816	1 877

. Précipitations mensuelles :

La figure 9 présente les moyennes mensuelles de précipitation sur l'échantillon de 33 années. C'est le mois de Septembre qui paraît le plus arrosé (19 % des précipitations), suivi du mois d'Août (16 %) et du mois de juillet (13 %). Le mois le moins arrosé est Janvier (0,8 %).

Les lois statistiques qui s'ajustent le mieux aux valeurs mensuelles pour les mois de Mars à Octobre fournissent les résultats (en mm) du tableau 3.

Tableau 3 : Résultats des ajustements aux valeurs mensuelles.

	RECURRENCE	1/20	1/10	1/2	1/10	1/20
MOIS	LOI STATISTIQUE	SECHE			HUMIDE	
Mars	Gumbel	21	30	70	132	156
Avril	Pearson I	34	49	127	205	220
Mai	Pearson I	67	78	130	205	229
Juin	Fuites	66	82	154	248	278
Juillet	Pearson I	51	72	171	270	289
Août	Pearson I	78	102	206	324	357
Septembre	Galton	153	162	222	394	485
Octobre	Gumbel	30	44	112	218	259

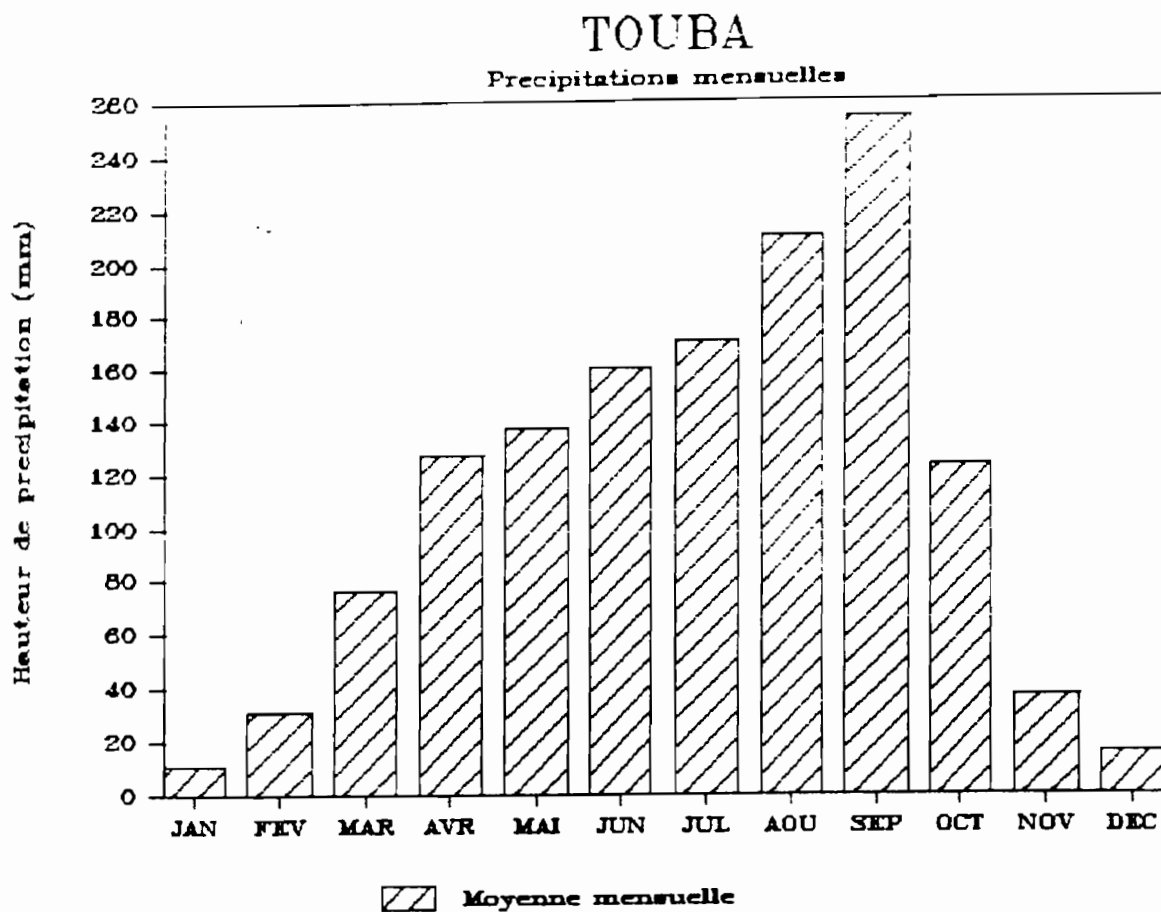
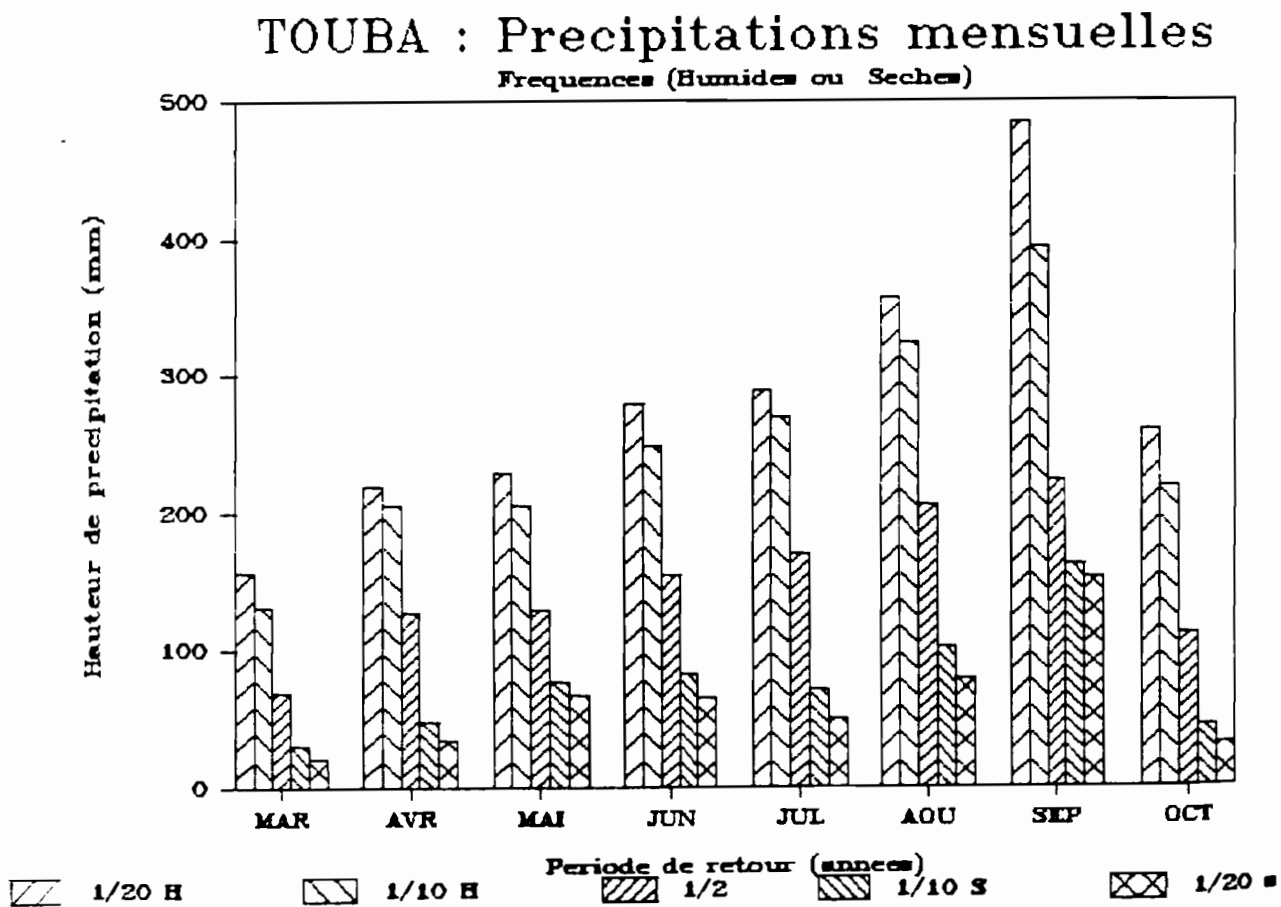


FIGURE N° 10



L'histogramme de ces ajustements est représenté par la figure 10.

Pour caractériser le régime pluviométrique de Touba il a été établi les courbes de la figure 11 à partir desquelles on peut estimer une seule saison des pluies allant de Mai à mi Octobre et une seule saison sèche de Novembre à Avril.

. Précipitations journalières :

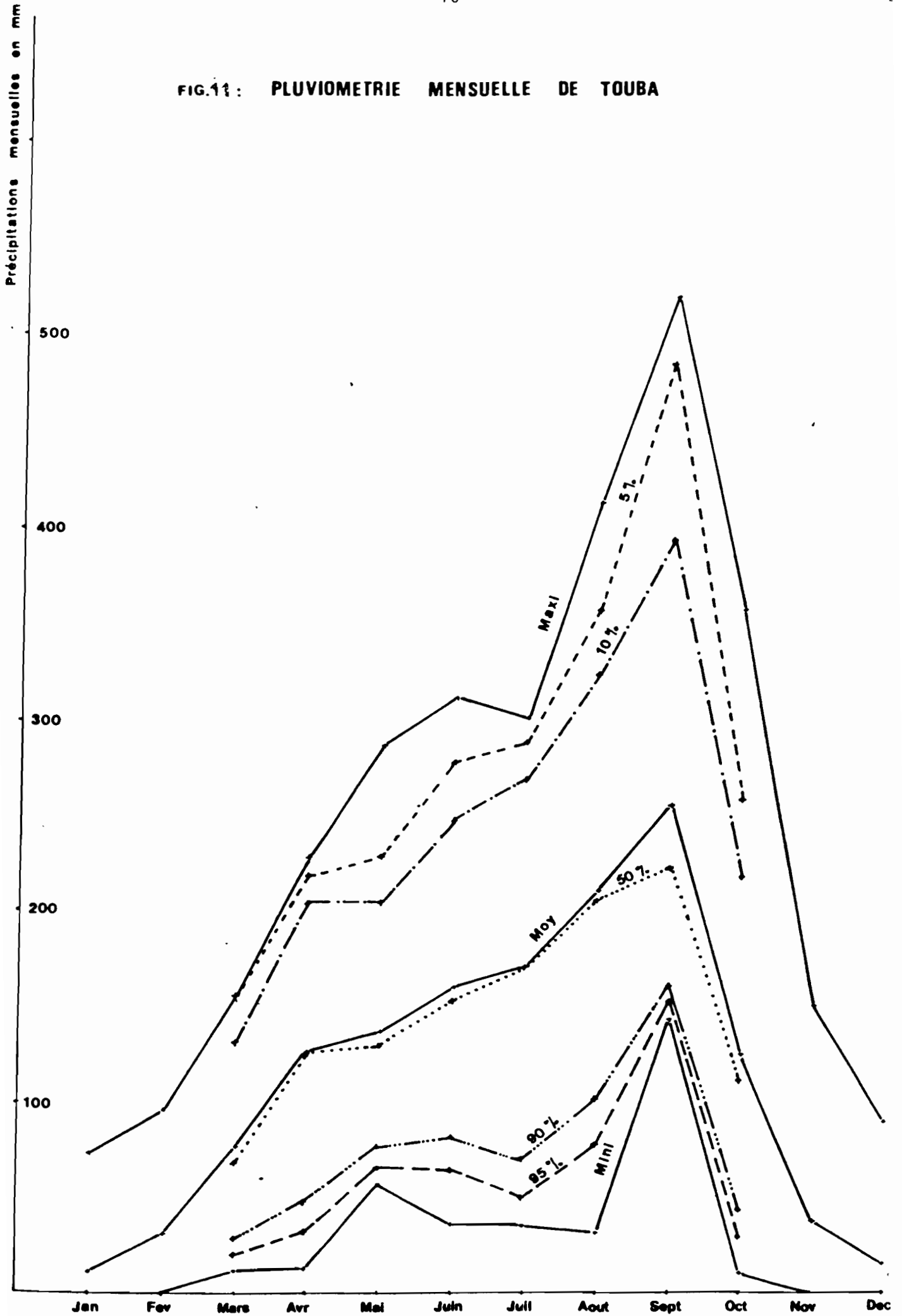
Les précipitations journalières ont été étudiées par CHEVALLIER (1987). L'ajustement statistique des pluies journalières se fait sur une loi gaussienne logarithmique tronquée pour les postes de Touba (33 années) et de Mahana un peu plus proche de Booro-Borotou (5 années entre 1979 et 1984). Les résultats de cet ajustement sont les suivants (en mm).

RECURRENCE	1/1	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100
TOUBA	74,4	109	126	144	170	191
MAHANA	75,8	116	136	158	190	217

I.2.2. : Evolution de l'indice de Précipitation Antérieure API

Nous avons essayé de suivre l'évolution de l'indice de précipitation antérieure sur le bassin de Booro-Borotou pour voir si à partir de cet indice on peut localiser les périodes sèches et humides de l'année.

FIG.11 : PLUVIOMETRIE MENSUELLE DE TOUBA



Pour chacune des averses sur le bassin, API a été calculé selon une expression de la forme (CASENAVE, 1982 ; CHEVALLIER, 1983) :

$$API_n = (API_{n-1} + P_{n-1}) e^{-\alpha ta}$$

où

API_n = Valeur de l'indice avant la pluie n

API_{n-1} = Valeur de l'indice avant la pluie n-1

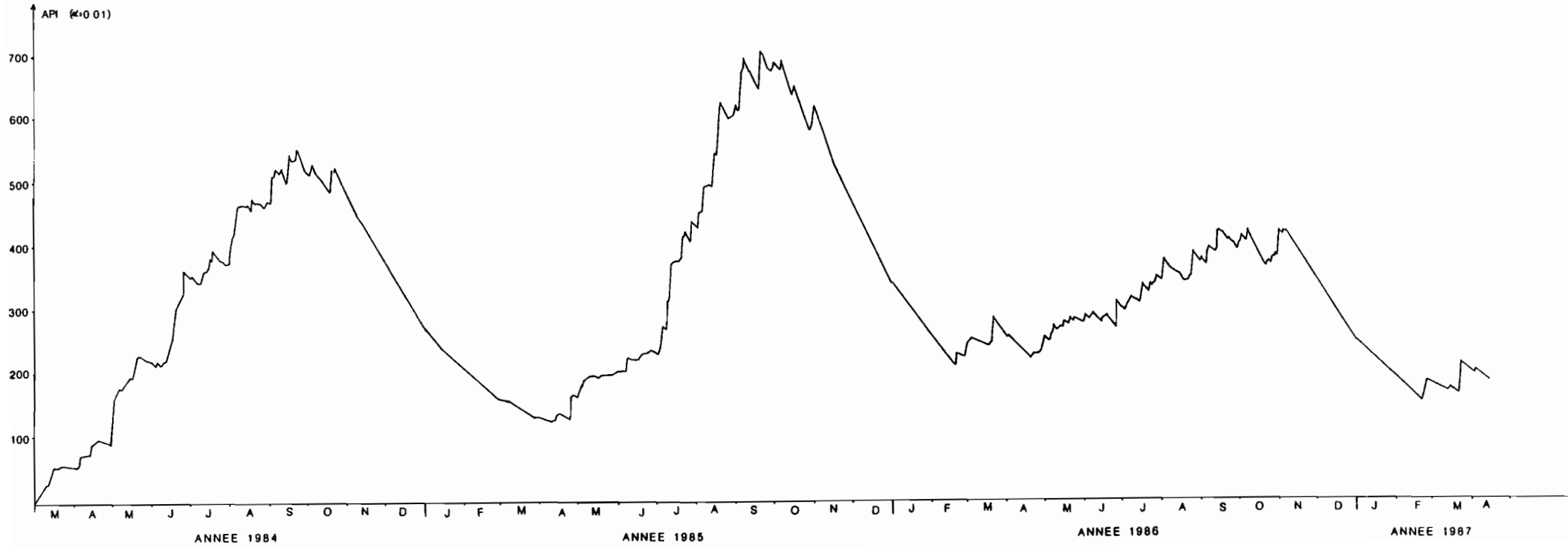
P_{n-1} = Hauteur de la pluie n-1

ta = temps en fraction de jours séparant la fin de la pluie n-1 du début de la pluie n.

α = coefficient de variation compris entre 0,01 et 1.

Au regard de l'expression mathématique de l'indice API, on voit que le coefficient de variation α est précédé du signe (-). Cela conduit à des valeurs de plus en plus grandes de API pour la même averse lorsque ce coefficient diminue. Nous avons donc choisi la valeur de α égale à 0,01 pour mieux apprécier la forme du tracé de l'évolution de l'indice au cours de la période des trois années d'observation. Nous avons noté sur ce graphique (fig. 12) une montée progressive de l'indice à partir du mois de Mai. A la fin du mois d'Octobre il y a une chute très sensible de l'indice. Nous en déduisons les dates de début et fin de saison des pluies du 1er Mai au 30 octobre et de début et fin de la saison sèche du 1er Novembre au 30 Avril.

Fig-12- Evolution de l'Indice de Précipitation Antérieure (API)



Ce choix des deux saisons est conforme avec l'étude de KOUAME (1986) sur le poste de Touba que nous avons vue dans le paragraphe précédent.

CHAPITRE II. : DONNEES PLUVIOGRAPHIQUES

La première campagne de mesures pluviographiques sur le bassin versant de Booro-Borotou a débuté le 1er Mars de l'année 1984. Les données dont nous disposons sur ce bassin pour l'étude de la forme des averses et de leur variabilité spatiale et temporelle au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire couvrent trois années hydrologiques complètes : 1984-1985, 1985-1986, 1986-1987.

Notons qu'une année hydrologique dans une région donnée est une année qui commence avec les premières pluies de la région et finit au début des pluies de l'année suivante. A Booro-Borotou on a défini (cf. ci-dessus) l'année hydrologique sur la période allant du 1er Avril d'une année au 31 Mars de l'année suivante.

II.1. : Données disponibles :

Nous avons vu précédemment que le bassin versant de Booro-Borotou comprend en fait le bassin principal avec son sous-bassin et le bassin de la Séné à Touresso. Comme nous l'avons déjà souligné au paragraphe I.1.2. du chapitre précédent, le bassin de la Séné à Touresso a été créé pour un complément d'informations sur la pluviométrie de la région. C'est donc sur le bassin principal que l'étude est axée, d'où l'importance de ses équipements pluviographiques.

II.1.1. : Données pluviographiques sur le bassin principal.

Les cinq pluviographes qui équipent ce bassin sont numérotés : P01, P11, P12, P51 et P52 (cf. fig. 7 et 8).

- P01, P11 et P12 sont des pluviographes journaliers du type Précis Mécanique à augets basculeurs dont la bague réceptrice de 400 cm² se trouve à un mètre du sol.
- P51 et P52 sont des pluviographes Oedipe à mémoire de stockage de données dont la bague de réception est aussi de 400 cm² à un mètre du sol.

Les postes P11 et P12 ont été respectivement doublés par les deux pluviographes Oedipe P51 et P52.

Les données que ces différents postes pluviographiques nous ont fournies sont les suivantes :

- P01 et
- P11 : diagrammes journaliers du 1er Mars 1984 au 30 Mai 1987.
- P12 : diagrammes journaliers du 14 avril 1984 au 30 Mai 1987.
- P51 : Cartouches à mémoires statiques du 14 Février 1986 au 30 Mai 1987.
- P52 : Cartouches à mémoires statiques du 6 Mai 1986 au 30 Mai 1987.

II.1.2. : Données pluviographiques sur le bassin de la Séné à Touresso.

Ce bassin qui englobe le bassin principal, comprend donc les cinq pluviographes de celui-ci et trois autres : P41, P43 et P44.

- P43 est un pluviographe Oedipe installé le 6 Mai 1986. Nous avons obtenu les cartouches de stockage des données depuis cette date jusqu'au 30 Mai 1987.
- P41 et P44 sont des postes pluviographiques respectivement à diagrammes hebdomadaires et longue durée à bandes déroulantes. Ils sont entrés en service tous deux le 6 Mai 1986. Nous disposons de leurs données jusqu'à la date du 30 Mai.

II.2. : Mise en forme des données.

II.2.1. : Dépouillement des relevés pluviographiques

Les relevés pluviographiques se présentent sous trois formes : diagrammes journaliers ou hebdomadaires, bandes déroulantes de longue durée et cartouches à mémoires statiques.

Les diagrammes et les bandes déroulantes sont dépouillés automatiquement à l'aide d'une table à digitaliser. Avant le pointage direct il est nécessaire de préparer manuellement les pluviogrammes en corrigeant les anomalies de fonctionnement des appareils d'enregistrement et en cochant les points sélectionnés.

L'interprétation automatique point par point des courbes se traduit par la création de fichiers de Relevés Pluviographiques Intégraux (R.P.I.) (DUBREUIL et L'HOTE, 1971).

Les cartouches à mémoires statiques des pluviographes Oedipe sont traitées directement par le logiciel "PLUVIOGR" (sous MS-DOS) du Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM. Les données de ce traitement sont aussi consignées dans les fichiers R.P.I.

II.2.2. : Traitement des R.P.I.

Plusieurs programmes existent déjà pour le traitement des relevés pluviographiques intégraux (GIRARD et CHAPERON, 1971). C'est le programme POH 126 que nous avons exploité. Ce programme se compose de sous-programmes obligatoires et de sous-programmes optionnels. Les sous-programmes obligatoires (lecture des R.P.I. et Séparation des averses) sont exécutés sans qu'il soit nécessaire d'en faire la demande alors que pour les sous-programmes optionnels il faut faire un "appel" explicite par une carte de spécification.

Avec les fichiers résultats du traitement des RPI nous avons d'une part comparé les données aux pluviographes Oedipe et Précis Mécanique classique et d'autre part procédé aux différents ajustements statistiques que nous verrons au chapitre III.

II.2.3. : Comparaison entre résultats de pluviographes Oedipe et précis Mécanique classique.

Nous avons déjà signalé que les pluviographes Précis Mécanique classique P11 et P12 ont été respectivement doublés par les pluviographes Oedipe P51 et P52 en 1986. Il était donc intéressant de tester la précision des deux types d'appareil sur leur période commune d'observation. Pour cela nous avons effectué une régression linéaire simple sur les variables suivantes : hauteur totale de pluie, hauteur maximale de pluie en 5, 10, 15 et 30 minutes pour la même averse aux postes P12 et P52. Les échantillons sur lesquels ont porté la régression ont été obtenus à partir de deux critères de séparation des averses : critère 1 (averses dans leur intégralité) et critère 2 (corps d'averses). Nous développerons ces critères dans le chapitre III.

Le tableau suivant donne les différents coefficients de corrélation et les équations des droites de cette régression.

Tableau 4 : Coefficient de corrélation et équation des droites de régression.

	CRITERE N° 1 (43 averses)		CRITERE N° 2 (44 averses)	
	coef.	EQUATIONS ET ECART-TYPE	coef.	EQUATION ET ECART-TYPE
Hauteur totale de pluie	0,997	P52 = 1,08 P12 + 0,34 (± 0,01) (± 0,22)	0,996	P52 = 1,08 P12 + 0,25 (± 0,01) (± 0,23)
Hauteur maximale en 5 mn	0,891	P52 = 0,99 P12 + 1,26 (± 0,08) (± 0,32)	0,879	P52 = 1,02 P12 + 1,22 (± 0,09) (± 0,36)
Hauteur maximale en 10 mn	0,927	P52 = 0,96 P12 + 1,34 (±0,06) (±0,43)	0,925	P52 = 0,98 P12 + 1,33 (±0,06) (±0,45)
Hauteur maximale en 15 mn	0,955	P52 = P12 + 1,14 (±0,05) (±0,44)	0,956	P52 = P12 + 1,14 (±0,06) (±0,44)
Hauteur maximale en 30 mn	0,985	P52 = 1,02 P12 + 0,95 (±0,03) (±0,35)	0,984	P52 = 1,02 P12 + 0,95 (±0,03) (±0,35)

Les valeurs entre parenthèses du tableau sont respectivement les écarts-types de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la droite de régression.

Les représentations graphiques des droites de régression et de leurs intervalles de confiance sont illustrées sur les figures 12, 13 et 14.

Fig.12.a)

Critere 1. comparaison des pluviographes
classique (P12) et Oedipe (P52)

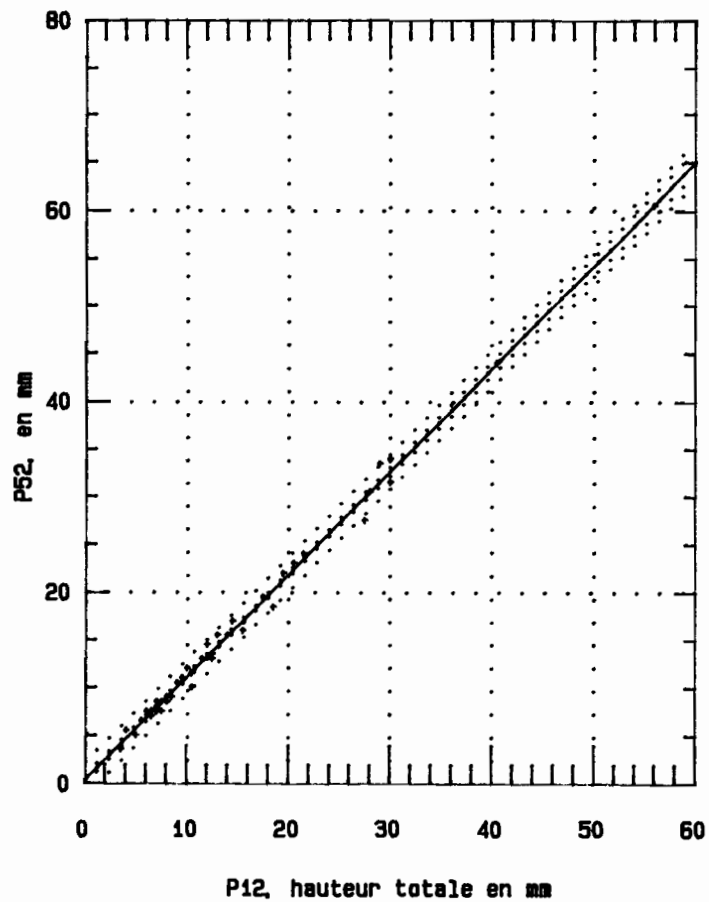


Fig.12.b)

Critere 2. comparaison des pluviographes
classique (P12) et Oedipe (P52)

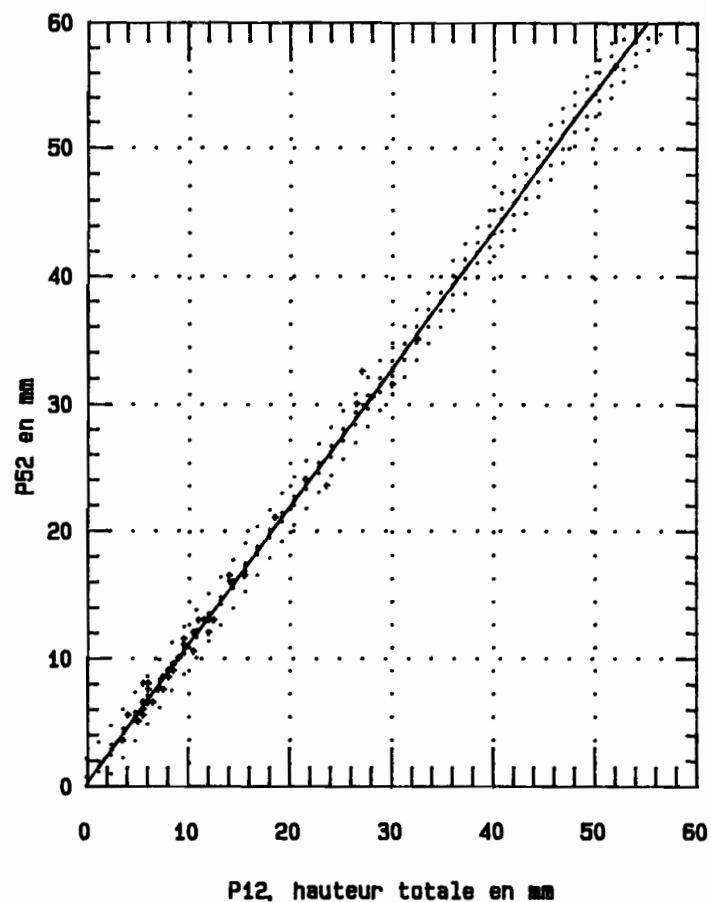


Fig.13a)

Critere 1. comparaison des pluviographes
classique (P18) et Odipe (P22)

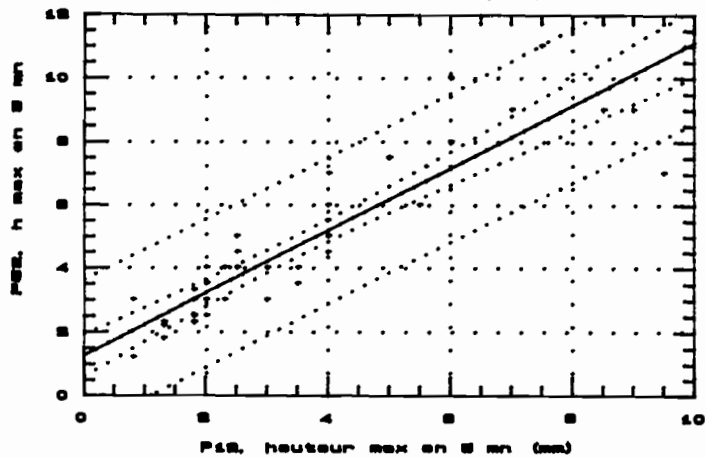


Fig.13b)

Critere 1. comparaison des pluviographes
classique (P18) et Odipe (P22)

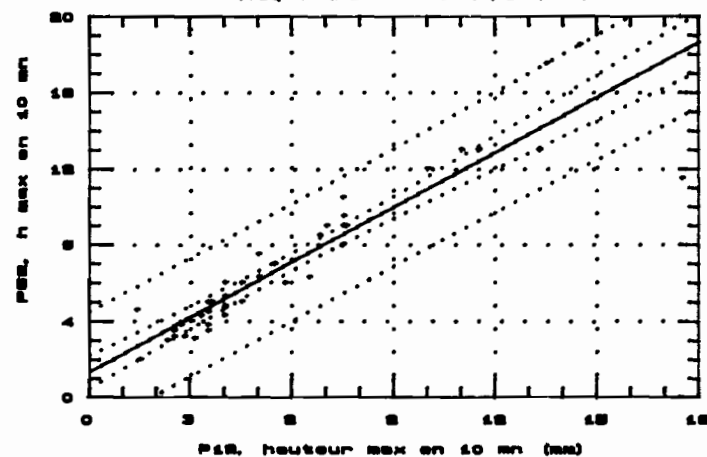


Fig.13c)

Critere 1. comparaison des pluviographes
classique (P18) et Odipe (P22)

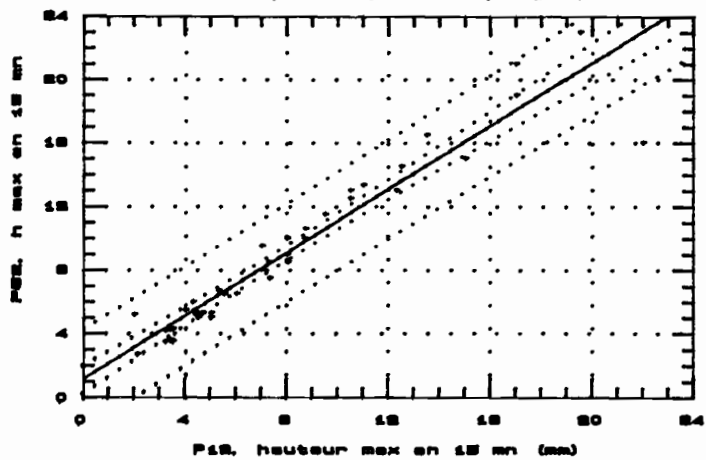


Fig.13d)

Critere 1. comparaison des pluviographes
classique (P18) et Odipe (P22)

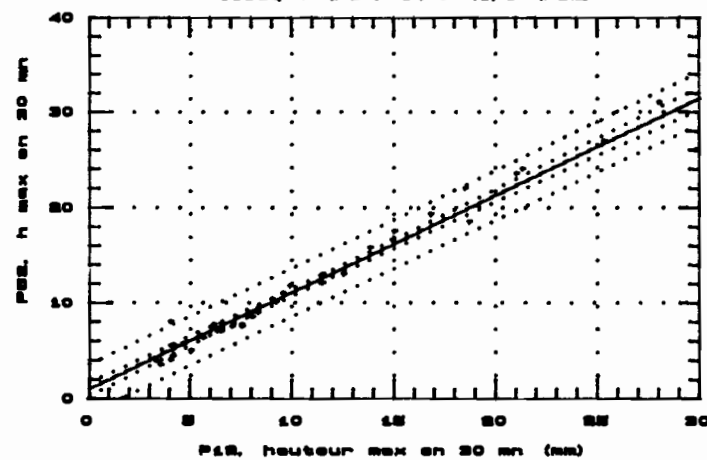


Fig.14a)

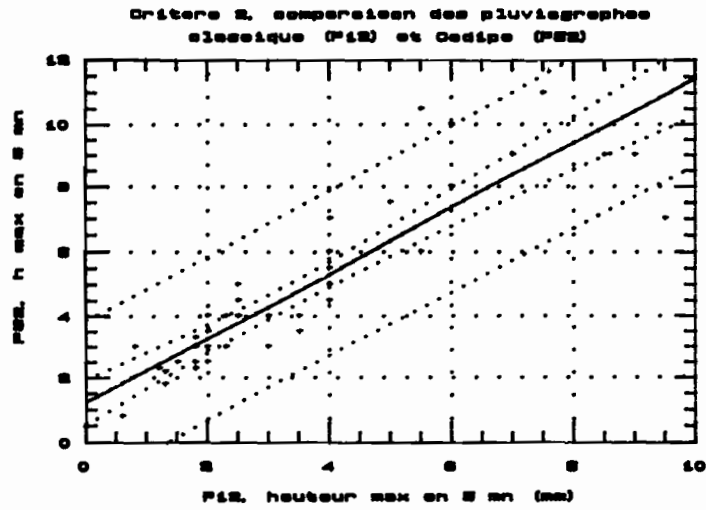


Fig.14b)

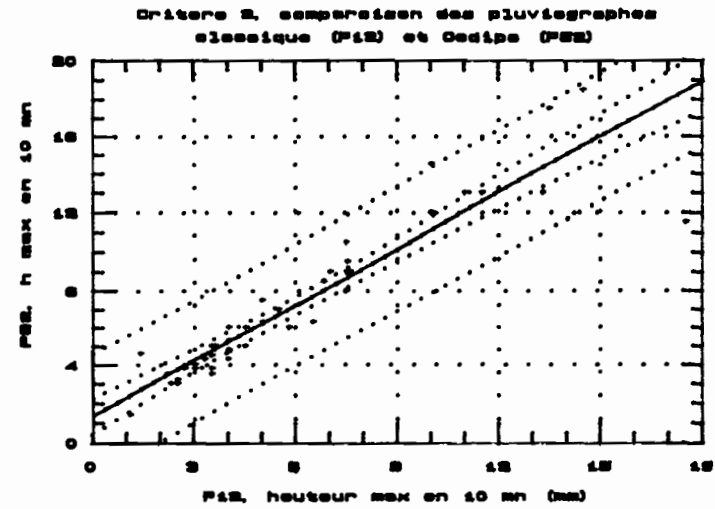


Fig.14c)

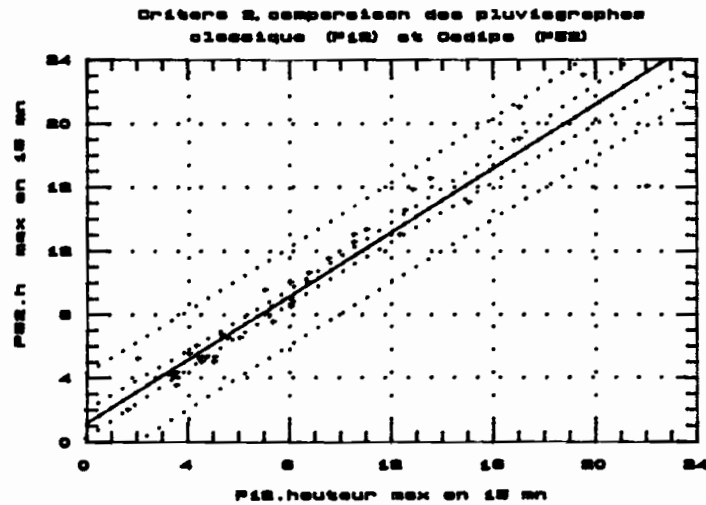
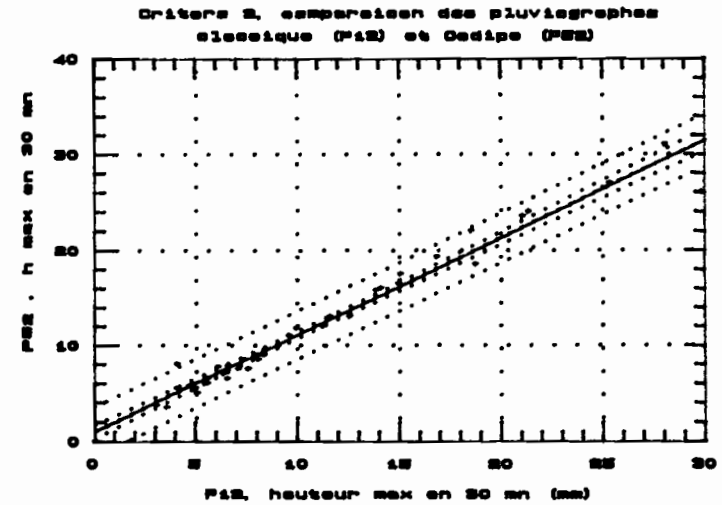


Fig.14d)



Au regard des figures et des coefficients de corrélation on peut tirer les enseignements suivants :

- les hauteurs totales de pluie enregistrées aux deux postes P12 et P52 sont sensiblement les mêmes car elles présentent une bonne corrélation (coefficients 0,997 et 0,996) et une faible dispersion des points (faible intervalle de confiance). La pente de la droite de régression de 1,08 pour la hauteur totale de l'averse paraît un peu forte. Elle devait être normalement égale à 1 puisque c'est la même quantité d'eau qui tombe sur les deux appareils placés côte à côte. Ce léger écart est certainement dû aux augets qui ne basculent pas toujours à 0,50 mm de hauteur de pluie malgré les fréquents réglages de ces augets.

- pour les hauteurs maximales en pas de temps de 5, 10, 15 et 30 minutes on remarque que le coefficient de corrélation augmente avec le pas de temps et qu'inversement l'intervalle de confiance diminue. Donc plus le pas de temps augmente, plus les deux types d'appareils sont comparables. Cela traduit le fait que les pluviographes Précis Mécanique Classique posent un problème de précision du dépouillement des diagrammes pour les faibles durées (inférieures à 10 minutes). Par contre pour les pluviographes Oedipe, les mémoires statiques de stockage de l'information permettent de résoudre ce problème de précision.

Nous donnons sur les figures 15 les exemples de dépouillement des pluviogrammes obtenus aux deux postes P12 et P52 pour l'averse du 31 octobre 1986.

Fig 15 a) FICHER : P12867 AVERSE N°: 167 DEBUT D' AVERSE LE 31/10/1986 A 16h 5' 0
P seu = 63.8 mm Page 1

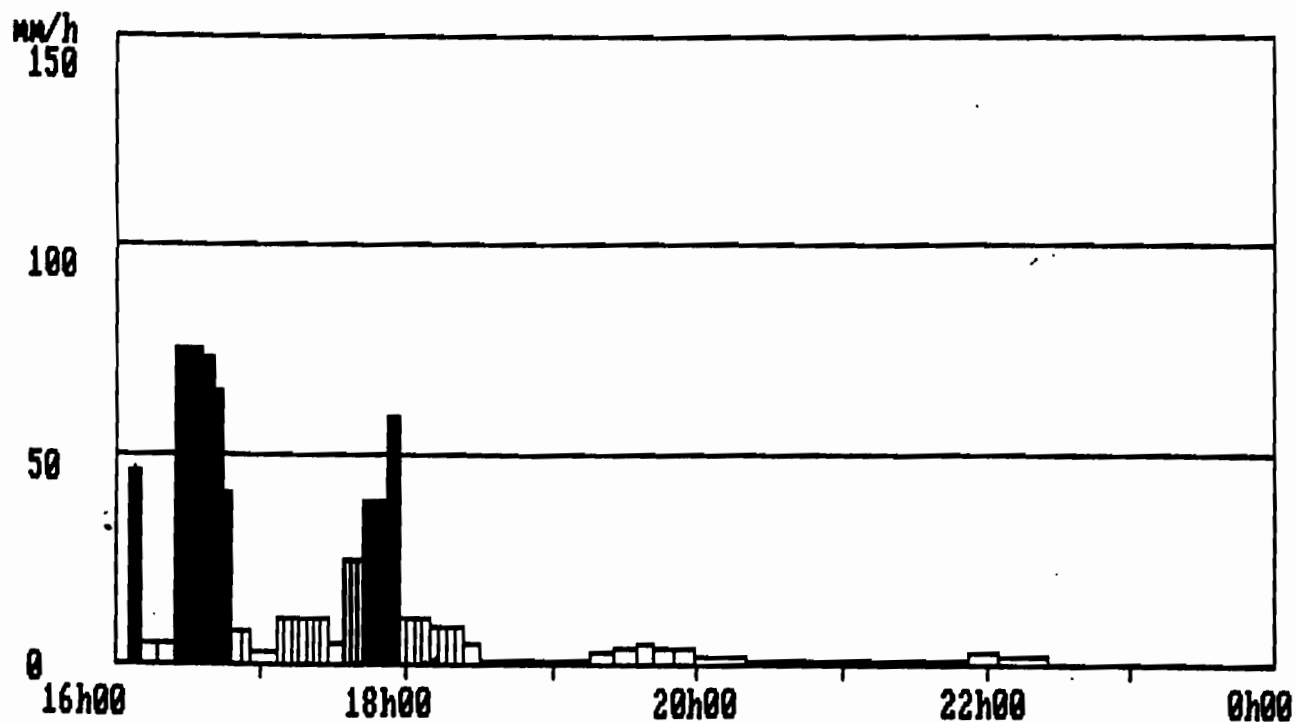
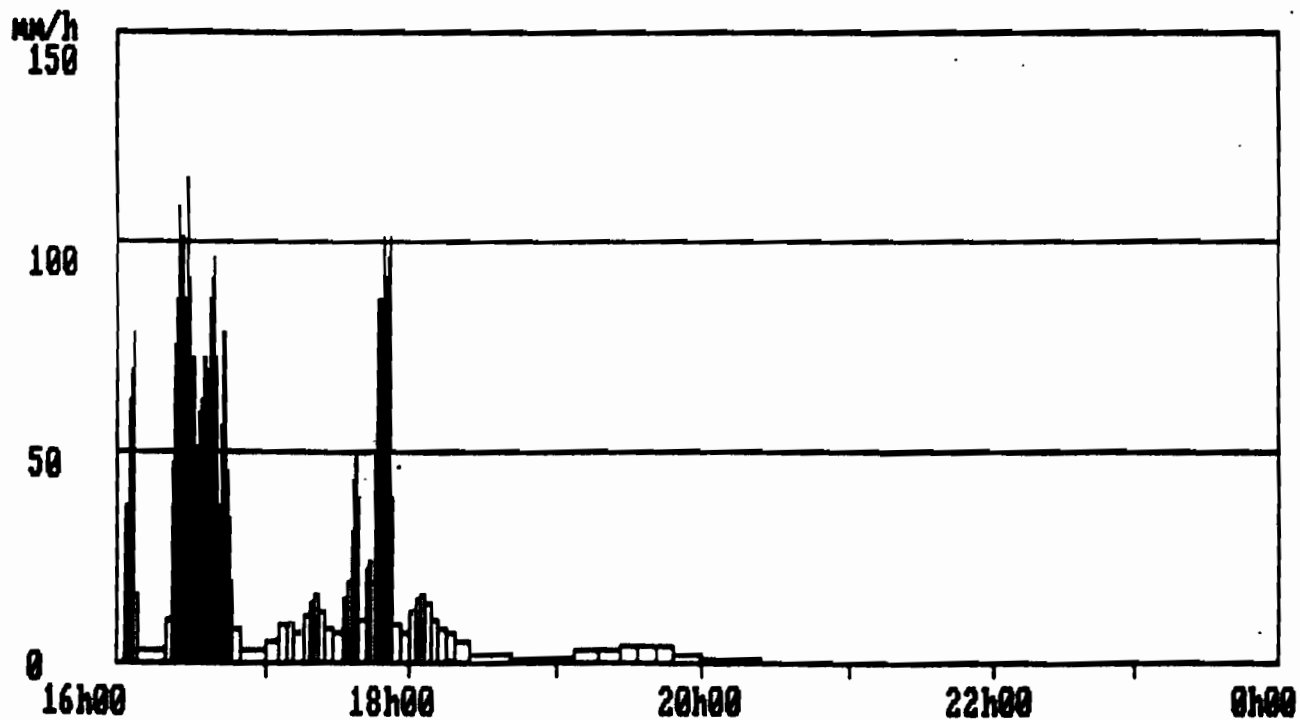


Fig 15 b) FICHER : P52E AVERSE N°: 186 DEBUT D' AVERSE LE 31/10/1986 A 16h 2' 57
P seu = 58.4 mm Page 1



On remarque qu'au niveau du pluviographe Oedipe P52 les intensités pour les durées instantanées sont bien mises en évidence. D'autres figures sont également données à l'annexe 1

II.2.4. : Conclusion

D'une manière générale nous pouvons dire que les mesures dont nous avons disposées sur le bassin versant de Booro-Borotou sont fiables. En effet ces mesures présentent de rares lacunes du fait de la permanence de lecteurs et de techniciens sur le site durant les trois années d'observation. Ainsi les moindres défaillances techniques des appareils d'enregistrement sont assez vite détectées et réparées.

Cette fiabilité des mesures est confirmée par l'étude comparative entre le pluviographe classique P12 et le pluviographe Oedipe P52. Cette comparaison nous a en effet permis de savoir qu'au delà de 10 minutes le problème de précision du dépouillement ne se pose plus et que les hauteurs de pluies observées sont sensiblement les mêmes aux deux types d'appareil.

CHAPITRE III. : VARIABILITE TEMPORELLE DES AVERSES

III.1. : Individualisation des averses.

L'individualisation des averses revêt un caractère important en ce sens que selon le critère de séparation choisi on peut faire apparaître soit la partie à forte intensité qu'on appelle le corps de l'averse, soit l'averse dans son intégralité avec sa traîne. Rappelons que la traîne est la partie de l'averse qui suit le corps et dont l'intensité est bien plus faible que celle du corps.

Cette individualisation dépend donc en partie de l'étude envisagée sur ces averses.

III.1.1. : Critères de séparation des averses

Nous avons déjà vu au paragraphe II.1.1. de la première partie que pour individualiser des averses, des critères sont nécessaires tant sur la durée qui sépare deux averses successives que sur l'intensité de la pluie pendant cette durée. On définit donc une durée d pendant laquelle l'intensité de précipitation est inférieure à une intensité minimale i_m .

Nous avons ainsi fait varier ces deux paramètres d et i_m en prenant comme couples de base les valeurs de l'étude de CAMUS et al. (1976) à Korhogo ($i_m = 5$ mm/h et $d = 30$ minutes) et de BOUVIER (1986) au Niger (2 critères : $i_m = 2$ mm/h et $d = 90$ minutes ; $i_m = 5$ mm/h et $d = 15$ minutes).

Après plusieurs essais nous sommes arrivés aux remarques suivantes :

- l'effectif de l'échantillon diminue quand la durée d augmente pour une même valeur d'intensité i_m .
- quand d diminue et i_m augmente, l'effectif de l'échantillon augmente. Les averses qu'on individualise dans ces conditions sont les parties à forte intensité qui constituent les corps d'averse .
- pour une faible intensité et une durée forte, ce sont les averses dans leur intégralité qu'on individualise.

Pour la suite de notre travail nous avons retenu deux critères différents de celui de Korhogo ($i_m = 5$ mm/h et $d = 30$ minutes) parce que nous avons voulu mettre en évidence d'une part les averses dans leur intégralité et d'autre part les corps d'averse.

- critère 1 : Individualisation des averses dans leur intégralité :

$i_m = 2$ mm/h
 $d = 60$ minutes

- critère 2 : Individualisation des corps d'averse :

$i_m = 5$ mm/h
 $d = 15$ minutes

Afin de mieux percevoir la différence entre ces deux critères, nous avons illustré par les figures 16 les hyétogrammes de l'averse du 8 juillet 1985 aux postes P01 et P12. Sur ces figures on voit que la partie préliminaire (le prologue) et la traîne de l'averse ne sont pas effectivement prises en compte par le critère 2 des corps d'averse .

III.1.2. - Différents seuils de troncature des évènements.

Ces seuils permettent de ne retenir que les averses significatives aussi bien sur leur intensité que sur leur durée. C'est pourquoi on a défini les averses par troncature des évènements trop faibles, de moins de 5 mm de hauteur totale sur un temps relativement long d'une part et de moins de 10 minutes de durée d'autre part. Au niveau des hauteurs de pluies observées en différents pas de temps (5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 et 180 minutes) on a aussi défini des seuils en-dessous desquels l'averse n'est pas prise en compte. Pour le choix de ces différents seuils nous nous sommes rapportés à l'étude de CAMUS et al. (1976) sur le bassin versant de Korhogo. Les seuils que nous avons adoptés pour les différents pas de temps sont :

Durée (mn)	5	10	15	30	45	60	90	120	180
Hauteur (mm)	3	4	5	7	9	11	14	16	19

Fig-16a- Hyétoqramme de l'averse du 8-7-85 au P01

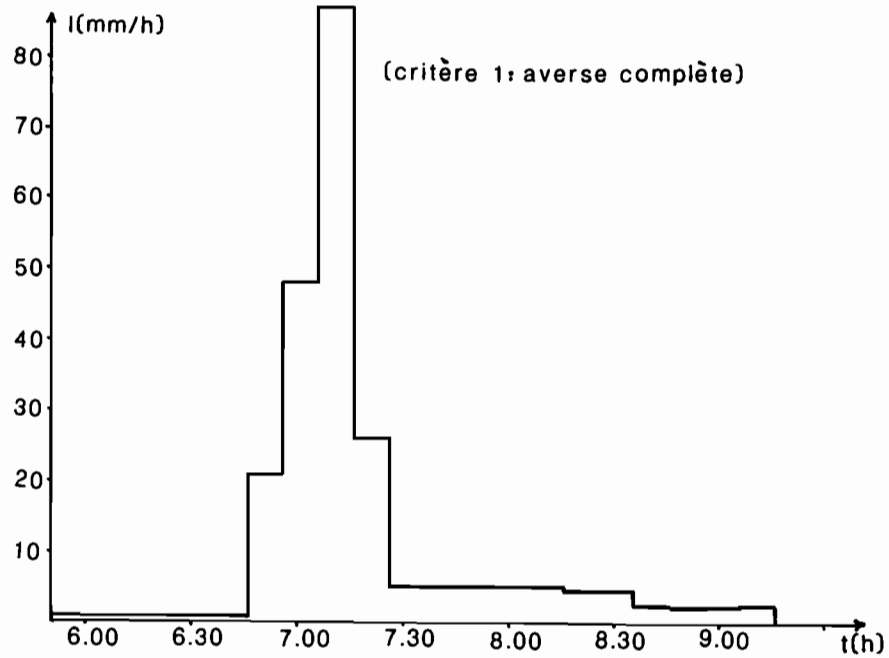


Fig-16c- Hyétoqramme de l'averse du 8-7-85 au P12

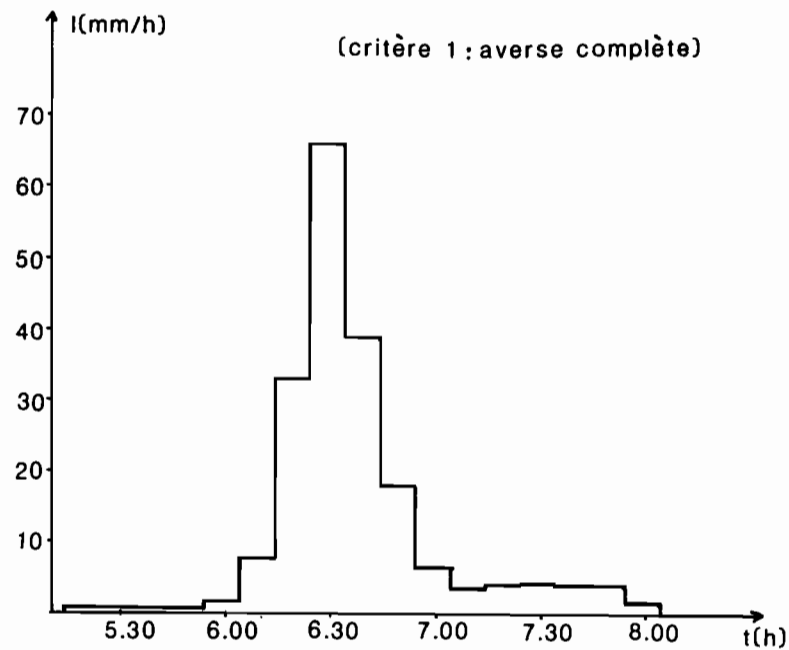


Fig-16b- Hyétoqramme de l'averse du 8-7-85 au P01

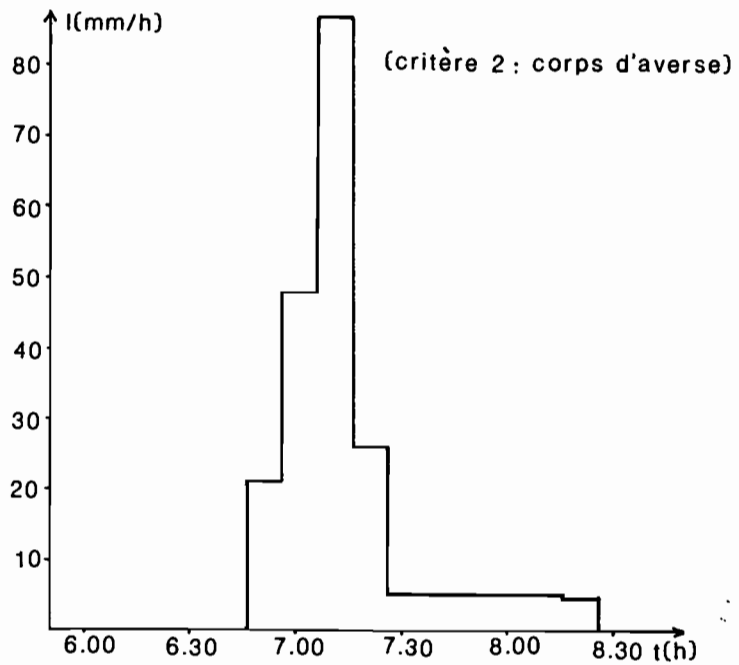
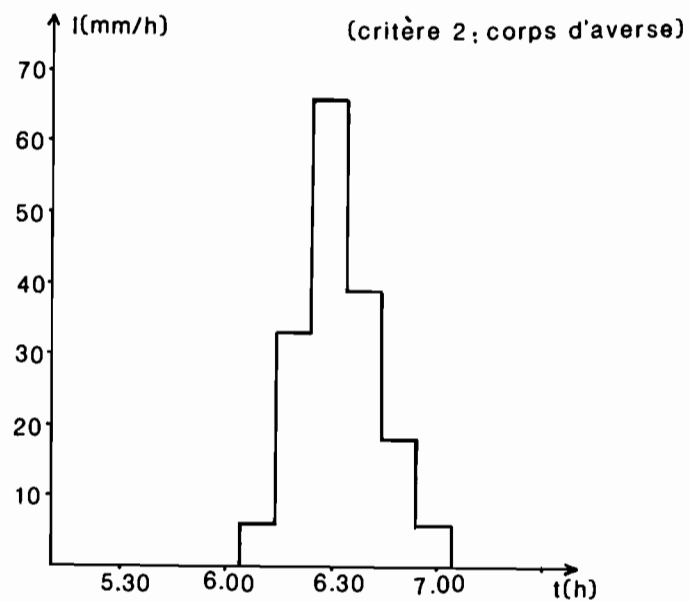


Fig-16d- Hyétoqramme de l'averse du 8-7-85 au P12



On remarque sur ce tableau que, pour les durées de 5 et 10 minutes, nous avons retenu les hauteurs de 3 et 4 mm, car à ce niveau du choix nous avons plutôt pensé à la taille de notre échantillon (le nombre total d'averses) qui aurait été réduite si nos seuils avaient été assez élevés. Rappelons que nos données portent seulement sur trois années d'observations.

III.2. : Caractéristiques des averses

III.2.1. : Distribution journalière des averses

Selon le critère d'individualisation des averses, le total de la précipitation journalière peut se répartir en une ou plusieurs averses.

Avec nos deux critères de séparation des averses, critère 1 (averses complètes) et critère 2 (corps d'averses), nous avons effectué à deux postes pluviographiques arbitraires du bassin principal P01 et P12 l'étude de la fréquence d'apparition des averses au cours de la journée.

Les tableaux 5 suivants présentent le décompte du nombre d'averses observées sur une période de 24 h par tranches de pluie journalière.

a) - au P01, critère 1

Pluie journalière (mm) \ Nombre d'averses en 24 h.	1	2	3 et plus	Total
3 à 10	63 (100)	0 (0)	0 (0)	63
10 à 20	48 (94,1)	2 (3,9)	1 (2)	51
20 à 30	23 (88,5)	3 (11,5)	0 (0)	26
30 à 40	12 (70,6)	3 (17,6)	2 (11,8)	17
40 à 50	6 (75)	2 (25)	0 (0)	8
50 à 60	2 (50)	1 (25)	1 (25)	4
60 à 70	1 (100)	0 (0)	0 (0)	1
TOTAL	155 (91,2)	11 (6,5)	4 (2,3)	170

b) - au P01, critère 2

Pluie journalière (mm)	Nombre d'averses en 24 h.			total
	1	2	3 et plus	
3 à 10	69 (100)	0 (0)	0 (0)	69
10 à 20	43 (84,3)	8 (15,7)	0 (0)	51
20 à 30	19 (76)	5 (20)	1 (4)	25
30 à 40	7 (63,6)	3 (27,3)	1 (9,1)	11
40 à 50	4 (50)	3 (37,5)	1 (12,5)	8
50 à 60	0 (0)	1 (100)	0 (0)	1
Total	142 (86,1)	20 (12,1)	3 (1,8)	165

c) - au P12, critère 1

Pluies journalière (mm)	Nombre d'averses en 24 h.			total
	1	2	3 et plus	
3 à 10	64 (100)	0 (0)	0 (0)	64
10 à 20	42 (89,4)	5 (10,6)	0 (0)	47
20 à 30	24 (82,8)	5 (17,2)	0 (0)	29
30 à 40	6 (85,7)	1 (14,3)	0 (0)	7
40 à 50	5 (83,3)	0 (0)	1 (16,7)	6
50 à 60	4 (100)	0 (0)	0 (0)	4
60 à 70	0 (0)	0 (0)	1 (100)	1
70 à 80	1 (50)	0 (0)	1 (50)	2
TOTAL	146 (91,2)	11 (6,9)	3 (1,9)	160

d) - au P12, critère 2 :

Pluie journalière (mm) \ Nombre d'averses en 24 heures	1	2	3 et plus	total
3 à 10	64 (100)	0 (0)	0 (0)	64
10 à 20	39 (79,6)	10 (20,4)	0 (0)	49
20 à 30	15 (75)	5 (25)	0 (0)	20
30 à 40	3 (50)	2 (33,3)	1 (16,7)	6
40 à 50	5 (100)	0 (0)	0 (0)	5
50 à 60	1 (50)	0 (0)	1 (50)	2
60 à 70	1 (50)	1 (50)	0 (0)	2
TOTAL :	128 (86,5)	18 (12,2)	2 (1,3)	148

Dans les tableaux ci-dessus, les valeurs entre parenthèses représentent les pourcentages d'occurrence des averses dans chaque tranche de pluie journalière.

La première remarque que nous pouvons faire se situe au niveau du nombre de jours de pluie qui diminue avec le critère 2 pour chaque poste. On peut expliquer ce phénomène par le fait que ce critère 2 ne prend pas en compte certaines petites averses (hauteurs faibles ou durées faibles). En effet, avec ce critère des corps d'averses, les averses faibles qui sont considérées par le critère 1 se retrouvent diminuées en durée et en hauteur,

et par conséquent elles n'arrivent plus à respecter les seuils de troncature des évènements fixés au départ (hauteur d'averse supérieure ou égale à 5 mm et durée supérieure ou égale à 10 minutes).

Avec ces différents tableaux de décompte des averses on ne peut tirer aucune conclusion satisfaisante. Seulement on peut faire les remarques suivantes :

- au niveau du critère 1 les averses se répartissent ainsi :

* 91,2 % de chance d'avoir une seule averse, 6,5 % d'avoir deux averses et 2,3 % de dépasser deux averses par jour au P01.

* au P12 : 91,2 % d'occurrence d'avoir une seule averse, 6,9 % pour deux averses et 1,9 % d'avoir trois et plus par jour.

- pour le critère 2, on a successivement :

* au P01 : 86,1 % pour une seule averse, 12,1 % pour deux averses et 1,8 % pour plus de deux averses.

* au P12 : 86,5 % pour une seule averse, 12,2 % pour deux averses et 1,3 % pour trois et plus.

D'après ces différents pourcentages, on note que les résultats sont identiques sur les deux postes.

A partir de la moyenne des évènements par tranches de pluie journalière aux deux postes, nous avons établi les pourcentages d'occurrence d'une ou plusieurs averses par jour (tableau 6 et figures 17).

Tableau 6 : Pourcentage d'occurrence d'une ou plusieurs averses (moyenne P01-P12).

a) - Critère 1

Pluie journalière (mm) \ Nombre d'averses en 24 h.	1	2 et plus
3 à 10	100	0
10 à 20	92	8
20 à 30	85	15
30 à 40	75	25
40 à 50	79	21
> 50	67	33
TOTAL	91	9

b) - Critère 2

Pluie journalière (mm) \ Nombre d'averses en 24 h.	1	2 et plus
3 à 10	100	0
10 à 20	82	18
20 à 30	76	24
30 à 40	59	41
40 à 50	69	31
> 50	40	60
TOTAL	86	14

Fig-17a- Pourcentage d'occurrence ,critère 1

(moyenne P01-P12)

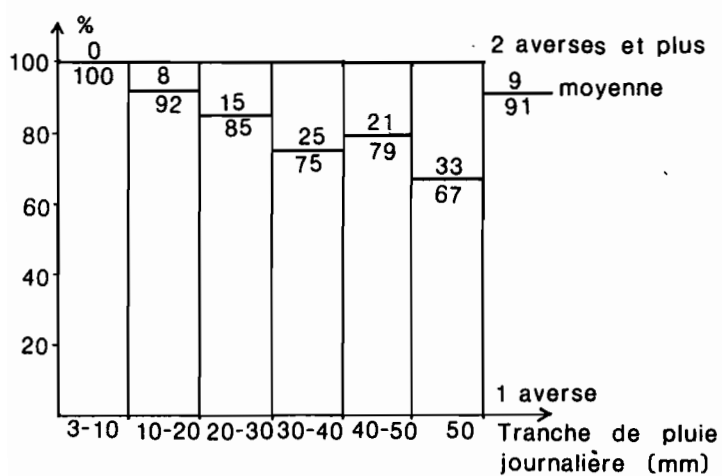
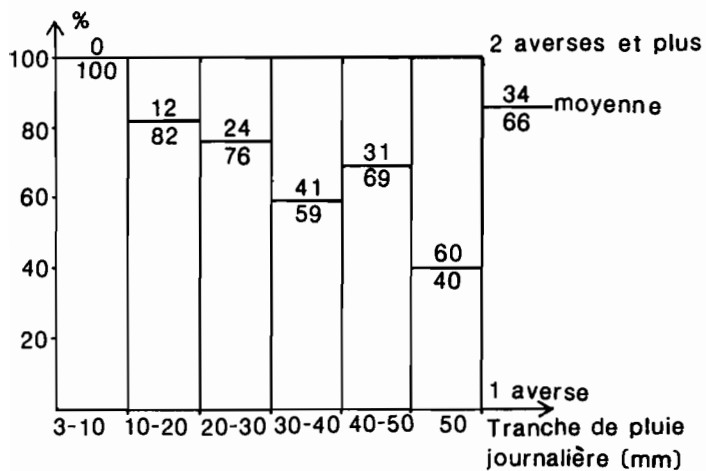


Fig-17b- Pourcentage d'occurrence , critère 2

(moyenne P01-P12)



Pour le critère 1, on voit que sur les deux postes la probabilité d'avoir une seule averse par jour est de 91 % et celle d'avoir deux averses et plus par jour de 9 %. Avec le critère 2, le pourcentage d'occurrence d'une seule averse est de 86 et celui de deux averses et plus par jour de 14.

Avec le critère 2 la probabilité d'avoir deux averses et plus par jour est plus grande (14%) qu'avec le critère 1 (9 %). En effet avec le critère 2 qui permet de séparer corps et traîne d'averse, un long évènement pluvieux au cours d'une journée peut se subdiviser en plusieurs corps. Cela se justifie par le fait que la durée pour laquelle, si les intensités successives n'ont pas excédé la valeur i_m : 5 mm/h, l'averse antérieure est considérée comme indépendante de l'averse future est faible (15 minutes).

III.2.2. : Relations entre paramètres caractéristiques des averses.

Nous avons effectué une régression linéaire simple sur les variables suivantes :

- durée de l'averse-hauteur totale de l'averse (averses dans leur intégralité).
- durée du corps d'averse-hauteur du corps d'averse,
- hauteur totale de l'averse-hauteur du corps d'averse,
- hauteur du corps d'averse-intensité maximale de l'averse.

Les résultats de ces différentes régressions linéaires sont résumées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Résultats des régressions linéaires sur des paramètres caractéristiques des averse.

VARIABLES CORRELEES	COEFFICIENT DE CORRELATION	EQUATION DE LA DROITE DE REGRESSION
durée totale de l'averse d (mn) – hauteur totale de l'averse h (mm)	0,64 0,65	$d_{01} = 4,24h_{01} + 17,1$ $d_{12} = 4,08 H_{12} + 24,4$
durée du corps d'averse dc – hauteur du corps d'averse hc	0,63 0,65	$d_{c01} = 1,83hc_{01} + 14,1$ $d_{c12} = 2,29hc_{12} + 12$
hauteur totale de l'averse h – hauteur du corps d'averse hc	0,97 0,97	$h_{c01} = 0,88 h_{01} - 0,09$ $h_{c12} = 0,90h_{12} - 0,25$
hauteur du corps d'averse hc – intensité maximale de l'averse im	0,73 0,67	$h_{c01} = 0,31 im_{01} + 1,2$ $h_{c12} = 0,33 im_{12} + 1,8$

Les indices 01 et 12 représentent respectivement les postes pluviographiques P01 et P12.

Ce tableau nous montre que c'est au niveau de la hauteur totale de l'averse et de la hauteur du corps d'averse que la corrélation semble satisfaisante (coefficient de corrélation : 0,97) dans cette série de régressions linéaires simples.

Cette bonne corrélation entre la hauteur totale et la hauteur du corps de l'averse peut se justifier par le fait que dans un cas c'est l'averse entière qui est prise en compte et dans l'autre les tranches de la même averse dont l'intensité est supérieure à 5 mm/h pendant 15 minutes ou moins.

Pour les autres paramètres, on s'aperçoit que les coefficients de corrélation sont faibles. On peut donc dire que les relations entre la hauteur et la durée d'une part, la hauteur et l'intensité maximale de l'averse d'autre part ne sont pas faciles à définir à cause du comportement parfois complexe de la pluie dans le temps.

III.3. : Etude statistique aux Postes P01 et P12.

III.3.1. : Généralités :

Cette étude statistique a porté, pour les trois années d'observations aux postes P01 et P12, sur les échantillons suivants en considérant toujours nos deux critères de séparation des averses :

- la durée depuis l'averse précédente,
- la durée totale de l'averse,
- la hauteur totale de l'averse,
- la hauteur maximale en différentes durées.

Les lois statistiques que nous avons testées sur ces différents échantillons sont :

- la distribution de GAUSS dite loi Normale,
- la distribution de GUMBEL par la méthode du maximum de vraisemblance,
- la distribution de GUMBEL par la méthode des moments,
- la distribution de GALTON ou loi Log-Normale,
- la distribution de PEARSON III ou loi GAMMA incomplète,
- la distribution Log-GAMMA de 1ère espèce.

Nous venons de voir ainsi que beaucoup de lois statistiques peuvent être appliquées à un échantillon donné. Comme pour cet échantillon toutes ces distributions ne conduisent forcément pas à de bons résultats, il est donc important de pouvoir sélectionner les lois qui donnent des informations satisfaisantes.

Pour arriver à cette sélection deux valeurs de test sont calculées dans les ajustements utilisés : le test de BRUNET-MORET et le test du CHI2 (χ^2). Rappelons quelques caractéristiques de ces deux tests :

- le test du CHI2 est facilement applicable sur un échantillon de taille assez grande. Ce test a le défaut de ne renseigner que sur la probabilité qu'a la loi choisie de représenter la distribution de l'échantillon observé dans sa zone de forte densité de probabilité (BRUNET-MORET, 1978).

- le test de BRUNET-MORET est utilisable pour de petits échantillons de taille comprise entre 8 et 200. Il est non paramétrique, c'est à dire que sa signification est indépendante de la formulation mathématique de la loi de distribution.

Nos échantillons étant de taille moyenne inférieure à 200 c'est le test de BRUNET-MORET que nous avons choisi. On fait une comparaison des différentes valeurs du test obtenues pour chaque ajustement et c'est la loi présentant la plus faible valeur qui est considérée comme le meilleur ajustement. Dans ce cas on peut dire que c'est cette fonction de répartition qui semble représenter le mieux l'échantillon analysé.

On peut voir sur le tableau ci-dessous un exemple de valeurs de test sur l'ajustement concernant la hauteur totale de l'averse au poste P12 (critère 1) sur un échantillon de 177 hauteurs d'averses.

TEST	DISTRIBUTION					
	GAUSS	GUMBEL VRAISEM- BLANCE.	GUMBEL MOMENT	GALTON	PEARSON III	LOG-GAMMA
BRUNET-MORET	157,7	69,5	79,4	<u>4,8</u>	14,2	14,3
CHI2	132,8	48,0	84,1	10,1	14,5	11,7

Nous avons retenu pour cet ajustement la loi de Galton car comme le montre le tableau c'est cette distribution qui donne la valeur la plus faible (4,8) au test de BRUNET-MORET.

III.3.2. : Ajustement sur la durée depuis l'averse précédente.

Cette étude de la durée séparant deux averses consécutives a été seulement effectuée sur la période de la saison des pluies déterminée à partir des indices de précipitation antérieure API dans le paragraphe I.2.2. de la deuxième partie (du 1er Mai au 31 Octobre). Nous avons éliminé la période de la saison sèche car celle-ci présente de fortes valeurs dans les mois très secs.

Les tailles de nos échantillons pour les deux critères sont :

- **critère 1** : P01 : 155
P12 : 153

Critère 2 : P01 : 158
P12 : 149

Les tableaux 8 présentent les valeurs des durées séparant les averses en saison des pluies pour la loi de GALTON retenue à partir du test de BRUNET-MORET.

Tableau 8 : Valeur des durées depuis l'averse précédente (en minutes) pour des fréquences au non dépassement : loi de GALTON.

a) - Critère 1

PROBABILITE AU NON DEPASSEMENT							
POSTE	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
P01	324 (5h24')	732 (12h12')	1405 (23h 25')	3532 (2j10h52')	7578 (5j 6h 18')	10986 (7j15h 6')	14805 (10j6h45')
P12	338 (5h38')	724 (12h 4')	1369 (22h 49')	3458 (2j 9h 38')	7551 (5j 5h 51')	11074 (7j 16h34')	15079 (10j11h19')

b) - Critère 2

PROBABILITE AU NON DEPASSEMENT							
POSTE	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
P01	128 (2h 8')	508 (8h 28')	1155 (19h 15')	3306 (2j 7h 6')	7668 (5j 7h 48')	11516 (7j 23h 56')	15961 (11j2h1')
P12	167 (2h 47')	505 (8h 25')	1103 (18 h 23')	3239 (2j5h 59')	7964 (5j12h44')	12400 (8j14h40')	17738 (12j7h38')

Pour les mêmes échantillons aux deux postes, on remarque que les durées depuis l'averse précédente ont pratiquement les mêmes fréquences.

Les figures 18 donnent les représentations graphiques des ajustements présentant des valeurs de test acceptables.

III.3.3. : Ajustement sur la durée totale de l'averse.

Nos deux critères retenus pour la séparation des averses nous ont donné les échantillons suivants sur les trois années d'observation (Avril 1984 - Avril 1987).

- CRITERE 1 (averses complètes) : P01 : 189 averses
P12 : 177 averses
- CRITERE 2 (corps d'averses) : P01 : 193 averses
P12 : 172 averses

Le tableau 9 ci-dessous fournit les valeurs de la durée totale de l'averse pour des fréquences remarquables aux distributions donnant les meilleurs ajustements.

Tableau 9 : Valeur de la durée totale de l'averse (en minute) pour des fréquences remarquables.

a) - Critère 1

		PROBABILITE AU NON DEPASSEMENT						
POSTE	LOIS	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
P01	PEARSON III	11	15	25	63	135 (2h15')	189 (3h9')	243 (4h3')
P12	GALTON	12	17	25	57	133 (2h13')	206 (3h26')	297 (4h57')

Fig.18a)

DUREE DEPUIS AV. PREC. (S.P.)
au P01 critère 1

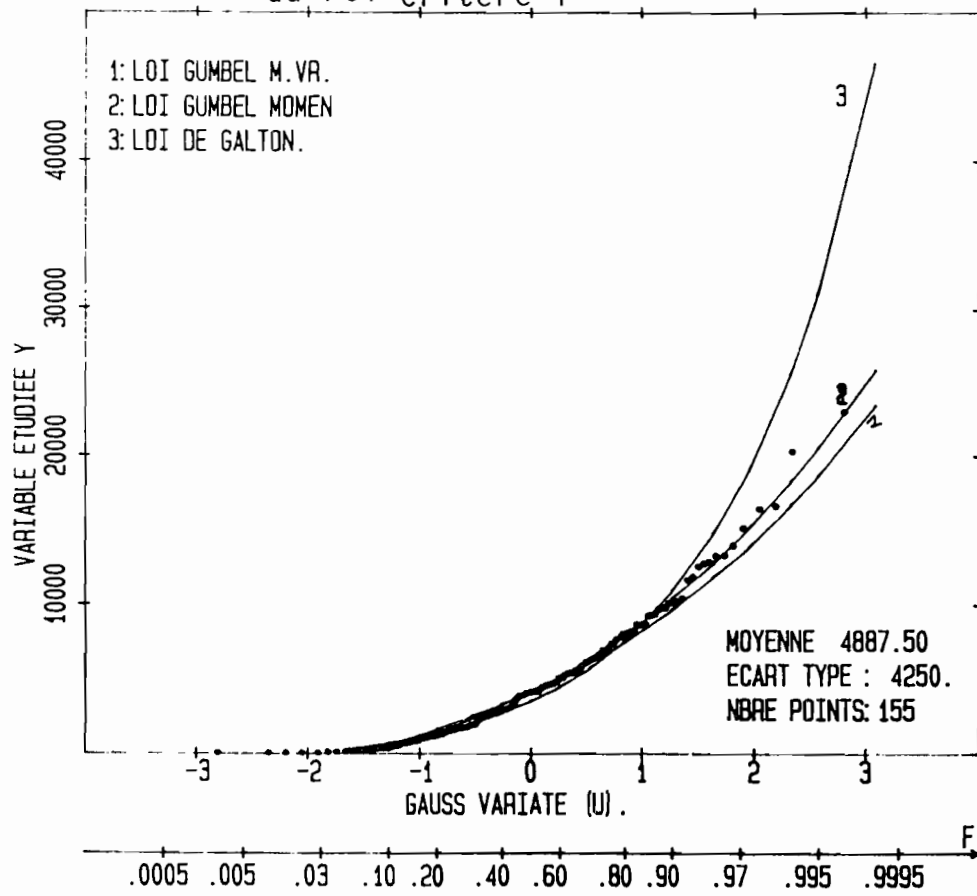


Fig.18b)

DUREE DEPUIS AV. PREC. (S.P.)
au P12, critère 1

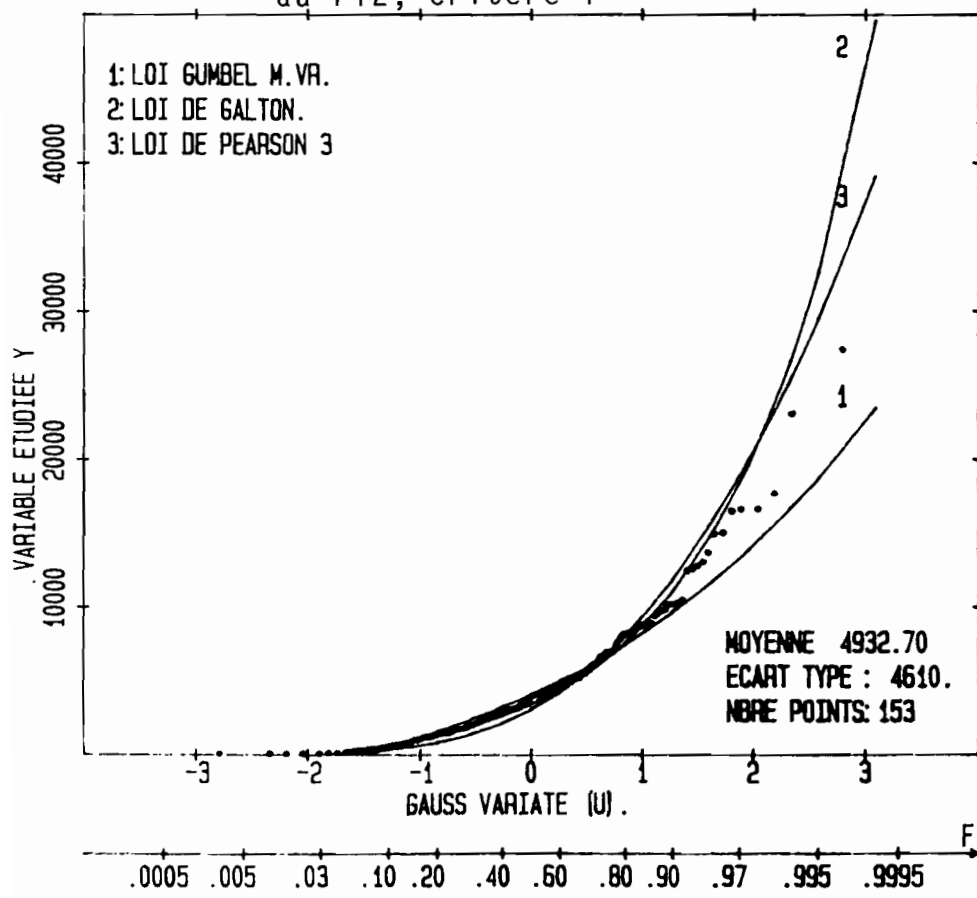


Fig.18c)

DUREE DEPUIS AV. PREC. (S.P.)
au P01, critère 2

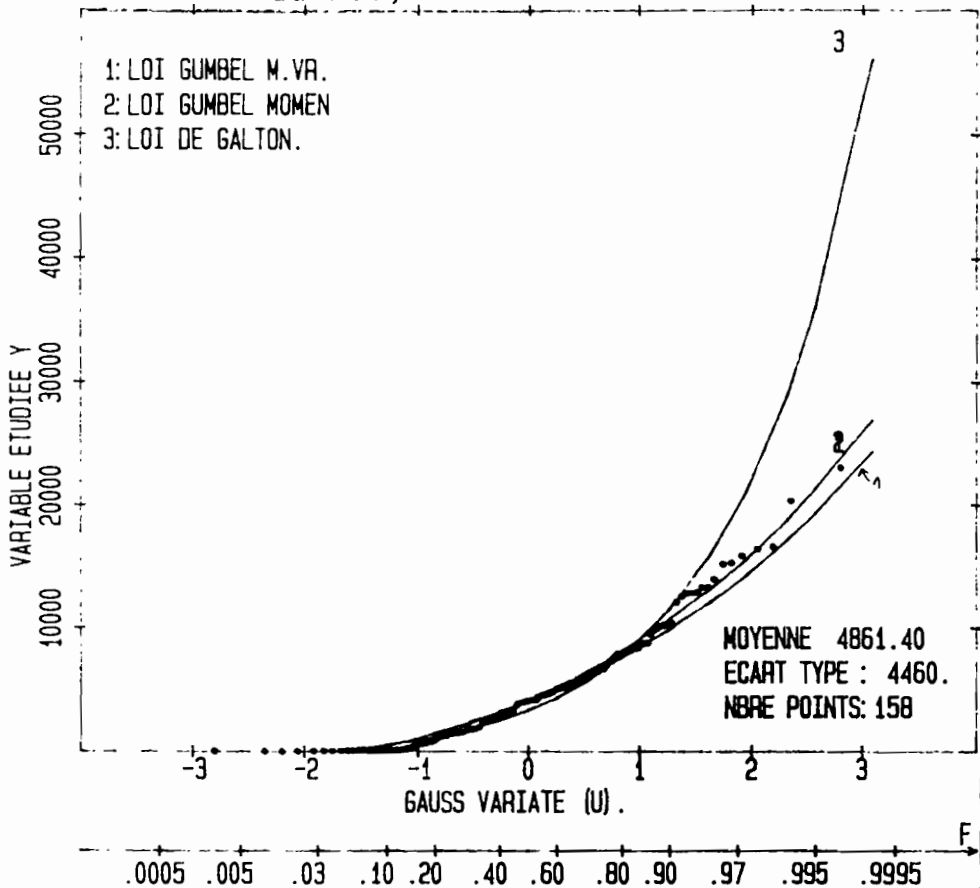
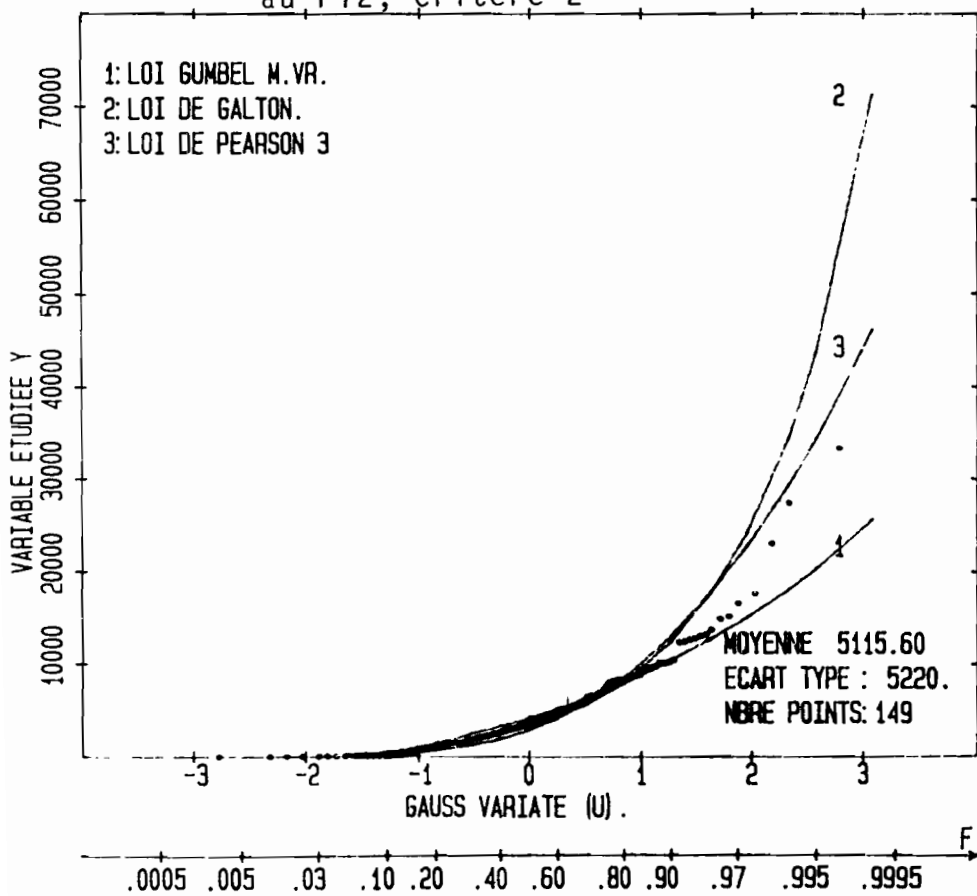


Fig.18d)

DUREE DEPUIS AV. PREC. (S.P.)
au P12, critère 2



b) - Critère 2

		PROBABILITE AU NON DEPASSEMENT						
POSTE	LOIS	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
P01	GALTON	12	14	18	31	54	73 (1h 13')	93 (1h 33')
P12	LOG.GAMMA	10	13	18	32	61	85 (1h 25')	113 (1h 53')

En considérant les échantillons du critère 1, ce sont les lois de GALTON et de PEARSON III qui s'ajustent le mieux. Au niveau du critère 2, les distributions de GALTON et de LOG GAMMA ont été retenues.

Pour les faibles et moyennes probabilités, la valeur de la durée totale de l'averse est pratiquement la même pour le même critère aux deux postes. Cette observation nous permet de dire que sur le bassin versant principal de Booro Borotou les épisodes pluvieux ont sensiblement les mêmes durées.

Les représentations graphiques des figures 19 illustrent bien le choix des ajustements du tableau précédent.

Sur le tableau 10, on peut retrouver les différents paramètres des lois qui ont été retenues.

Fig.19a)
DUREE TOTALE AVERSE
au P01, critère 1

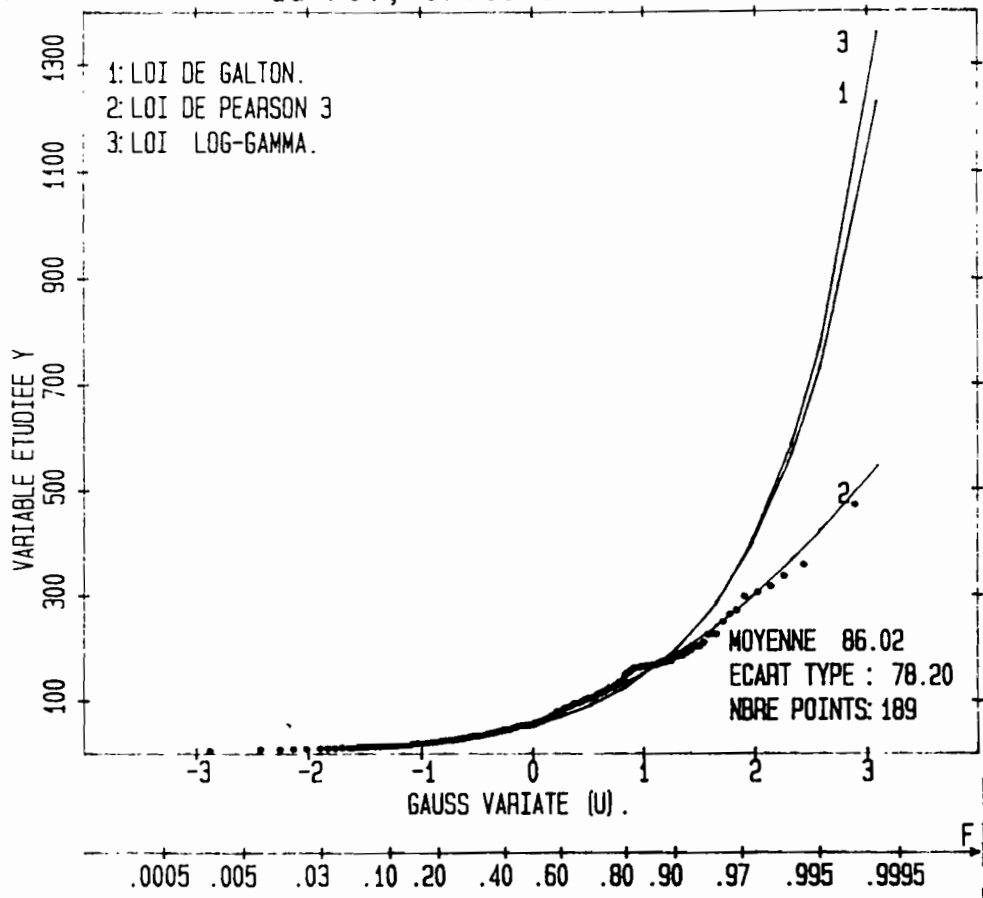


Fig.19b)
DUREE TOTALE AVERSE
au P01, critère 2

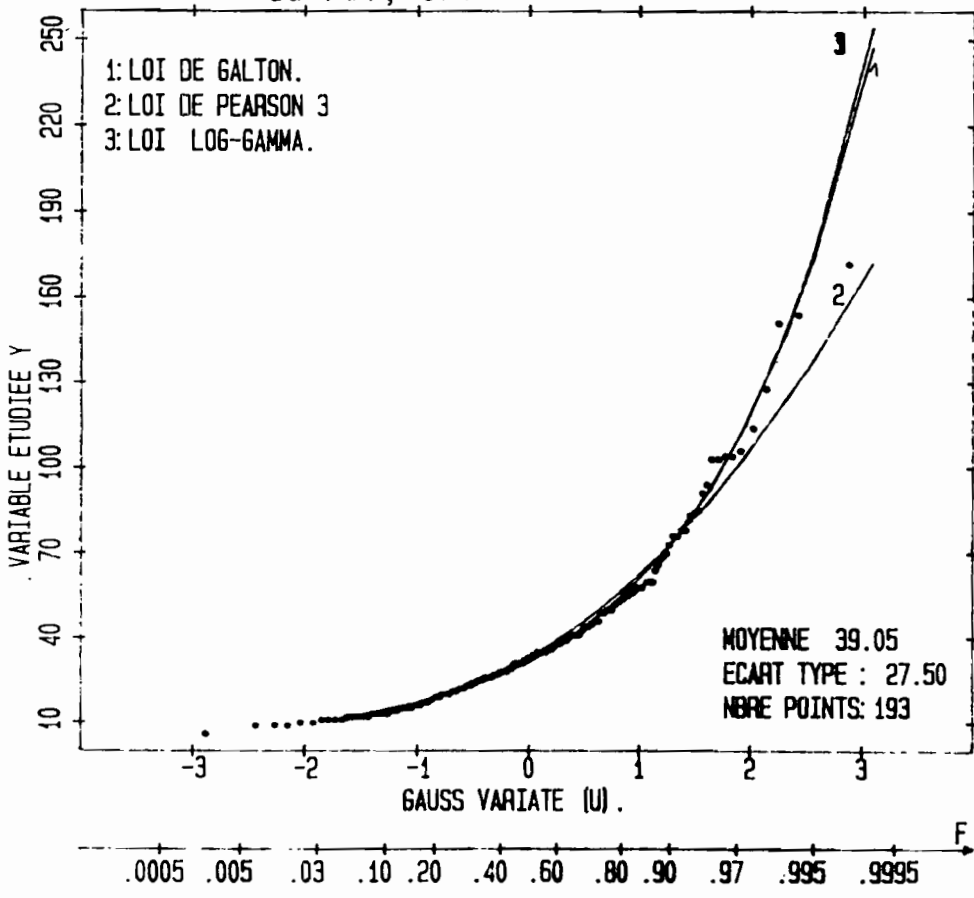


Fig.19c) - 78 -

DUREE TOTALE AVERSE
au P12 critère 1

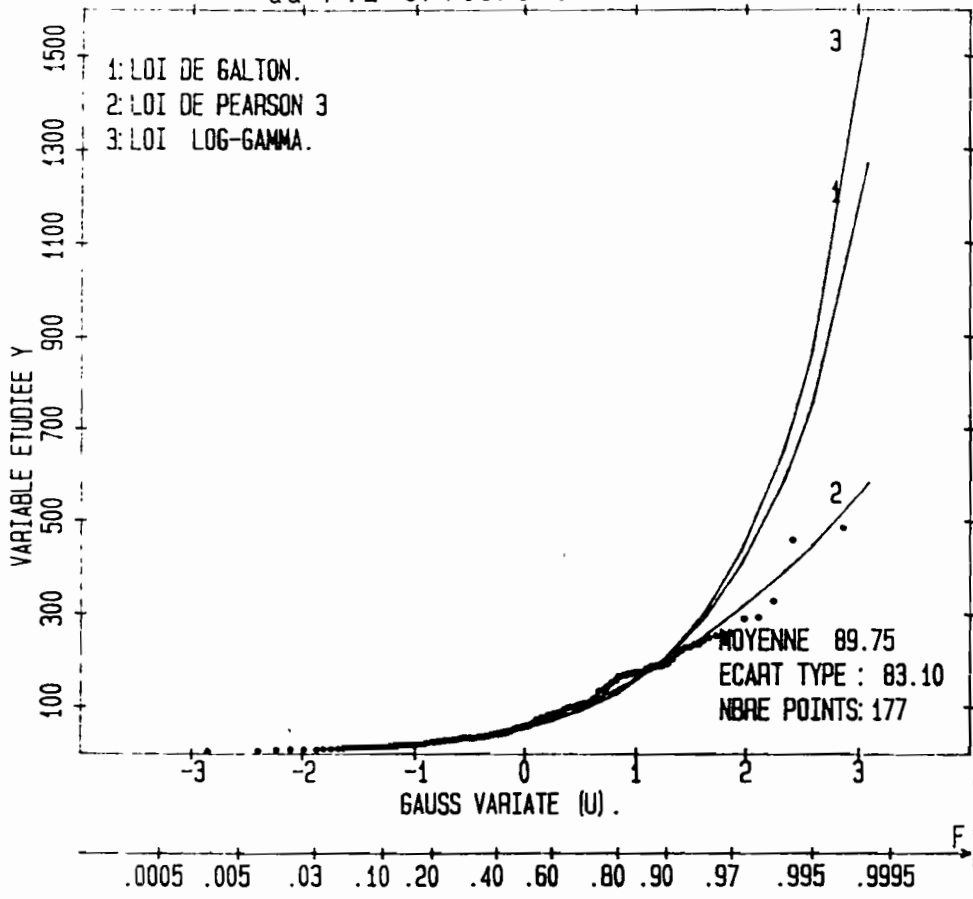


Fig.19d)

DUREE TOTALE AVERSE
au P12, critère 2

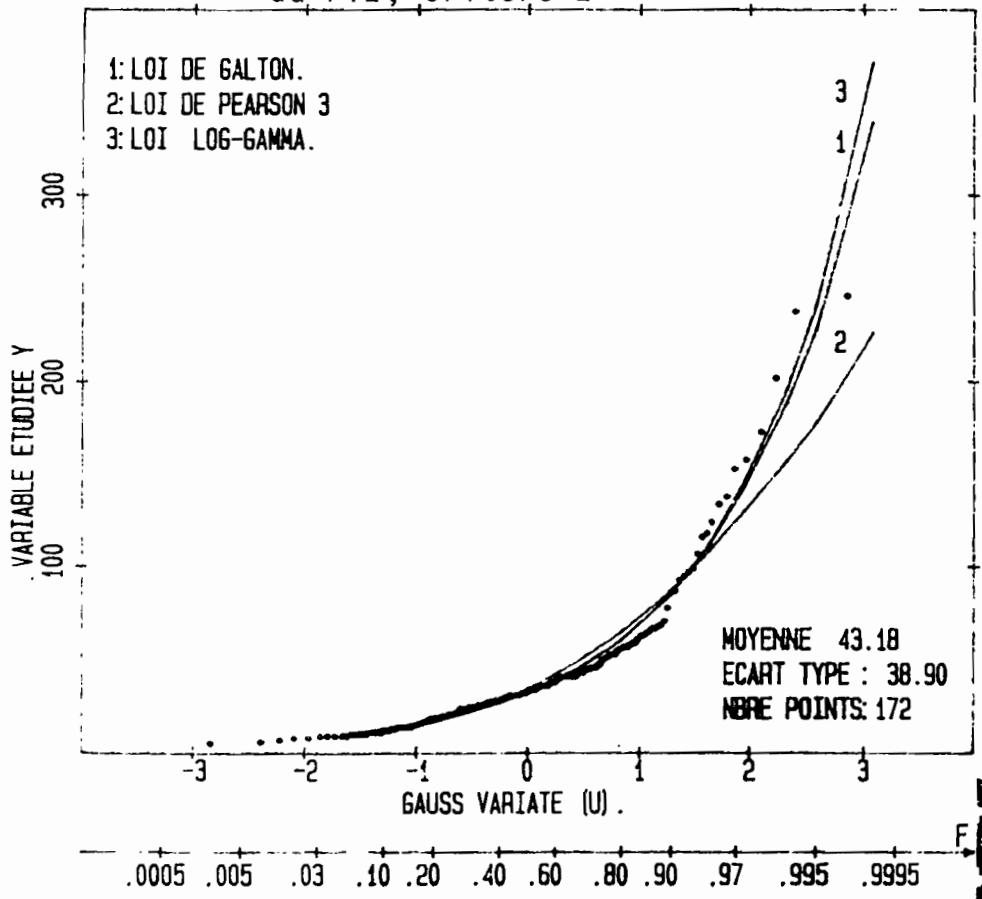


Tableau 10 : Paramètres des lois retenues

PARAMETRES	CRITERE 1		CRITERE 2	
	P01	P12	P01	P12
	PEARSON III	GALTON	GALTON	LOG-GAMMA
d'échelle	76,61	56,32	29,34	0,001
de position	5,98	1,15	2,03	0,001
de forme	1,05	1,01	0,69	191,8
borne inférieure	5,98	1,15	2,03	0,001
moyenne	86,23	94,75	39,17	43,41
écart-type	78,41	124,23	28,83	39,61
coef.de variation	0,91	1,31	0,74	0,91

Les valeurs fortes du coefficient de variation (rapport de l'écart-type à la moyenne) nous conduisent à affirmer que la durée totale de l'averse est très dispersée dans le temps.

III.3.4. : Ajustement sur la hauteur totale de l'averse

Les ajustements sur la hauteur totale ont été effectués sur les mêmes averses que celles du paragraphe précédent. Les résultats de ces ajustements sont consignés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Valeur de la hauteur totale de l'averse
(en mm) pour des fréquences remarquables
au non dépassement.

a) critère 1

POSTE	LOIS	PROBABILITE						
		0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
P01	GALTON	5,0	5,8	7,2	12,0	22,5	32,2	43,7
P12	GALTON	4,7	5,4	6,8	11,4	21,6	31,0	42,3

b) critère 2

POSTE	LOIS	PROBABILITE						
		0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
P01	GALTON	4,7	5,4	6,5	10,4	18,5	25,8	34,2
P12	GALTON	4,5	5,2	6,3	10,1	18,3	25,9	34,9

On voit qu'au niveau des deux postes et des deux critères, c'est la loi de GALTON qui a été retenue. Les valeurs de la hauteur de l'averse aux différentes fréquences remarquables sont quasiment les mêmes pour le même critère.

Sur les deux postes la valeur médiane de la hauteur totale de l'averse varie de 11,4 à 12 mm pour le critère 1 et de 10,1 à 10,4 mm pour le critère 2.

On peut trouver les représentations graphiques de cette loi de GALTON et de deux autres qui présentent des valeurs satisfaisantes au test de BRUNET-MORET sur les figures 20.

Les paramètres de la loi de GALTON sont les suivants :

Tableau 12 : Paramètres de la loi de GALTON sur la hauteur totale de l'averse.

PARAMETRES	CRITERE 1		CRITERE 2	
	P01	P12	P01	P12
d'échelle	9,10	8,61	7,48	7,16
de position	2,95	2,81	2,91	2,94
de forme	0,91	0,93	0,87	0,91
borne inférieure	2,95	2,81	2,91	2,94
moyenne	16,73	16,03	13,84	13,77
écart-type	15,68	15,39	11,64	12,30
coef.de variation	0,94	0,96	0,84	0,89

Fig.20.a)
HAUTEUR TOTALE AVERSE
au P01, critère 1

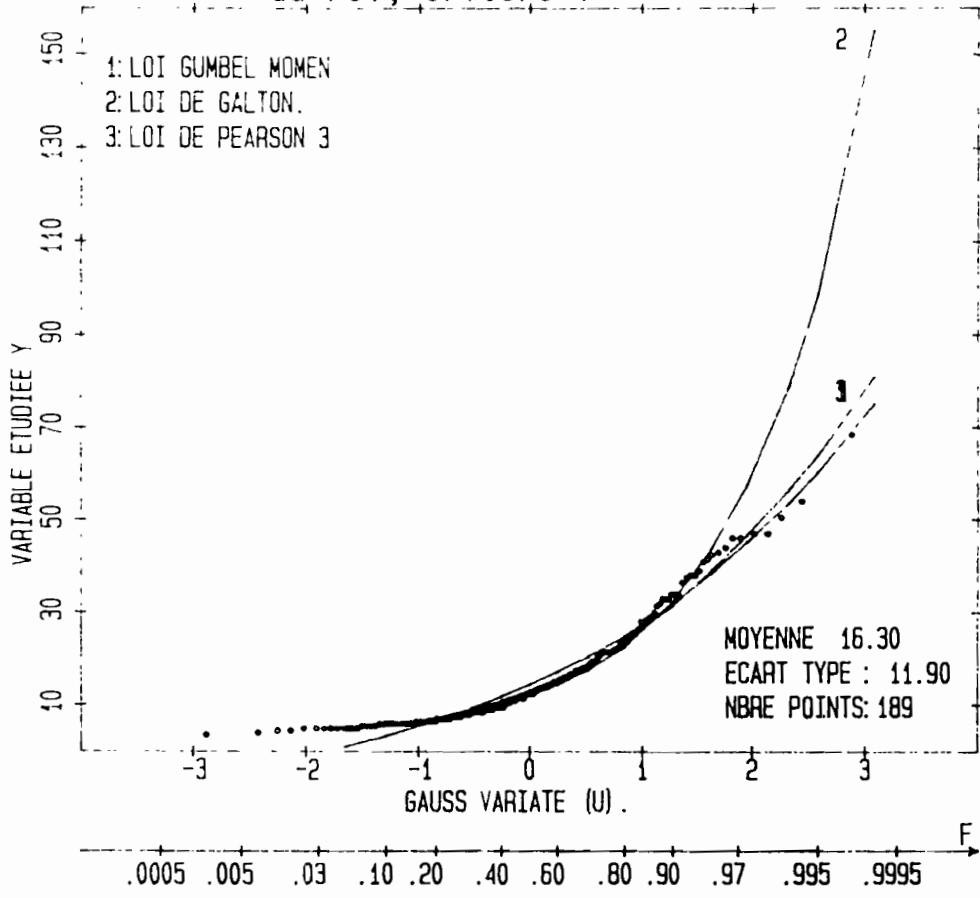


Fig.20.b)
HAUTEUR TOTALE AVERSE
au P01, critère 2

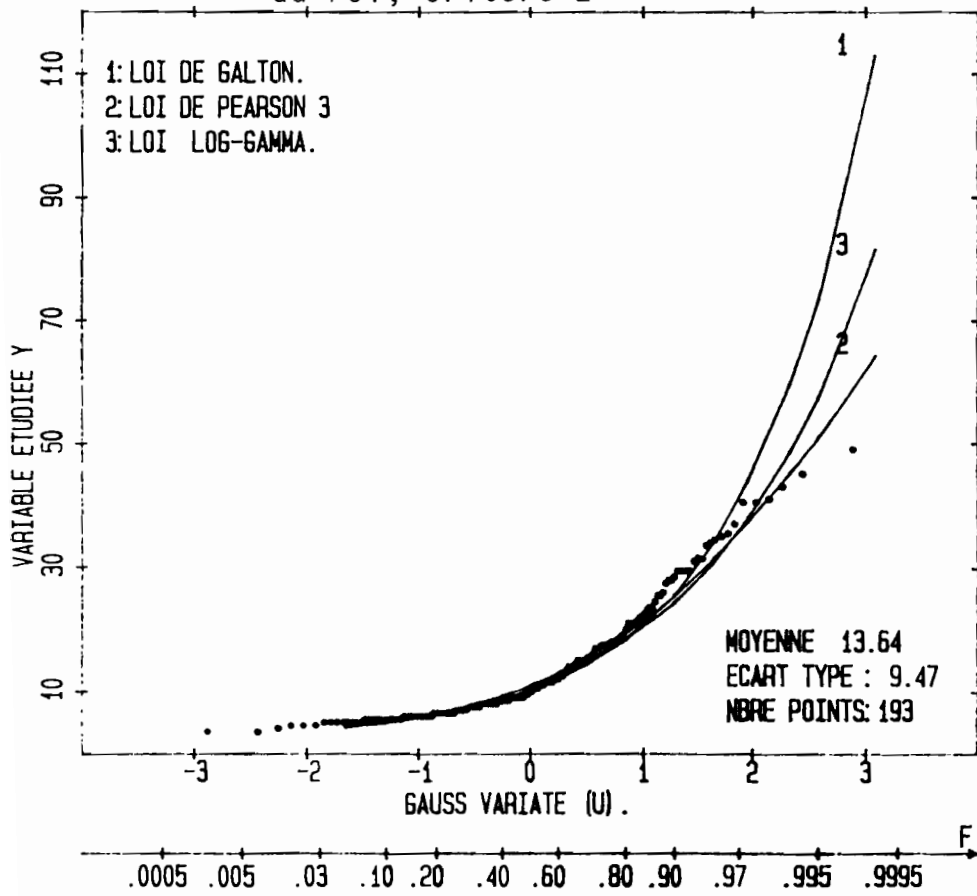


Fig.20.c)
HAUTEUR TOTALE AVERSE
au P12, critère 1

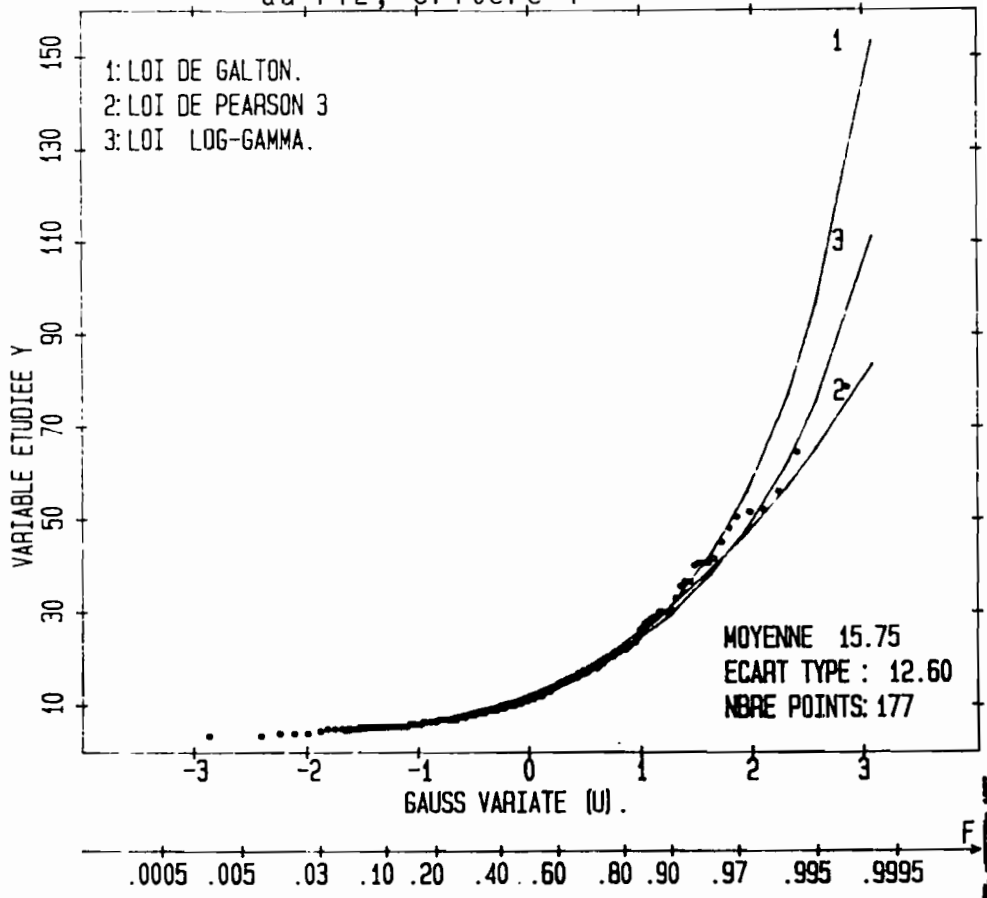
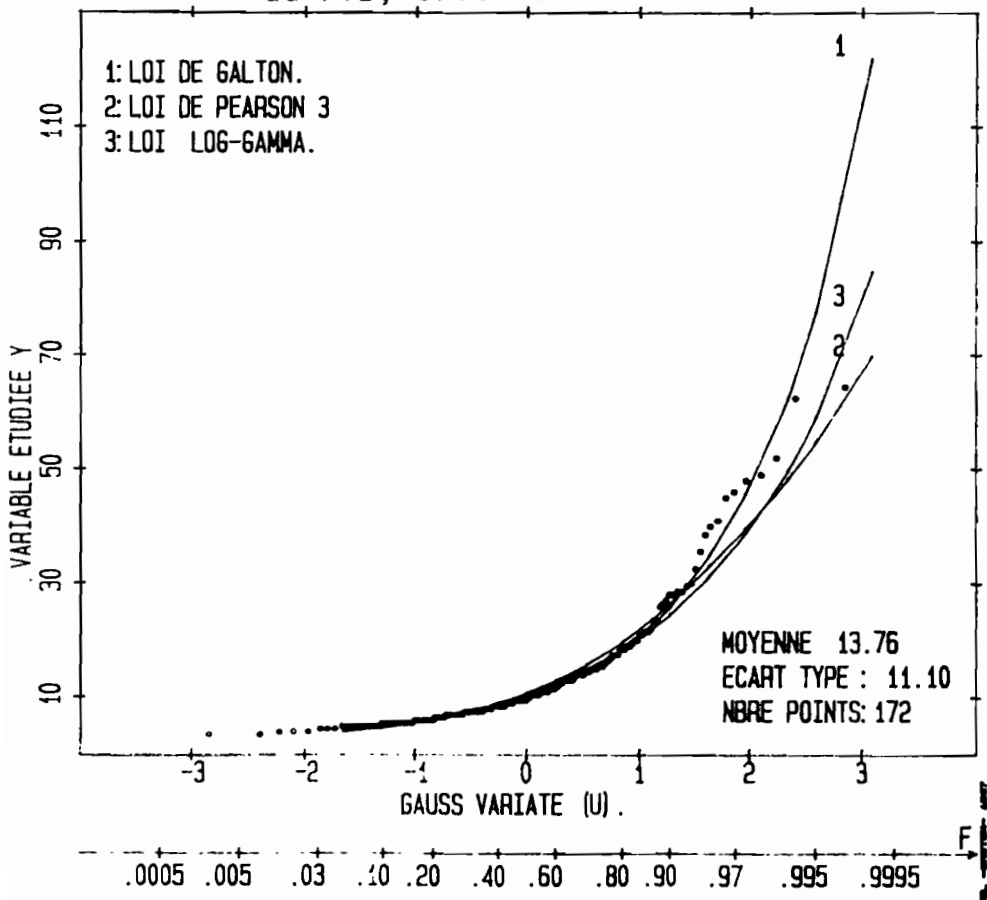


Fig.20.d)
HAUTEUR TOTALE AVERSE
au P12, critère 2



Pour le même critère ces différents paramètres ne présentent pas de différence majeure entre les deux postes.

La remarque précédente, à savoir l'écart important entre les valeurs, peut être faite pour la hauteur totale de l'averse au regard des coefficients de variation élevés.

III.3.5. : Ajustement sur les hauteurs maximales en différentes durées.

Les différentes durées pour lesquelles l'échantillonnage des hauteurs maximales, a été effectué sont : 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 et 180 minutes. Sur chacun de ces échantillons de hauteurs maximales de trois années, les lois d'ajustement précédemment citées ont été opérées.

Pour chaque durée le nombre d'averses est le même que dans les deux études précédentes pour les deux postes et les deux critères d'individualisation des averses.

L'ajustement sur les hauteurs maximales des neuf pas de temps ci-dessus a montré par le test de BRUNET-MORET que c'est la distribution de GALTON qui s'ajuste le mieux. Les différents tableaux que nous allons présenter retracent les valeurs de la hauteur maximale, pour des fréquences remarquables, obtenues avec cette loi de GALTON.

Tableau 13 : Valeur de la hauteur maximale (en mm) pour des fréquences remarquables - au non dépassement.

a) - en 5 minutes :

		PROBABILITE						
CRITERE	POSTE	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
1	P01	1,1	1,5	2,1	3,6	5,6	7,1	8,4
	P12	1,0	1,3	1,7	3,0	5,0	6,4	7,8
2	P01	1,2	1,6	2,2	3,6	5,6	7,0	8,3
	P12	1,1	1,4	1,9	3,1	5,0	6,4	7,8

b) en 10 minutes

		PROBABILITE						
CRITERE	POSTE	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
1	P01	2,0	2,7	3,6	6,0	9,3	11,6	13,9
	P12	1,8	2,3	3,1	5,2	8,5	10,8	13,2
2	P01	2,2	2,9	3,8	6,1	9,3	11,5	13,7
	P12	2,0	2,5	3,3	5,4	8,6	10,9	13,2

c) en 15 minutes :

CRITERE	POSTE	PROBABILITE						
		0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
1	P01	2,6	3,3	4,5	7,4	11,7	14,8	17,9
	P12	2,3	3,0	3,9	6,5	10,7	13,7	16,8
2	P01	2,9	3,6	4,7	7,5	11,7	14,7	17,7
	P12	2,6	3,3	4,2	6,8	10,9	13,8	16,9

d) en 30 minutes :

CRITERE	POSTE	PROBABILITE						
		0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
1	P01	3,4	4,3	5,7	9,5	15,8	20,6	25,5
	P12	3,4	4,1	5,2	8,5	14,3	19,0	24,0
2	P01	4,1	4,8	5,9	9,4	15,5	20,5	25,9
	P12	3,9	4,6	5,6	8,7	14,5	19,2	24,4

e) - en 45 minutes :

		PROBABILITE						
CRITERE	POSTE	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
1	P01	3,9	4,8	6,2	10,3	17,6	23,4	29,6
	P12	4,0	4,7	5,8	9,3	16,0	21,6	27,8
2	P01	4,6	5,2	6,3	9,9	17,1	23,3	30,6
	P12	4,5	5,1	6,1	9,4	16,0	21,8	28,5

f) - en 60 minutes :

		PROBABILITE						
CRITERE	POSTE	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
1	P01	4,3	5,1	6,5	10,7	18,4	24,7	31,6
	P12	4,3	5,0	6,1	9,7	16,9	23,1	30,2
2	P01	4,7	5,4	6,5	10,2	17,7	24,2	31,7
	P12	4,6	5,2	6,2	9,7	16,8	22,9	30,0

g) - en 90 minutes :

CRITERE	POSTE	PROBABILITE						
		0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
1	P01	4,8	5,6	6,9	11,2	19,8	27,4	36,1
	P12	4,6	5,3	6,5	10,4	18,3	25,2	33,1
2	P01	4,7	5,4	6,5	10,4	18,2	25,2	33,4
	P12	4,6	5,2	6,3	10,0	17,5	24,3	32,3

h) - en 120 minutes :

CRITERE	POSTE	PROBABILITE						
		0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
1	P01	5,0	5,7	7,1	11,5	20,8	29,0	38,5
	P12	4,7	5,4	6,7	10,8	19,3	26,9	35,6
2	P01	4,7	5,4	6,5	10,4	18,4	25,6	34,2
	P12	4,6	5,2	6,3	10,0	17,9	25,7	33,4

i) - en 180 minutes :

		PROBABILITE						
CRITERE	POSTE	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
1	P01	5,0	5,8	7,2	11,9	21,9	30,9	41,6
	P12	4,7	5,5	6,8	11,3	20,7	29,3	39,4
2	P01	4,7	5,4	6,5	10,4	18,5	25,8	34,2
	P12	4,5	5,2	6,3	10,1	18,2	25,7	34,5

Ces différents tableaux permettent de faire les remarques suivantes pour un pas de temps donné :

- on retrouve sensiblement la même valeur de la hauteur maximale pour le même critère aux deux postes à chaque fréquence.
- au niveau du même poste les valeurs obtenues pour une fréquence ne présentent pas de différence notable d'un critère à l'autre surtout pour les faibles fréquences.

- Pour les faibles pas de temps, la variation des hauteurs maximales est remarquable. Par exemple les valeurs médianes pour les trois premiers pas de temps sont :

- . 3,0 à 3,6 mm en 5 minutes
- . 5,2 à 6,1 mm en 10 minutes
- . 6,5 à 7,5 mm en 15 minutes

Les représentations graphiques des ajustements sur ces hauteurs maximales en différents pas de temps, par la loi de GALTON et d'autres lois donnant de faibles valeurs de test, sont illustrées en annexe 2.

III.4 : CONCLUSION

Compte tenu de la courte durée (trois années) de notre série, nous n'avons pas effectué d'études sur les intensité-durée-fréquence. Les données pluviographiques de la station d'Odienné (à environ 100 km au nord du bassin) qui devaient nous servir de station de référence "longue durée" à cette étude des intensité-durée-fréquence nous sont parvenues tardivement. Nous n'avons donc pas pu dépouiller cette masse importante de données dans le temps qui nous était imparti.

L'étude de la distribution journalière des averses nous a montré qu'on ne peut pas tirer d'enseignements intéressants sur la répartition des tranches de pluie journalière en une ou plusieurs averses. On a pu seulement voir que pour le critère 1 la probabilité d'avoir une seule averse par jour aux deux postes est de 91 % et de 86 % pour le critère 2.

D'après l'étude statistique aux deux postes pluviographiques P01 et P12 les différents échantillons suivent pratiquement la même distribution qui est la distribution de GALTON à trois paramètres (de position, d'échelle et de forme).

Pour ces différents échantillons nous avons noté que pour un critère donné les valeurs aux fréquences remarquables sont sensiblement les mêmes aux deux postes. Nous pouvons en déduire que la distribution temporelle de la pluie peut être considérée comme une distribution homogène sur le bassin versant de Booro-borotou.

CHAPITRE IV : REPARTITION SPATIALE DES AVERSES.

Nous avons dans ce chapitre considéré le grand bassin de 111 Km² (bassin de la Séné à Touresso) où les pluviographes P41, P43 et P44 ont été installés en début de l'année 1986. C'est donc sur cette année 1986 que l'étude de la distribution spatiale des averses a pu être effectuée. Elle a porté sur six postes pluviographiques : P01, P11, P12 du bassin principal et les trois postes ci-dessus du bassin de la Séné à Touresso.

Pour cette année 1986 nous avons observé seulement 18 averses qui ont été enregistrées simultanément aux six postes. Avec ce faible échantillon nous avons tenté de suivre l'évolution des précipitations sur le grand bassin.

IV.1. : Dynamique des averses.

La question à laquelle nous avons essayé de répondre est de savoir comment s'effectue le déplacement des précipitations sur le bassin. Nous avons alors suivi la démarche suivante.

- . d'abord nous avons fait un découpage, à l'aide d'un programme du laboratoire d'hydrologie de l'ORSTOM, de la hauteur de l'averse en pas de temps fixe de 10 minutes.
- . ensuite, nous avons noté de 1 à 6, à chaque poste, l'ordre d'arrivée des pluies supérieures ou égales à 0,5 mm d'une part et des hauteurs de pluie de 50 % de la hauteur totale de l'averse d'autre part.

Si le seuil fixé est atteint simultanément à plusieurs postes, on leur affecte alors la même note.

- . Enfin nous avons fait le décompte du nombre de fois où les pluies ont atteint un poste en 1ère, 2ème et dernière position.

Les tableaux suivants résument les résultats obtenus avec notre échantillon de 18 averses.

Tableau 14 : Résultats des décomptes

a) - Pour pluie $\geq 0,5$ mm

Poste	P01	P11	P12	P41	P43	P44
Nombre de fois en 1ère position	6	4	3	8	4	2
Nombre de fois en 2ème position	4	3	2	3	7	0
Nombre de fois en dernière position	2	3	4	4	2	8

b) - Pour pluie ≥ 50 % de la hauteur totale

Poste	P01	P11	P12	P41	P43	P44
Nombre de fois en 1ère position	4	3	2	6	8	1
Nombre de fois en 2ème position	4	1	3	7	3	2
Nombre de fois en dernière position	2	3	5	4	3	5

D'après les tableaux ci-dessus on peut tirer les enseignements suivants :

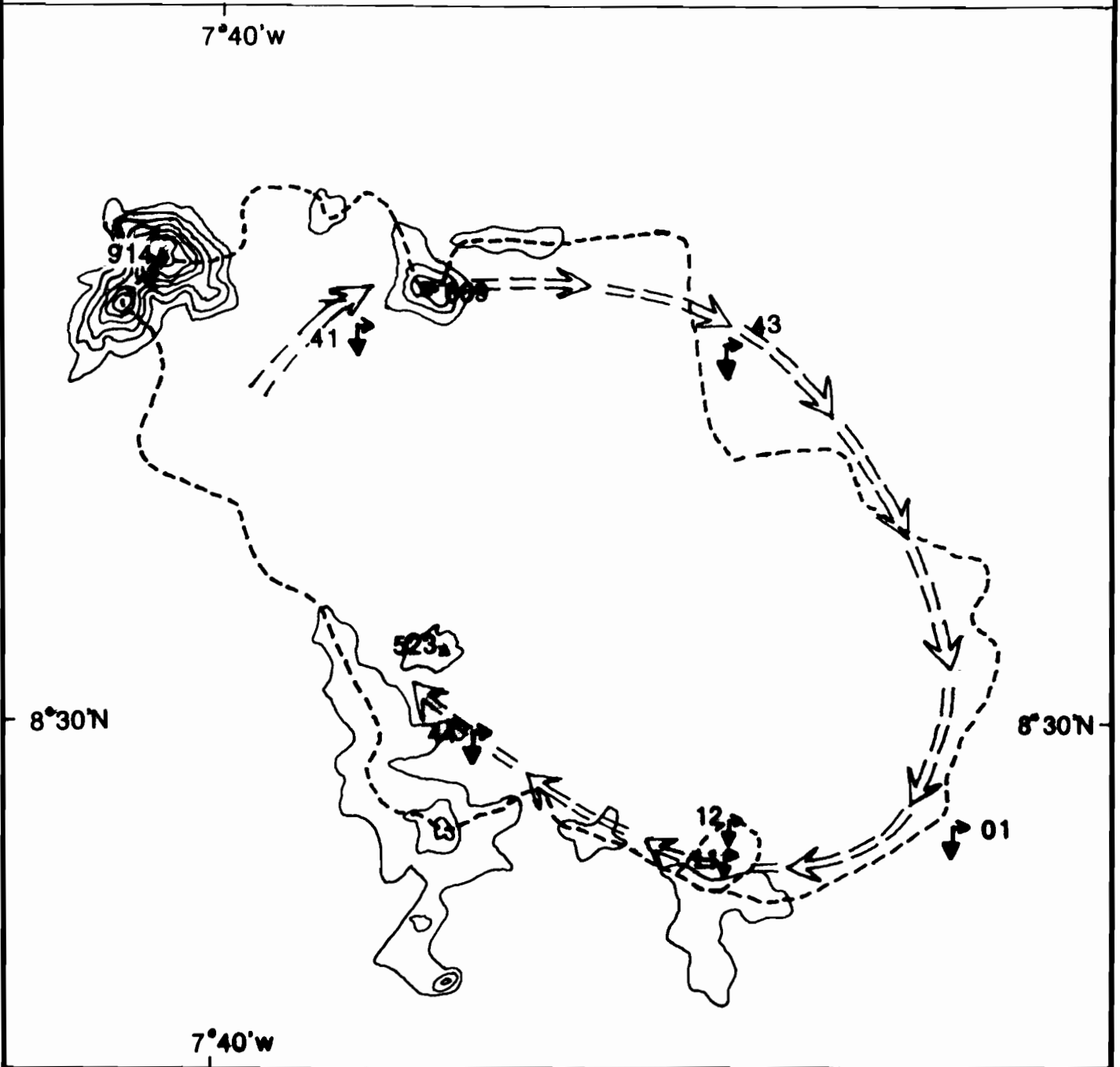
- le nombre de fois où la pluie atteint d'abord les postes P41 d'une part et P43 d'autre part est plus élevé que celui des autres postes.
- le 3ème poste qui détient une bonne position dans ce classement est le P01.
- on remarque dans l'ensemble que c'est le poste P44 qui reçoit en dernière position les précipitations.

Les constatations que nous venons de faire laissent penser que sur le bassin de la Séné à Touresso les averses se déplacent du Nord au Sud-Ouest en passant par le Nord-Est et le Sud-Est (cf. figure 21).

Une explication climatique qu'on peut donner à ce sens de déplacement des averses est la présence des reliefs de la frontière Guinéenne qu'on voit sur la figure 21. Les averses ont tendance à progresser de manière circulaire à l'Est de ces reliefs.

Nous avons représenté sur les figures 22 les hyéto-grammes des averses des 4, 7 et 15 juillet 1986. Sur le bassin principal nous n'avons pas pris en compte le poste P12 qui a pratiquement les mêmes données que le poste P11. Ces différentes figures illustrent bien la dynamique des précipitations que nous venons de décrire. Sur ces hyéto-grammes on note qu'il y a une dégradation du volume et de l'intensité maximale de l'averse au cours du temps d'un poste à un autre.

Fig-21- Circulation privilégiée des averses



Echelle: 1/100 000

Fig-22b- HYETOGRAMME DE L'AVERSE

DU 07-07-1986

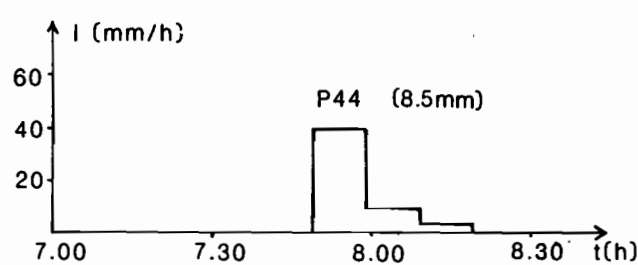
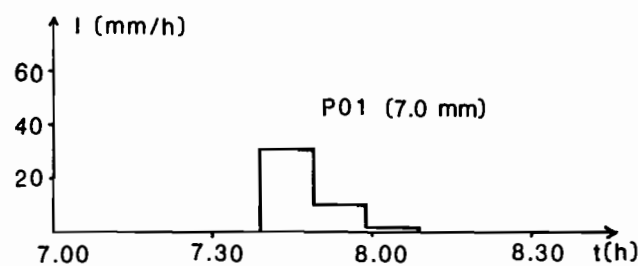
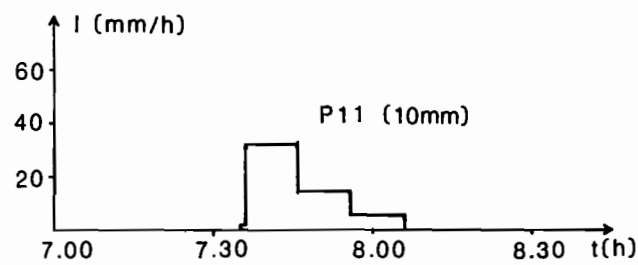
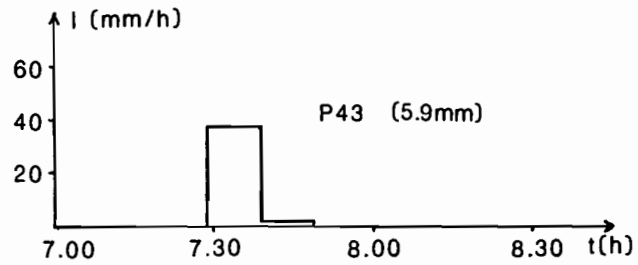
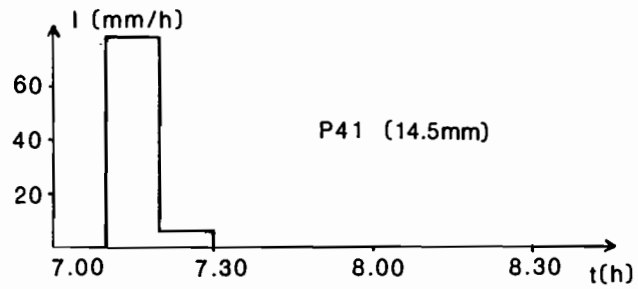


Fig-22a- HYETOGRAMME DE L'AVERSE DU 04-07-1986

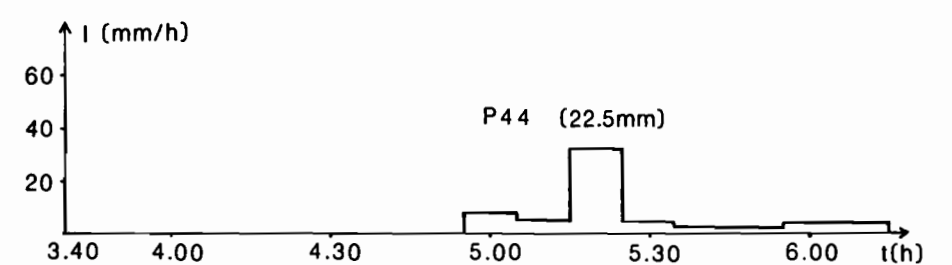
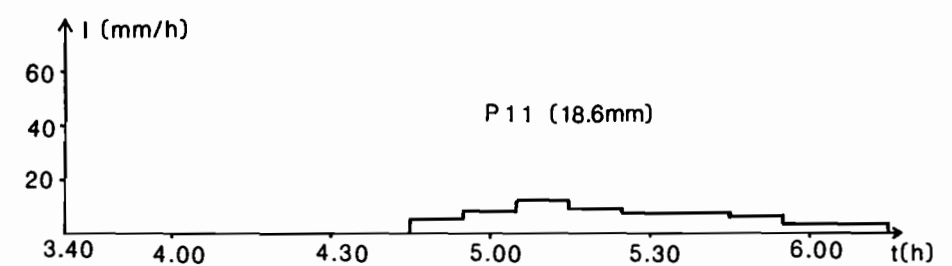
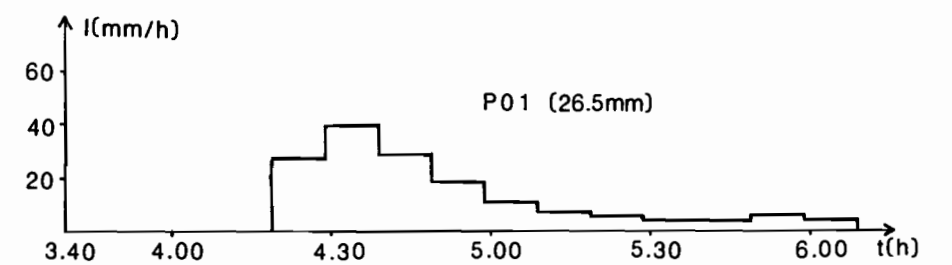
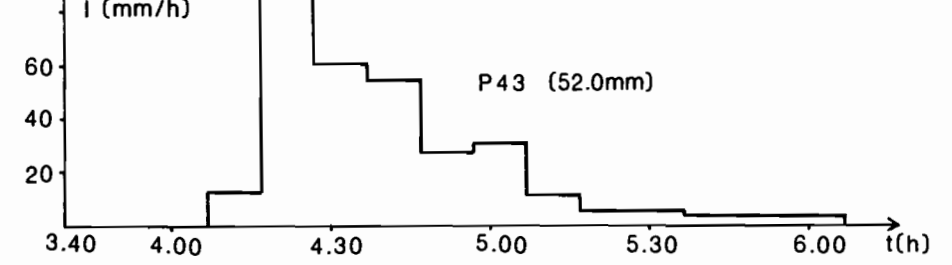
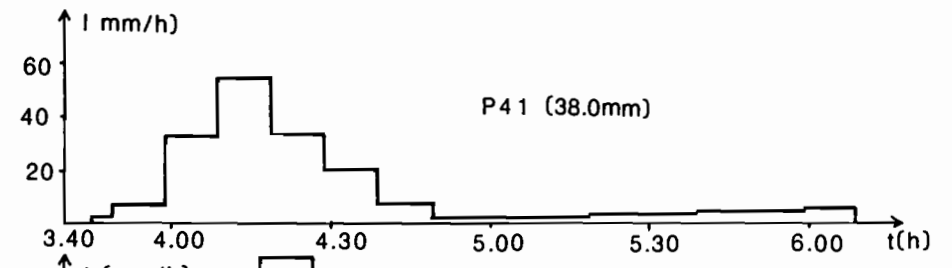
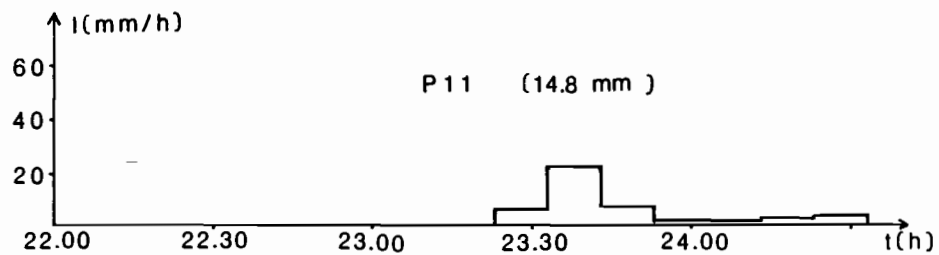
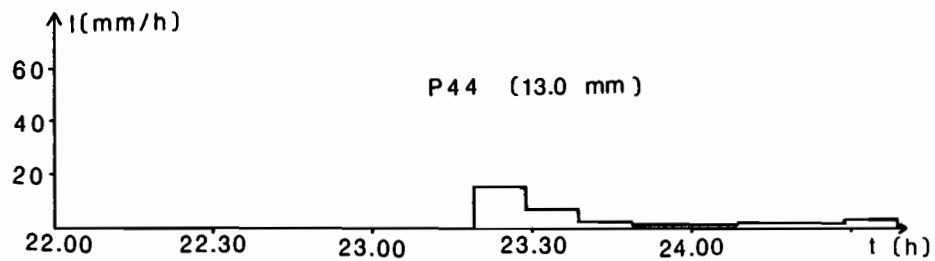
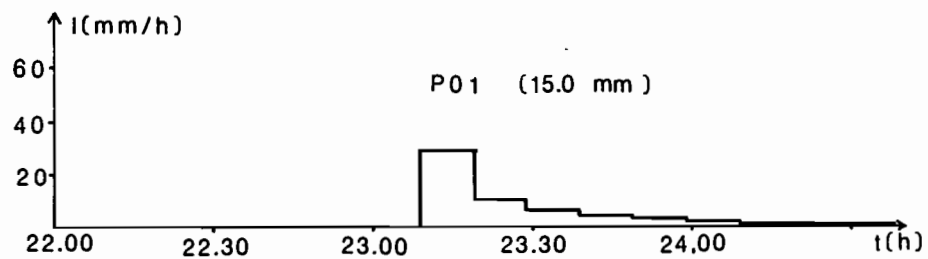
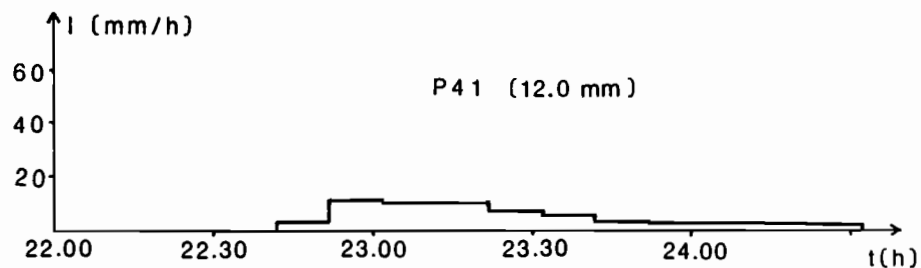
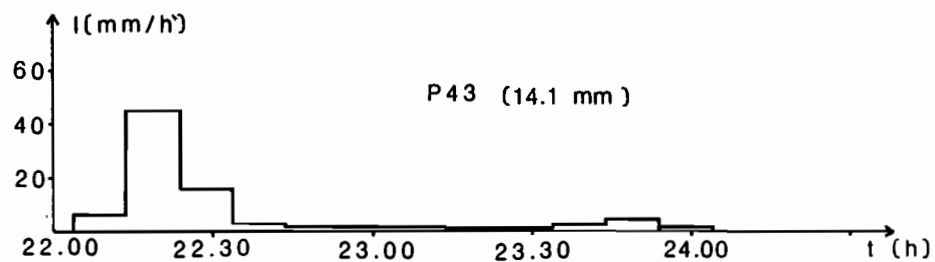


Fig-22-c- HYETOGRAMME DE L' AVERSE DU 15-07-1986



Les figures précédentes montrent aussi que le décalage horaire entre le début de l'averse au premier poste atteint et le début au dernier poste est plus ou moins important. Pour ces trois exemples les décalages sont de 70, 39 et 79 minutes respectivement au niveau des averses du 4, 7 et 15 juillet 1986.

En annexe 3 nous avons tracé les isohyètes à pas de temps fixe de 20 minutes de la hauteur de l'averse du 4 juillet 1986. Ces isohyètes traduisent aussi le mouvement des précipitations sur le bassin.

IV.2. : Corrélation entre postes.

D'une part les distances entre les cinq postes pluviographiques du bassin dont les données ont permis les régressions linéaires simples sont :

Tableau 15 : Distances entre postes (en mètres)

	P11	P41	P43	P44
P01	3 900	13 400	8 400	9 100
P11		11 000	8 600	4 800
P41			6 300	7 200
P43				7 900

D'autre part le tableau 16 donne la hauteur totale à chacun des cinq postes des 18 événements pluvieux considérés.

Tableau 16 : Hauteur des averses sélectionnées (en mm)

DATE ET DEBUT DE L' AVERSE	P01	P11	P41	P43	P44	MOYENNE ARITH.
13/6/86 à 22 h 40	7,5	16,8	21,0	5,9	9,0	12,0
4/7/86 à 3 h 50	26,5	18,6	38,0	52,0	22,5	31,5
7/7/86 7 h 20	7,0	10,0	14,5	5,9	8,5	9,2
15/7/86 à 22 h 10	15,0	14,8	12,0	14,1	13,0	13,8
21/7/86 à 5 h	6,0	8,1	5,5	5,5	7,5	6,5
21/7/86 à 9 h 20	11,0	10,9	10,0	12,3	11,0	11,0
11/8/86 à 6 h	6,9	5,4	3,5	3,2	2,0	4,2
18/8/86 à 19 h 10	4,5	2,0	5,5	4,5	4,5	4,2
20/8/86 à 1 h 10	3,5	1,5	8,5	3,6	1,0	3,6
20/8/86 à 13 h 20	12,9	13,2	5,5	8,2	4,0	8,8
24/8/86 à 10 h	37,6	31,7	19,0	9,1	18,5	23,2
24/8/86 à 17 h 50	4,9	4,9	3,5	1,9	13,0	5,6
4/9/86 à 19 H 20	20,8	15,9	15,0	3,6	5,0	12,1
21/10/86 à 23 H 10	4,0	4,7	5,0	5,5	2,5	4,3
22/10/86 à 13 h 40	5,9	12,3	3,5	7,3	24,5	10,7
22/10/86 à 19 H 40	3,0	1,9	0,5	3,2	1,0	1,9
25/10/86 à 20 h 30	9,4	10,9	1,0	0,5	16,0	7,6
26/10/86 à 5 h 20	4,0	2,8	5,5	1,4	5,0	3,7
Moy.Arithmétique	10,6	10,4	9,8	8,2	9,4	9,7

La régression linéaire simple sur la hauteur totale de l'averse pour les 18 évènements a donné les résultats suivants.

Tableau 17 : Valeurs de la corrélation.

Variabes	Coefficient de corrélation	Equation de la droite de régression
Hauteur totale P01-P 11	0,90	$P01 = 1,10 P11 - 0,72$
" " P11-P41	0,64	$P11 = 0,53 P41 + 5,10$
" " P11-P43	0,41	$P11 = 0,27 P43 + 8,13$
" " P11-P44	0,62	$P11 = 0,70 P44 + 4,18$
" " P41-P43	0,81	$P41 = 0,65 P43 + 4,49$
" " P43-P44	0,52	$P43 = 0,82 P44 + 0,51$

Au vu des résultats de cette régression on est tenté de dire que les totaux pluviométriques aux stations pluviographiques ne sont pas corrélés entre eux. En effet, on remarque que les valeurs des coefficients de corrélation sont assez faibles dans l'ensemble. Si nous avions pu disposer d'un nombre important d'averses nous aurions peut être obtenu de plus fortes valeurs de coefficients de corrélation. Compte tenu donc du nombre réduit d'averses sur lesquelles a porté cette régression linéaire il n'est pas facile de déduire à partir des résultats obtenus si la distribution spatiale des averses est homogène ou non.

IV.3. : CONCLUSION

Nous n'avons pas pu développer davantage ce chapitre de la répartition spatiale des averses parce que d'une part nous n'avons pu travailler que sur une seule année commune d'observation, ce qui ne nous a pas permis d'avoir un échantillon assez représentatif des évènements pluvieux. Notons qu'au cours de cette année 1986 il n'y a pas eu d'évènements importants, à l'exception de la pluie du 4 juillet, par comparaison à l'année 1985 où il y a eu plus de cinq fortes averses en volume.

D'autre part la faible densité du réseau pluviographique (5 pluviographes pour 111 Km²) et sa répartition spatiale plus ou moins homogène ont été un handicap majeur à l'interprétation des quelques résultats obtenus.

Néanmoins nous avons pu aboutir à des remarques intéressantes à savoir la progression circulaire des averses à l'est des reliefs de la frontière guinéenne d'une part et la dégradation des intensités maximales et des volumes au cours du temps d'autre part.

Dans la dernière partie de notre travail qui va suivre nous avons tenté de faire la typologie des averses sur le bassin principal.

CHAPITRE V. : TYPES D'AVERSES

Nous avons défini dans le paragraphe I.3 de la première partie trois grands types de précipitations dans la zone de notre étude, à savoir les tornades, les averses à caractère continu et les pluies de crachin.

Dans ce chapitre nous allons essayer de voir dans un premier temps la répartition de ces trois catégories dans le total des averses du bassin principal sur les trois années de mesure. Dans un second temps nous donnerons quelques exemples de ces types d'averses.

V.1. : Répartition des trois catégories principales d'averses.

Les précipitations tropicales qui résultent des convections du type nuages cumulonimbus se manifestent sous des formes plus ou moins violentes. Par manque de données sur ces systèmes convectifs, nous ne nous en tiendrons dans cette étude qu'aux intensités observées autour de l'intensité maximale en 10 minutes pour juger l'appartenance de telle averse à telle catégorie. Nous avons à cet effet formulé les hypothèses suivantes pour distinguer les trois types d'averses.

- Pour les tornades il faut que l'intensité soit forte, généralement supérieure à 50 mm/h vers la pointe de l'averse. Ce sont des averses violentes dont les durées peuvent être comprises entre 20 et 120 minutes.

- Pour les averses à caractère continu, les intensités sont modérées. Ces averses présentent en général plus d'une pointe dont l'intensité peut atteindre 50 mm/h. L'intensité de ces pointes reste presque toujours inférieure à celle de la tornade. La durée de ces averses peut aller d'une demi-heure jusqu'à trois heures.

- Les pluies de crachin sont de très faibles intensités (inférieures à 20 mm/h). Elles ont cependant des durées assez longues pouvant dépasser cinq heures.

Nous avons seulement considéré le critère 1 de séparation des averses pour disposer des événements pluvieux dans leur intégralité. Rappelons que le critère 2 individualise les corps d'averse. Avec les hypothèses ci-dessus et les données du critère 1 aux postes P01 et P12 nous avons obtenu les pourcentages suivants en nombre d'évènements et en volume d'eau tombée pour chaque type d'averses.

Tableau 18 : Pourcentage des trois catégories d'averses.

a) - en nombre d'évènements :

	P01 (182 averses)	P12 (164 averses)	Moyenne P01-P12
Tornade	42 %	35 %	38 %
Averse à caractère continu	40 %	41 %	41 %
Pluie de crachin	18 %	24 %	21 %

b) - en volume

	P01	P12	Moyenne P01-P12
Tornade	52 %	49 %	51 %
Averse à caractère continu	38 %	35 %	36 %
Pluie de crachin	10 %	16 %	13 %

Ces tableaux nous montrent que sur le bassin de Booro-Borotou on a d'une part plus d'averses à caractère continu et moins de pluies de crachin. D'autre part c'est le pourcentage en volume des tornades qui est plus élevé (51) pour la quantité totale d'eau tombée pendant les trois années d'observation. Mais en associant les taux en nombre d'évènements d'un côté et en volume de l'autre, des averses à caractère continu et des pluies de crachin on s'aperçoit que ces taux, respectivement de 62 % et 49 %, sont élevés. Ces deux pourcentages sont intéressants pour cette région de la Côte d'Ivoire où l'activité quotidienne de la population est consacrée à l'agriculture. En effet, de telles pluies sont très appréciées du milieu agricole car elles s'infiltrent en totalité pour les pluies fines et leur intensité modérée n'est pas susceptible de causer d'importants dégâts tant sur les plantes que sur les sols.

Notons que le décompte des averses n'a pas été toujours aisé pour certaines d'entre elles qui ne correspondent pas à toutes nos conditions de départ. Il est d'ailleurs important de souligner que dans cette répartition des averses au niveau des trois catégories il ne faut pas figer à tout prix les limites.

V.2. : Exemple de hyétogrammes des trois types d'averses.

Après avoir évalué les pourcentages d'apparition des trois sortes d'averses sur le bassin au cours des trois années d'observation, il paraît indispensable de donner des exemples de représentations graphiques des intensités de ces averses dans le temps. On trouvera donc sur les figures 23 quelques hyétogrammes caractéristiques des trois types d'évènements pluvieux enregistrés aux postes P01 et P12 :

- les tornades du 16 juin 1984 et du 1er octobre 1986 au poste P01 sont violentes avec des pointes d'intensité respectives de 132 et 82,5 mm/h. Ces tornades sont caractéristiques des pluies de début et de fin de mousson.

- l'averse à caractère continu du 19 septembre 1985 au P12 présente trois pointes dont la plus forte a une intensité de 54 mm/h. Cette intensité est bien inférieure à celle des tornades décrites ci-dessus.

- les pluies régulières et continues du 7 Août 1985 et du 4 juillet 1986 au P12 sont représentatives des précipitations de faible intensité qu'on appelle les pluies

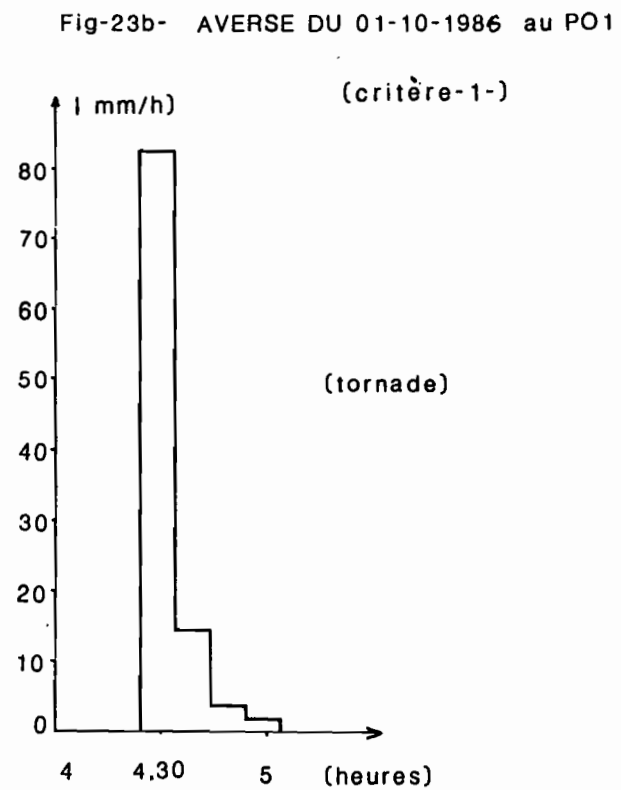
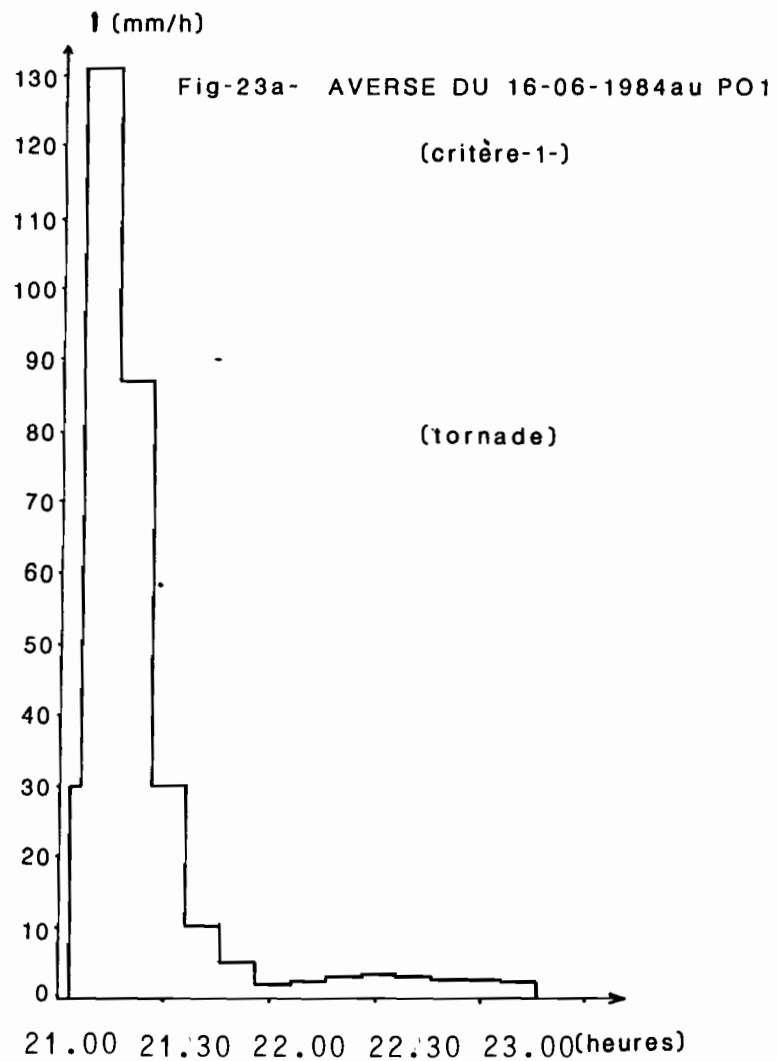


Fig-23C- Hyétogramme de l'averse du 19-9-85 au P12

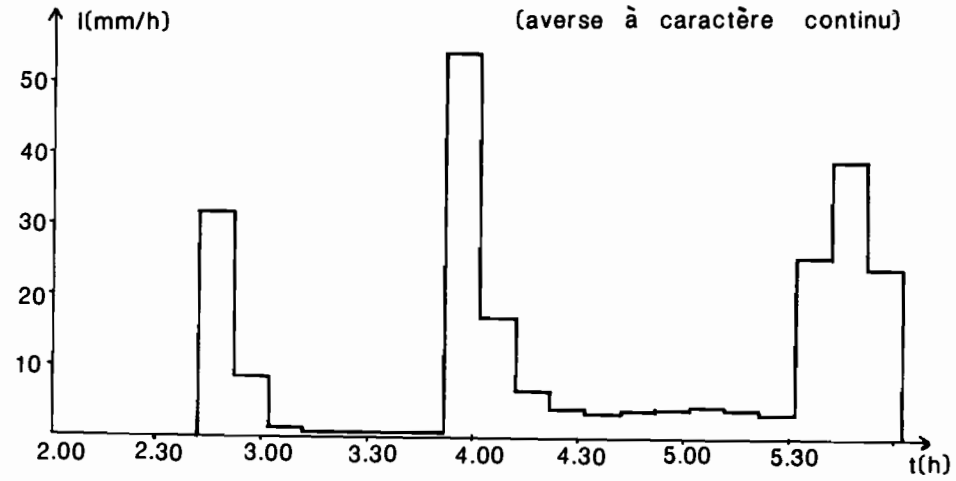


Fig.23d- Hyétogramme de l'averse du 7-8-85 au P12

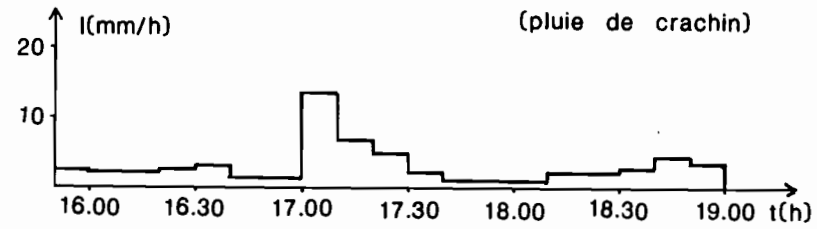
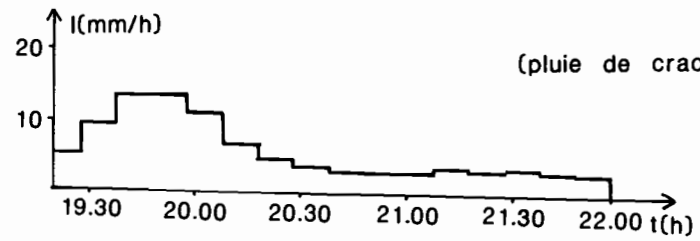


Fig-23e- Hyétogramme de l'averse du 4-7-86 au P12



"agronomiques"! Remarquons que l'averse du 4 juillet 1986 a subi une forte atténuation au poste P12 car au P43 (cf. figure 22a) elle correspond à une tornade d'après nos hypothèses ci-dessus.

CONCLUSION GENERALE

A l'issue de cette étude de la distribution spatio-temporelle des averses sur le bassin versant de Booro-Borotou au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire nous pouvons dire que les différents résultats auxquels nous avons abouti sont satisfaisants dans l'ensemble.

D'abord la première partie de ce travail, à savoir la recherche bibliographique, nous a permis de définir les différents paramètres que nous avons étudiés par la suite.

Dans la seconde partie où nous avons abordé les averses sur le bassin versant de Booro-Borotou, notre étude nous a conduit aux principales conclusions suivantes.

- De la petite étude comparative entre résultats de pluviographes Oedipe et précis Mécanique classique il est ressorti que ces deux types d'appareil deviennent comparables quand le pas de temps augmente (à partir de 10 minutes).

- L'analyse de la distribution journalière des averses a révélé qu'on a une forte probabilité (de l'ordre de 86 %) d'avoir une seule averse par jour.

- Pour la distribution temporelle des averses nous avons noté que c'est la loi de GALTON à trois

paramètres qui s'ajuste le mieux sur les échantillons suivants : durée depuis l'averse précédente, durée totale de l'averse, hauteur totale de l'averse et hauteur maximale en différentes durées. L'étude statistique sur ces échantillons nous a conduit à penser que la répartition temporelle est homogène sur le bassin.

- Au niveau de la dynamique des précipitations, bien que nous ayons travaillé sur un faible échantillon et un faible réseau hydrographique, nous avons abouti à une conclusion intéressante sur la progression apparemment circulaire des averses à l'Est des reliefs de la frontière guinéenne.

- L'étude de la typologie des averses nous a enfin montré que la proportion des pluies d'intensités modérées est non négligeable sur l'ensemble des précipitations, ce qui est important pour les besoins agricoles de la région.

Nous espérons que ce travail sur le type de pluie à Booro-Borotou pourra apporter des renseignements intéressants aux chercheurs des différentes disciplines participant au programme HYPERBAV.

* *
*

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- AUBREVILLE A. (1949)
"Climats, Forêts et désertifications de l'Afrique tropicale". Société d'Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales.
- BERGAOUI M. (1987)
"Etude de la distribution spatio-temporelle des précipitations à des échelles fines de temps et d'espace". Thèse de Doctorat Sciences de l'Eau et Aménagement à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc.
- BERNDTSSON R. and NIEMCZYNOWICZ J. (1986)
"Spatial and temporal characteristics of high-intensive rainfall in northern Tunisia".
Journal of Hydrology, vol 87-n°3/4 : 201-396.
- BOUVIER C. (1986)
"Etude du ruissellement urbain à Niamey".
Rapport de mission.
- BRUNET-MORET Y. et ROCHE M. (1966).
"Etude théorique et méthodologique de l'abattement des pluies". Cahier ORSTOM, série Hydrologie, n° 4
- BRUNET-MORET Y. (1978).
"Recherche d'un test d'ajustement".
Cahier ORSTOM, série Hydrologie, vol.XV, n° 3.
- CAMUS H., CHAPERON P., GIRARD G., MOLINIER M. (1976).
"Analyse et modélisation de l'écoulement superficiel d'un bassin tropical. Influence de la mise en culture. Côte d'Ivoire, KORHOGO 1962-1972.
Travaux et documents de l'ORSTOM, n° 52.
- CASENAVE A. (1982).
"Le mini-simulateur de pluie : Conditions d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures".
Cahier ORSTOM, série Hydrologie, vol XIV, n°4.

- CHEVALLIER P. (1983)
"L'indice des précipitations antérieures. Evaluation de l'Humectation des Sols des Bassins Versants".
Cahier ORSTOM, série Hydrologie, vol XX, n°3 et 4.
- CHEVALLIER P., ETIENNE J., JANEAU J.L., LAPETITE J.M., MAHIEUX A.(1985)
"Bassin versant représentatif de Booro-Borotou : Caractéristiques physiques et équipement hydropluviométrique".
- CHEVALLIER P., BERTHELOT M., ETIENNE J., LAPETITE J.M. (1986)
"Bassin versant de Booro-Borotou (Côte d'Ivoire) : données de base hydropluviométriques, années 1984 et 1985".
- COUREL M.F. (1984)
"Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites".
Thèse de Doctorat d'Etat es-lettres et sciences humaines à l'Université PARIS I.
- DUBREUIL P., CHAPERON P., GUISCAFRE J., HERBAUD J. (1972)
"Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux". ORSTOM.
- DUBREUIL P., L'HOTE Y. (1978).
"Utilisation d'un lecteur de courbes pour le dépouillement automatique des limnigrammes et des pluviogrammes".
Cahier ORSTOM, série Hydrologie, vol VIII, n° 3.
- GALEA G., CHAPERON P. (1971)
"Traitement automatique de l'information pluviographique"
Cahier ORSTOM, série Hydrologie, vol VIII, n° 3
- GALEA G., MICHEL C., OBERLING G. (1981)
"Analyse quantitative du phénomène de pluie ponctuelle maximale sur une surface. Coefficient d'épicentrage des averses de 1 h à 24 h".
La Houille Blanche, numéro spécial 7-8.

- GOUYOU A. (1985)
"Cours d'Hydrologie à l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, Côte d'Ivoire".
- KOUAME B. (1986)
"Analyse et traitement des observations des postes pluviométriques de Touba et de Bouna"
Rapport de stage Intégré, Côte d'Ivoire.
- LABORDE J.P., LEMPEREUR R. (1986).
"Les pluies sur des petits bassins versants : une fonction aléatoire dont on peut estimer le variogramme".
Hydrologie Continentale, vol 1, n° 1.
- LE BARBE L. (1982)
"Etude du ruissellement urbain à Ouagadougou. Essai d'interprétation Théorique. Recherche d'une méthode de l'évaluation de la distribution des débits de pointes de crues à l'exutoire des bassins urbains".
Cahier ORSTOM, série Hydrologie, vol XIX, n° 3.
- LE ROUX M. (1984)
"La mousson".
Bulletin de l'IFAN T XXXVI, série A. N° 3
- MASSON J.M. (1980)
"Analyse d'une longue série pluviographique, Montpellier Bel-Air 1920-1971".
Météorologie, série spéciale.
- REED J. (1984)
"The Diurnal variation of Summer Convection over Tropical Africa as revealed by METEOSAT-1 IR Measurements . OMM DAKAR.
- RODIER J. (1964).
"Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo".
Thèse de Docteur-Ingénieur, Faculté des Sciences de Toulouse.

SIRCOULON J. (1976)

"Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses "1913" et "1940".

Cahier ORSTOM, série Hydrologie, vol XIII, n°2.

TOURASSE P. (1981)

"Analyses spatiales et temporelles de précipitations et utilisation opérationnelle dans un système de prévision des crues. Application aux régions Cévenoles.

Thèse de Docteur-Ingénieur, Université Scientifique et médicale et Institut National Polytechnique de Grenoble.

TSCHIRHART G. (1960)

"notes sur la variation temporelle des précipitations".
Assemblée Générale de HELSINKI, publication n° 53 de l'AIHS.

VAUCHEL P. (1977)

"Contribution à l'étude des réseaux d'assainissement. Influence de la répartition spatio-temporelle de la pluie sur le débit de crue d'un bassin versant urbanisé".

Mémoire de stage.

VUILLAUME G. (1974).

"L'abattement des précipitations journalières en Afrique intertropicale. Variabilité et précision de calcul".

Cahier ORSTOM, série Hydrologie, vol XI, n° 3.

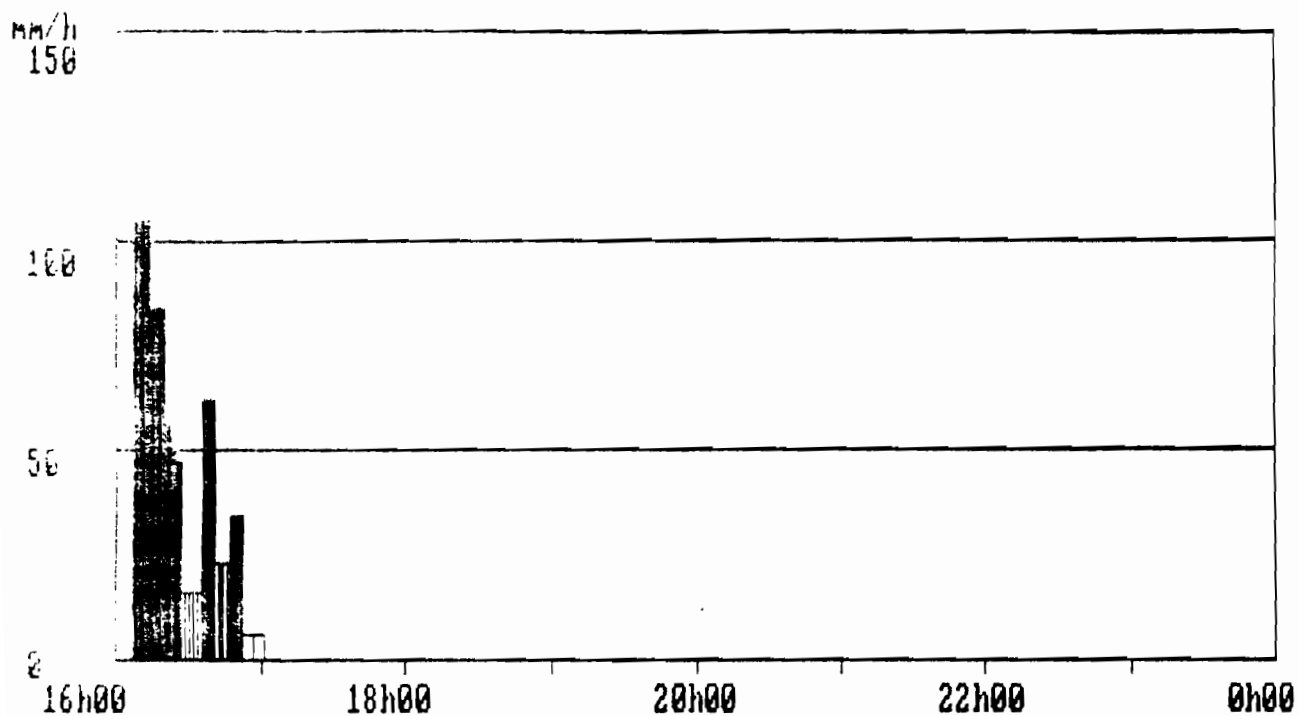
ANNEXES

A N N E X E 1 :

Comparaison des pluviographes classique
et OEDIPE (P11 - P51 et P12 - P52).

FICHER : P11866 AVERSE N°: 125

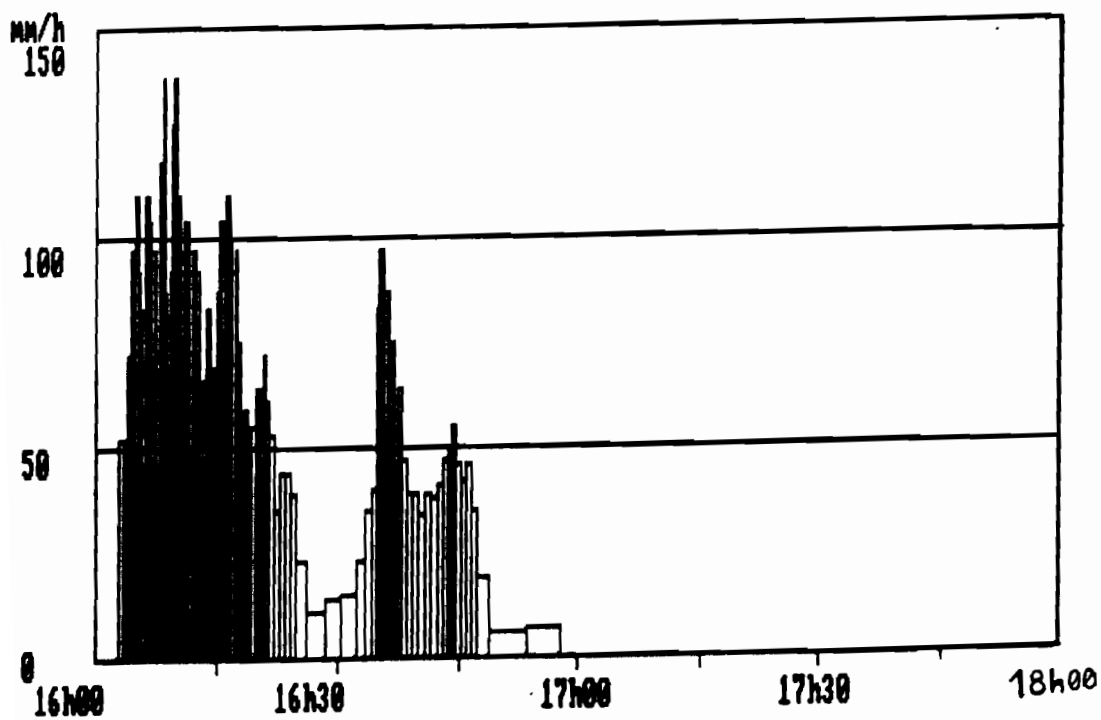
DEBUT D'AVERSE LE 7/ 9/1986 A 16h 7' 0
P seau = 40.2 mm Page 1



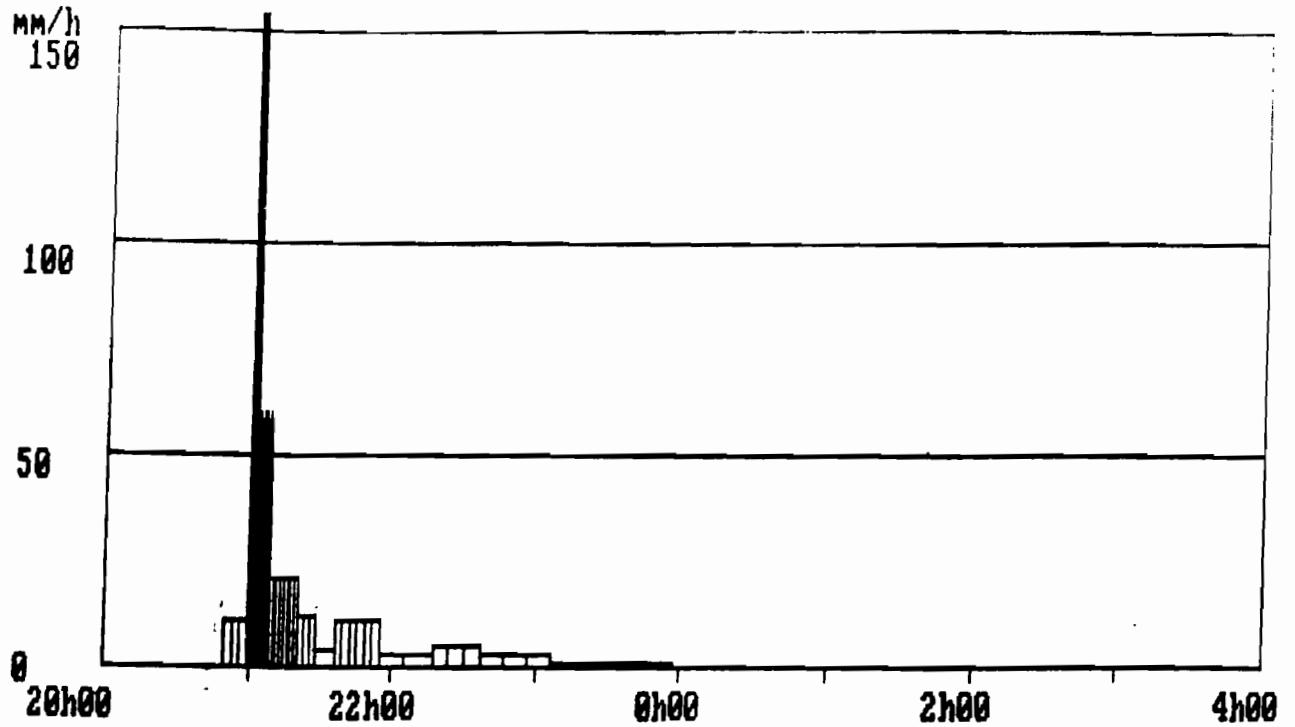
FICHER : P51D

AVERSE N°: 140

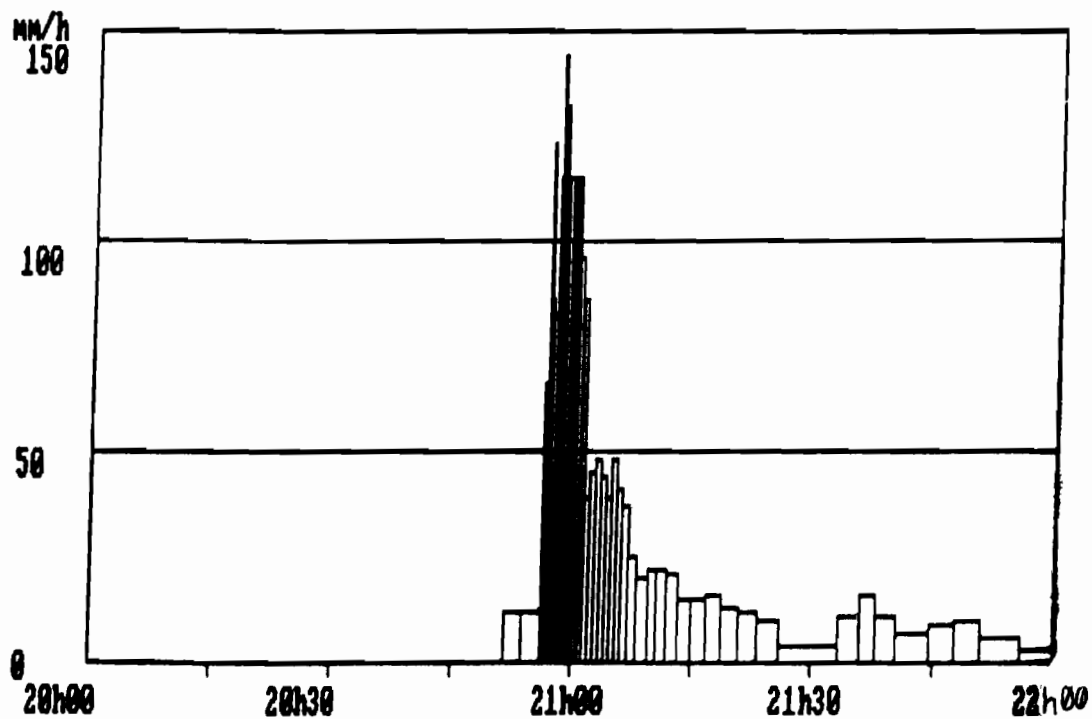
DEBUT D'AVERSE LE 7/ 9/1986 A 16h 2'48
P seau = 43.7 mm Page 1



FICHER : P12866 AVERSE N0: 147 DEBUT D' AVERSE LE 30/ 9/1986 A 20h50' 0
P seu = 29.7 mm Page 1

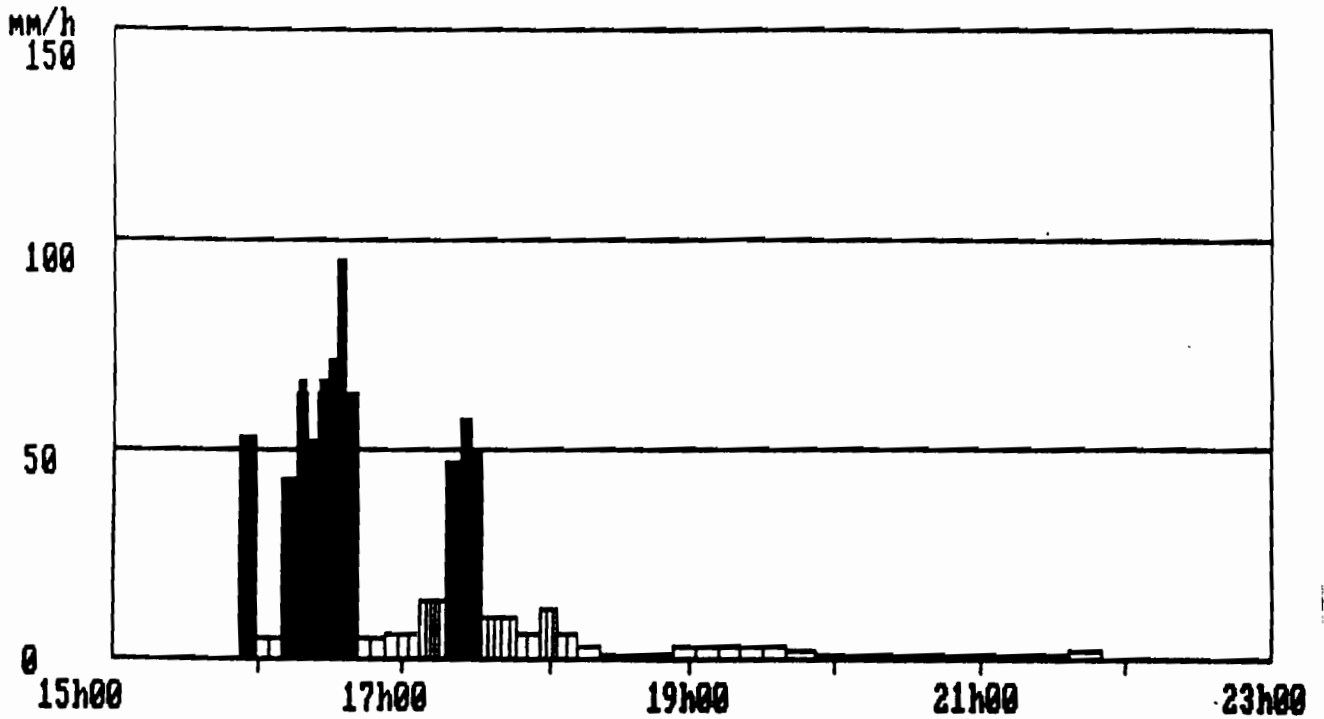


FICHER : P52E AVERSE N0: 163 DEBUT D' AVERSE LE 30/ 9/1986 A 20h51' 32
P seu = 26.3 mm Page 1



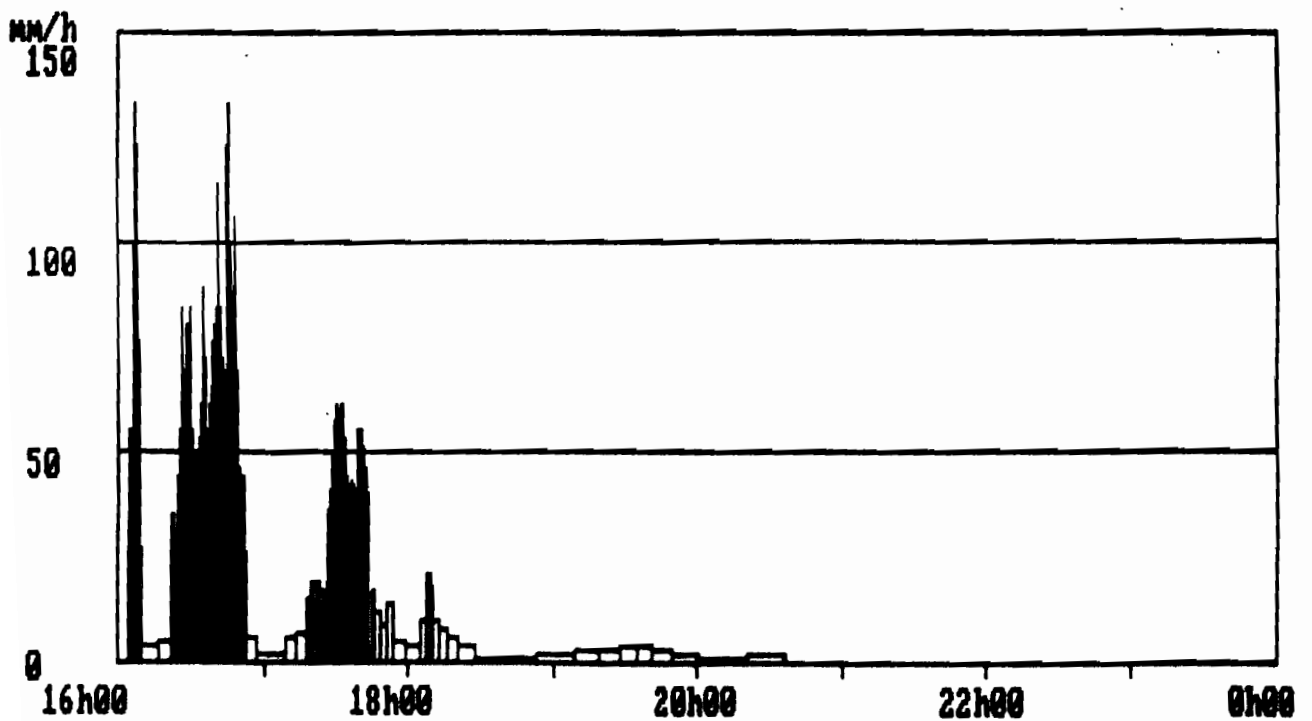
FICHER : P11867 AVERSE N0: 168

DEBUT D'AVERSE LE 31/10/1986 A 15h52' 0
P seau = 67.8 mm Page 1



FICHER : P51E AVERSE N0: 189

DEBUT D'AVERSE LE 31/10/1986 A 16h 4' 10
P seau = 66.4 mm Page 1



1

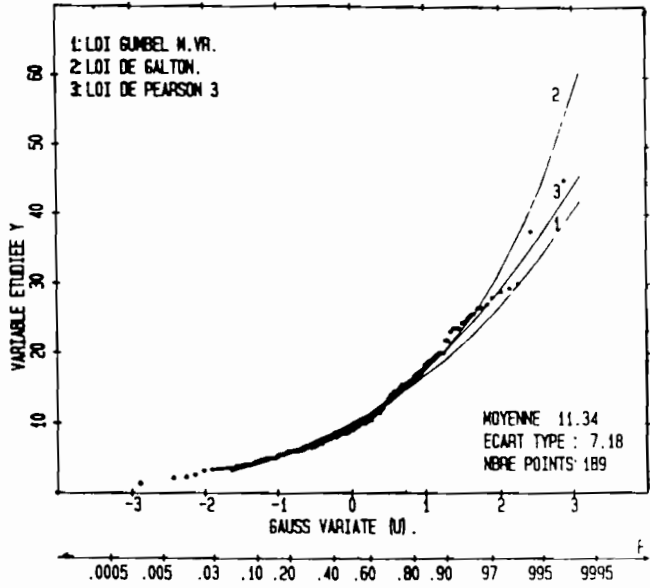
A N N E X E 2 :

Ajustement sur hauteurs maximales en
différentes durées.

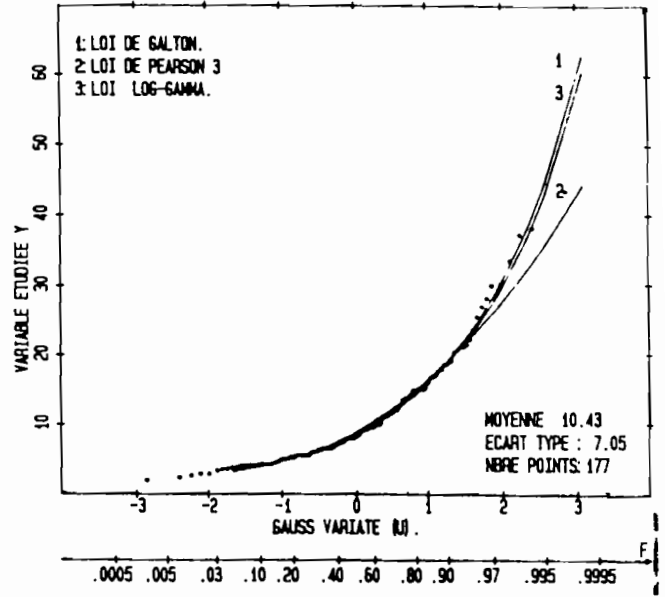
- . Critère 1 au P01 et P12
- . Critère 2 au P01 et P12

AJUSTEMENT SUR HAUTEUR MAXIMALE : CRITERE 1

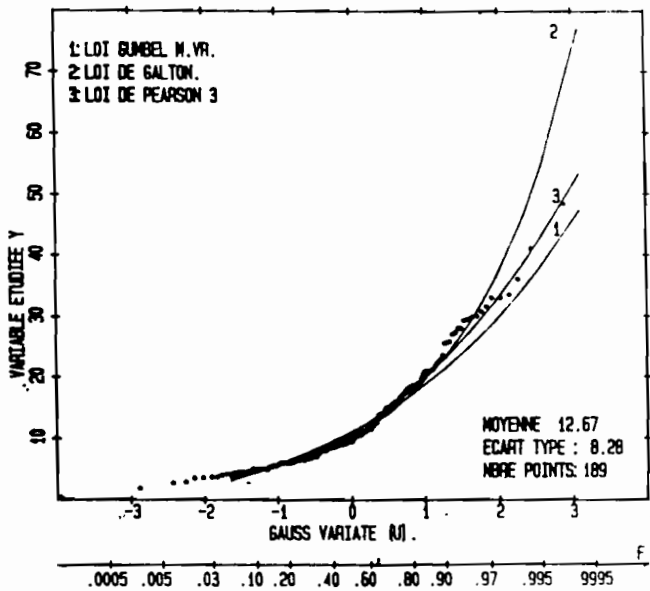
HAUTEUR MAX EN 30 MN (P01)



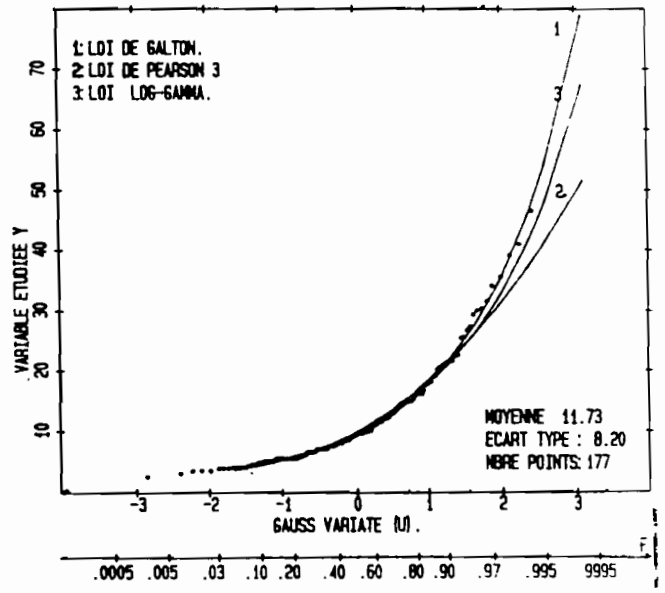
HAUTEUR MAX EN 30 MN (P12)



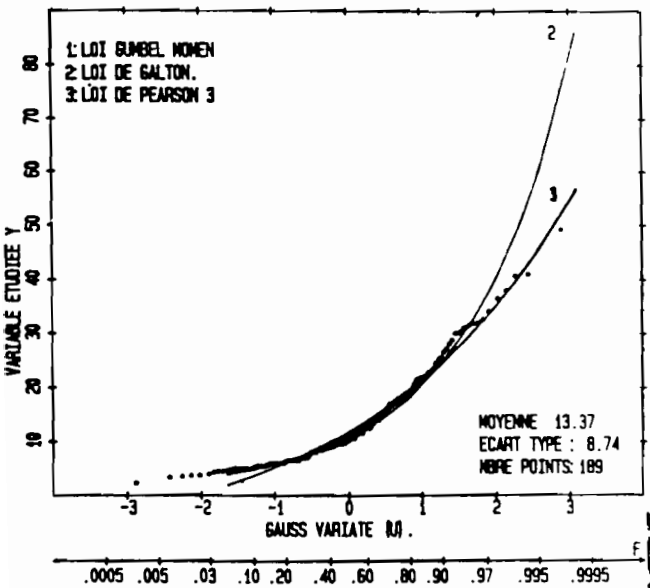
HAUTEUR MAX EN 45 MN (P01)



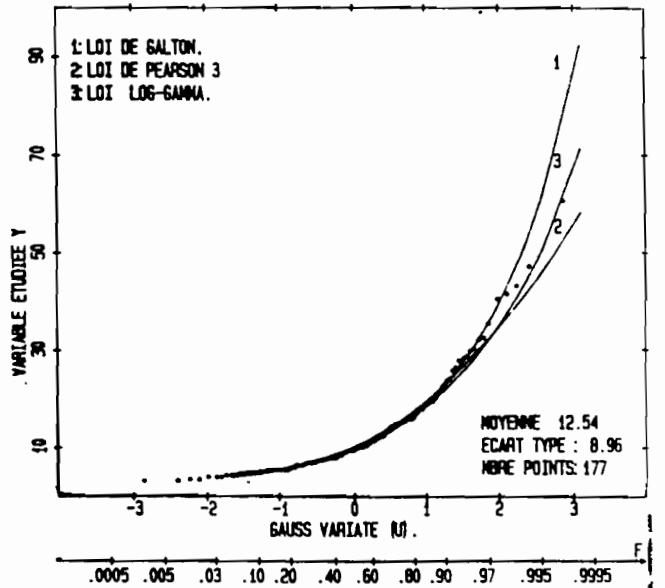
HAUTEUR MAX EN 45 MN (P12)



HAUTEUR MAX EN 60 MN (P01)

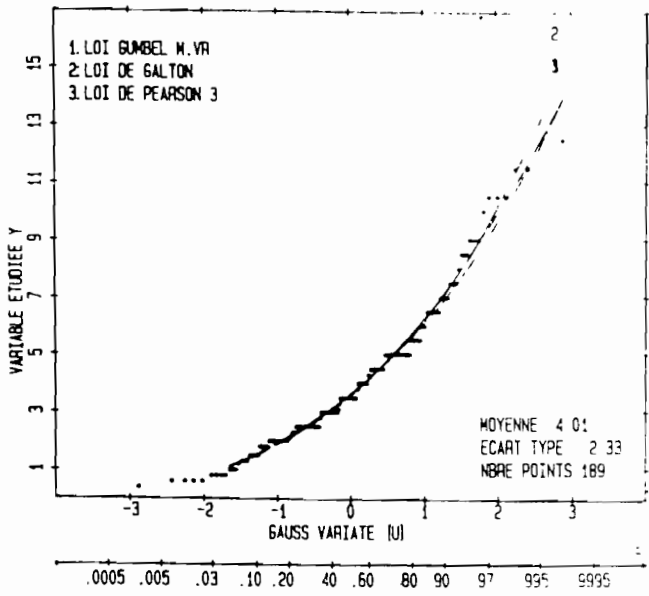


HAUTEUR MAX EN 60 MN (P12)

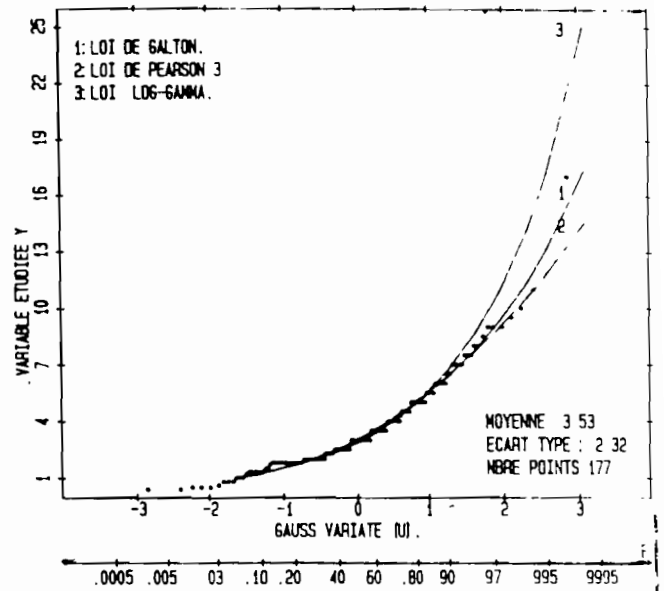


AJUSTEMENT SUR HAUTEUR MAXIMALE : CRITERE 1

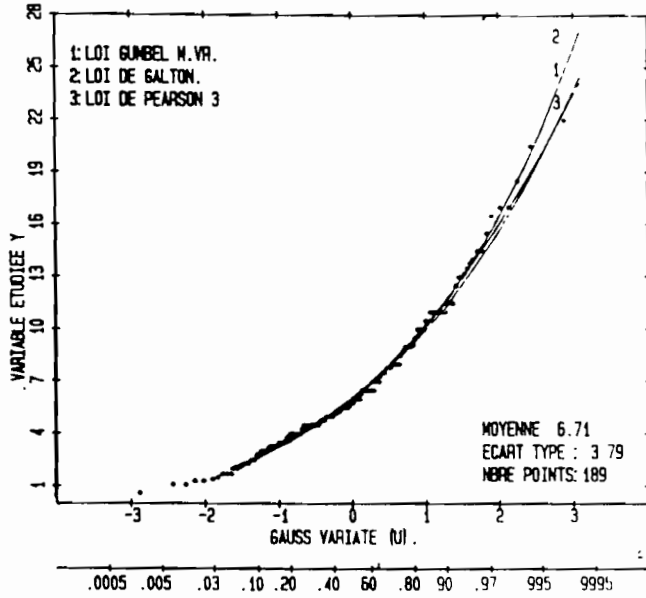
HAUTEUR MAX EN 5 MN (P01)



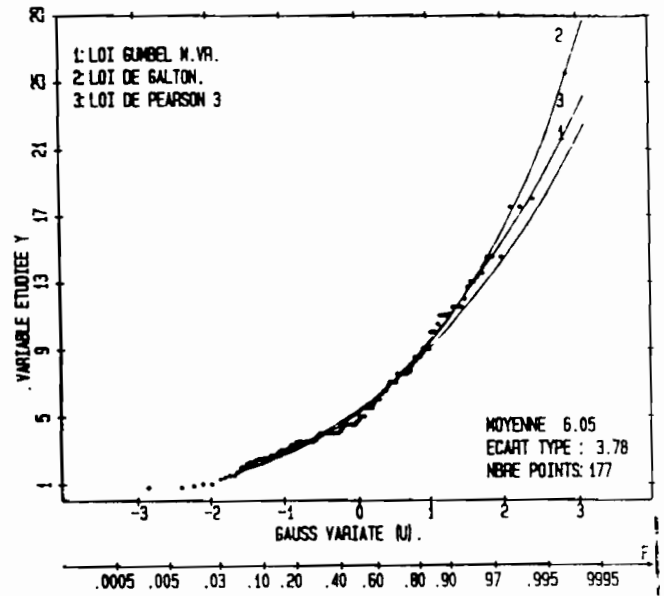
HAUTEUR MAX EN 5 MN (P12)



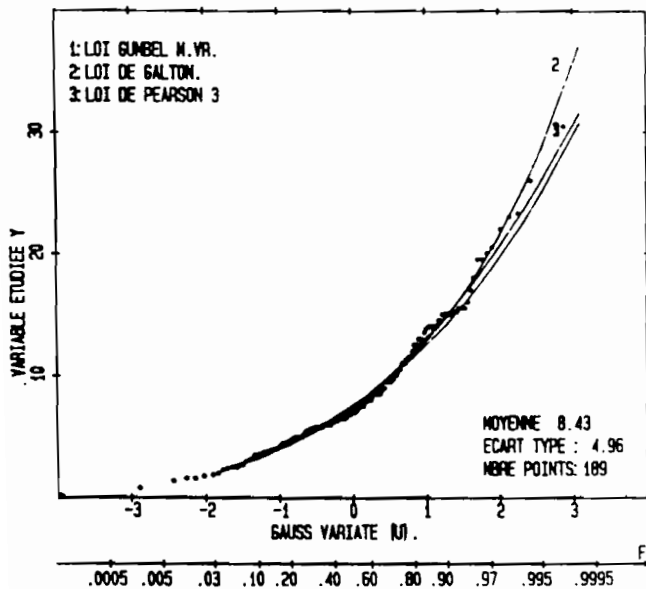
HAUTEUR MAX EN 10 MN (P01)



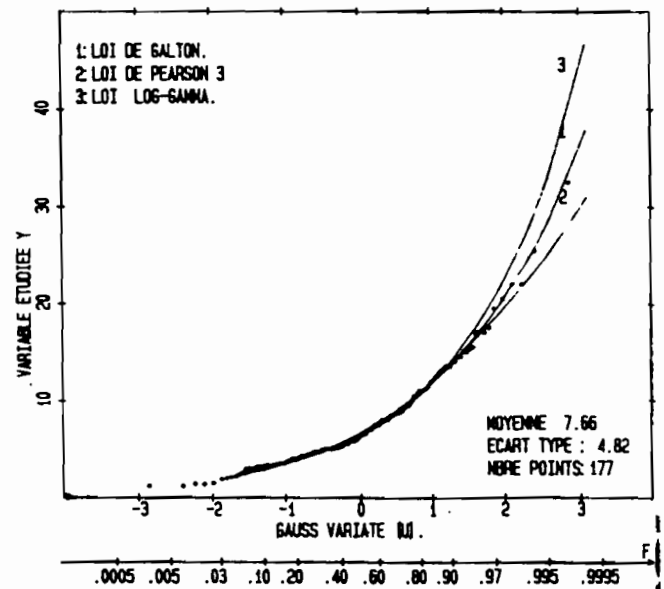
HAUTEUR MAX EN 10 MN (P12)



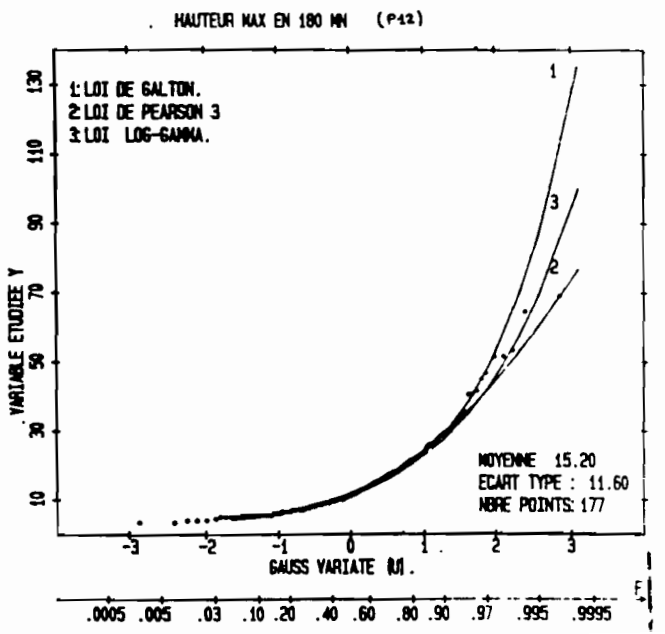
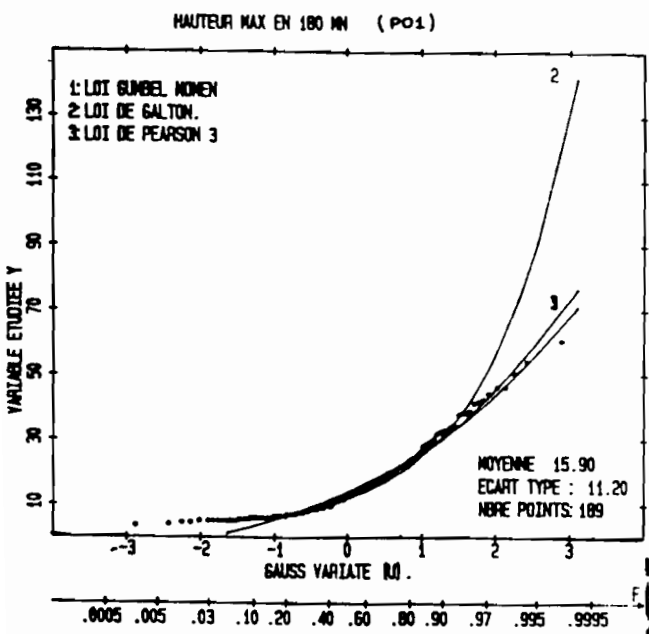
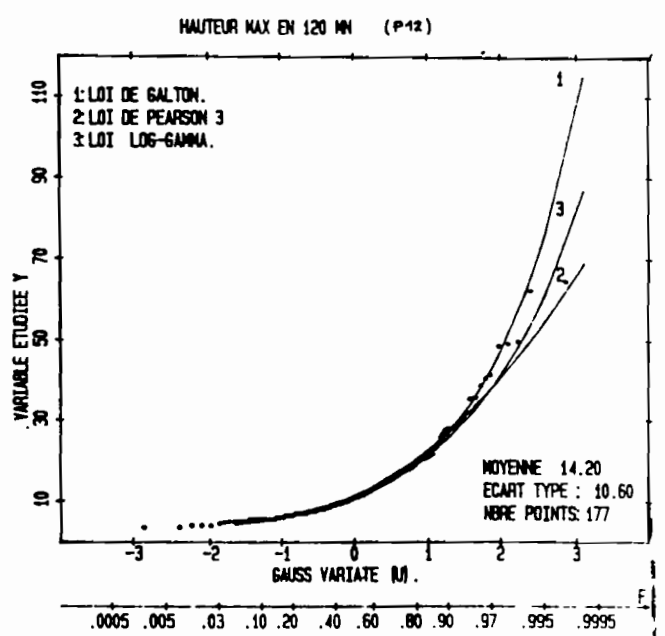
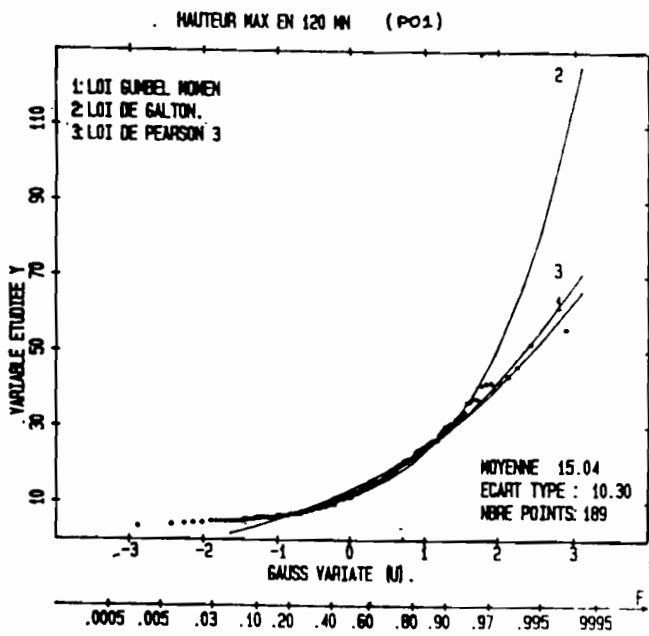
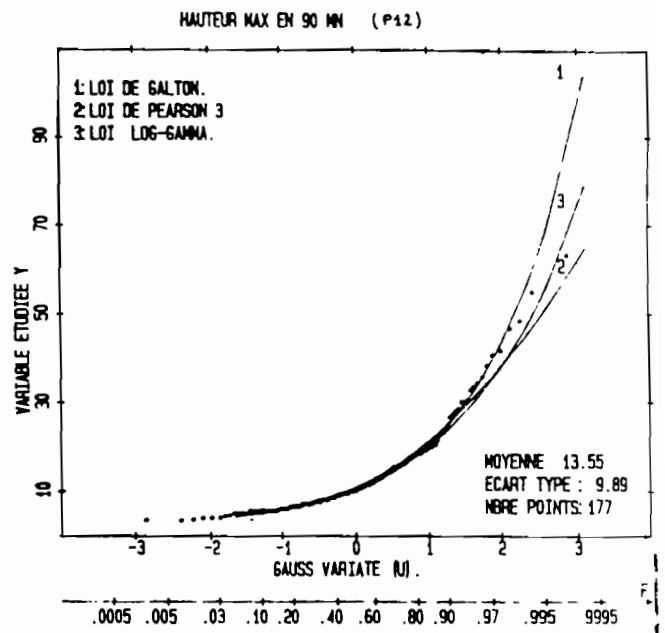
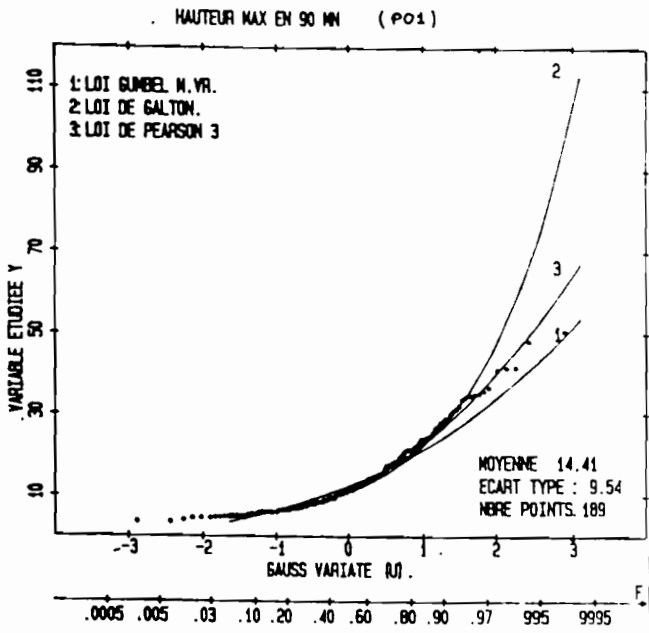
HAUTEUR MAX EN 15 MN (P01)



HAUTEUR MAX EN 15 MN (P12)

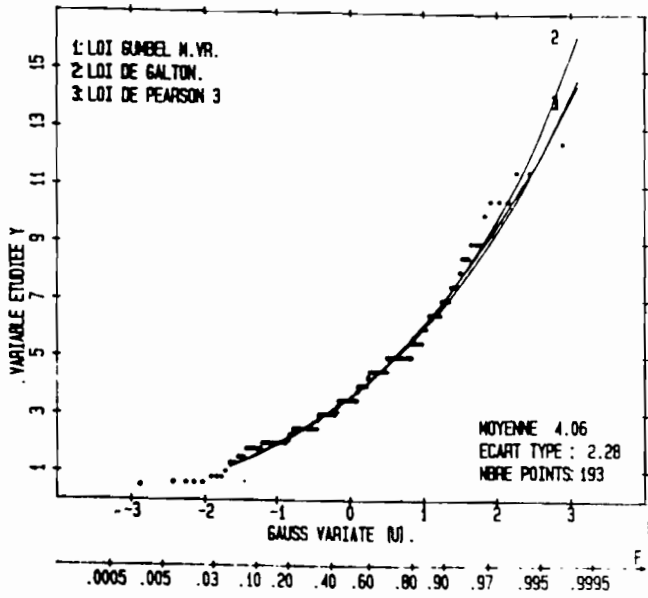


AJUSTEMENT SUR HAUTEUR MAXIMALE : CRITERE 1

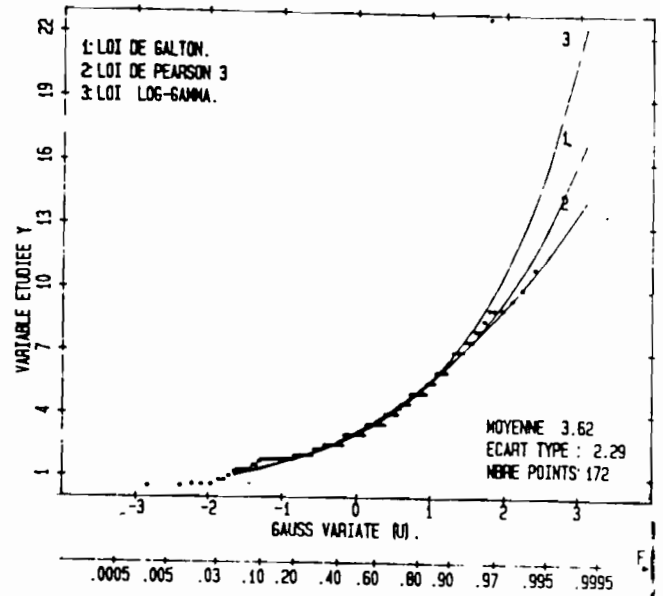


AJUSTEMENT SUR HAUTEUR MAXIMALE : CRITERE 2

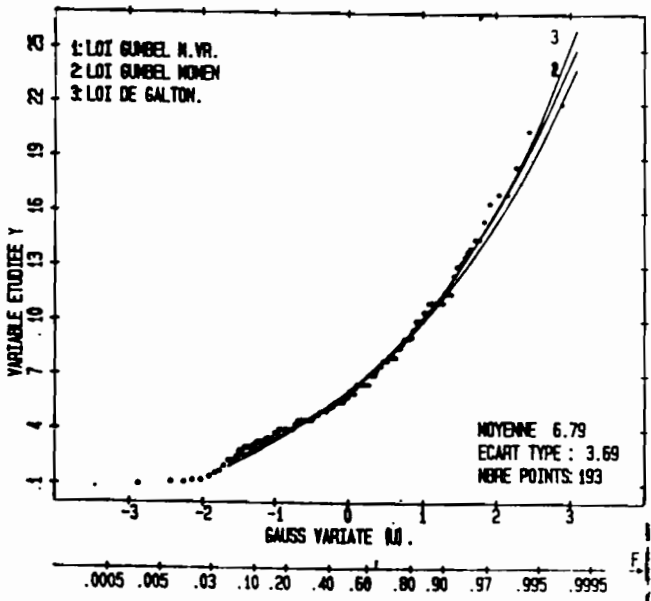
HAUTEUR MAX EN 5 MN (P01)



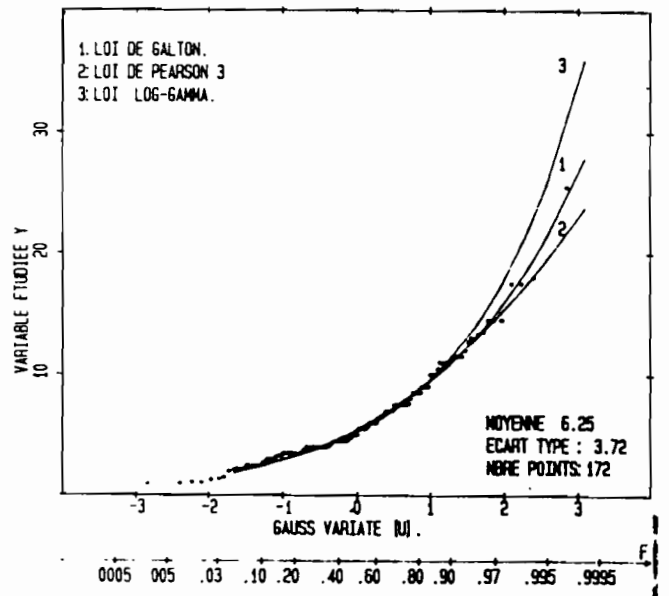
HAUTEUR MAX EN 5 MN (P12)



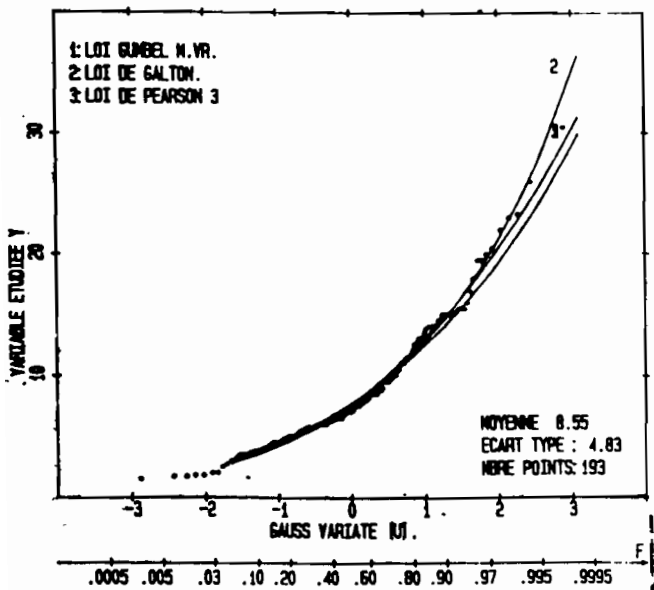
HAUTEUR MAX EN 10 MN (P01)



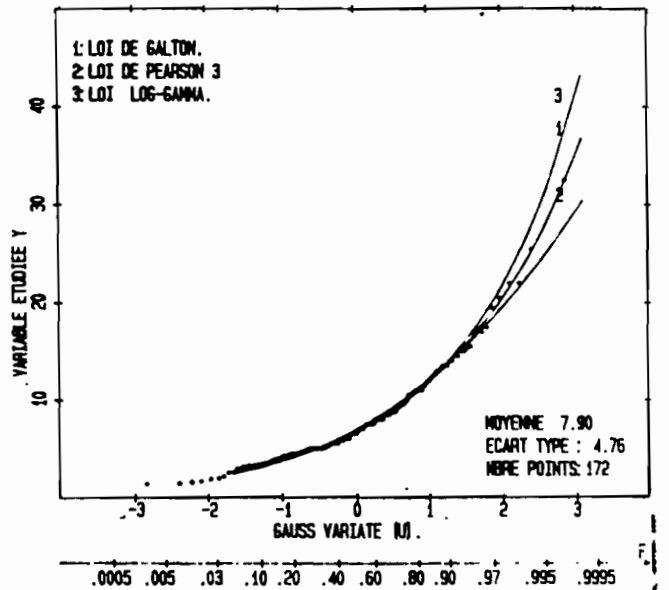
HAUTEUR MAX EN 10 MN (P12)



HAUTEUR MAX EN 15 MN (P01)

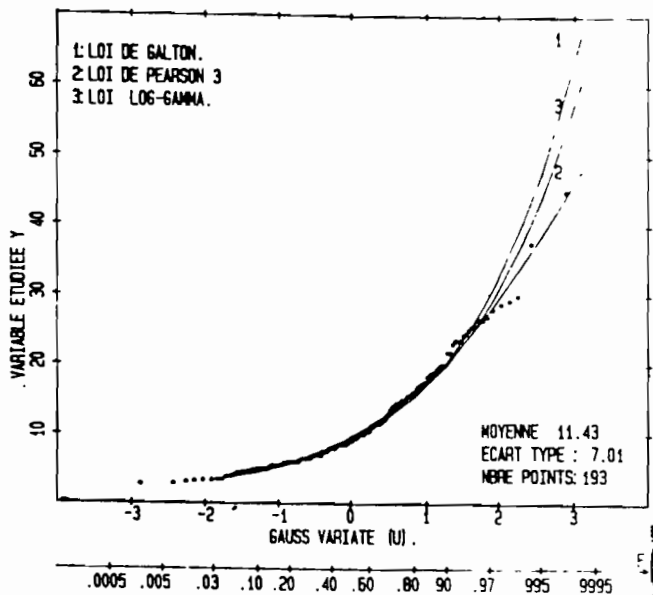


HAUTEUR MAX EN 15 MN (P12)

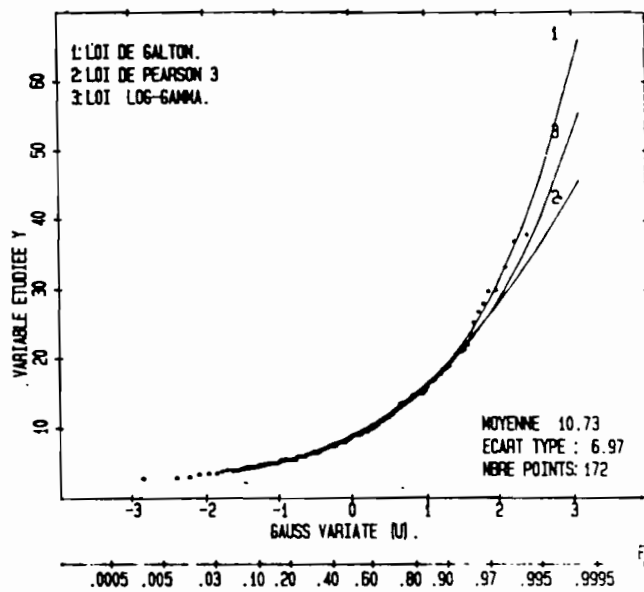


AJUSTEMENT SUR HAUTEUR MAXIMALE : CRITERE 2

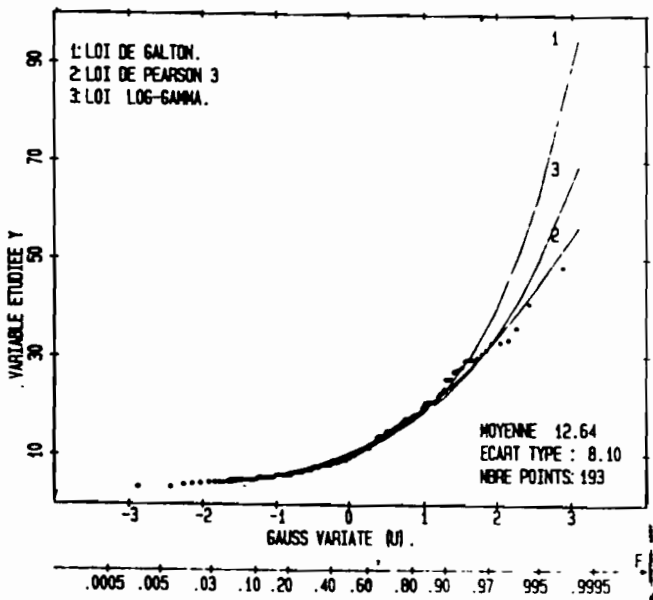
HAUTEUR MAX EN 30 MN (P01)



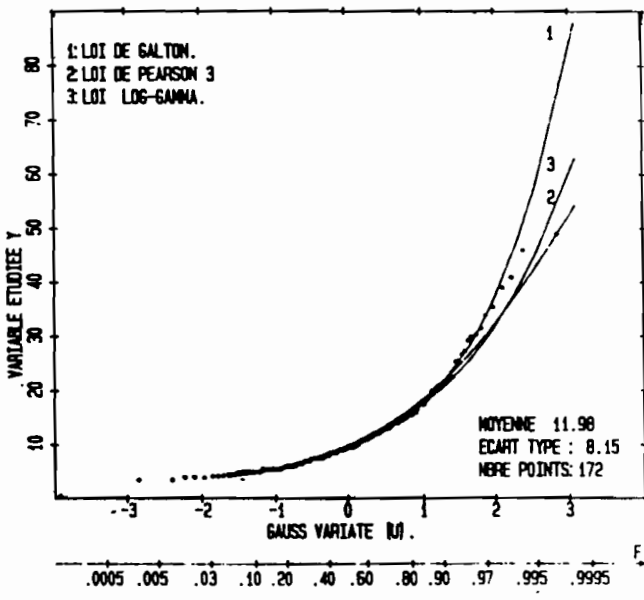
HAUTEUR MAX EN 30 MN (P12)



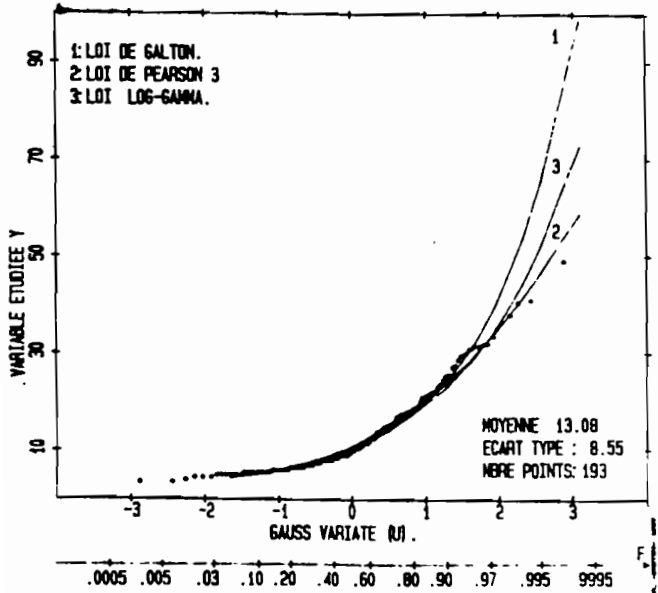
HAUTEUR MAX EN 45 MN (P01)



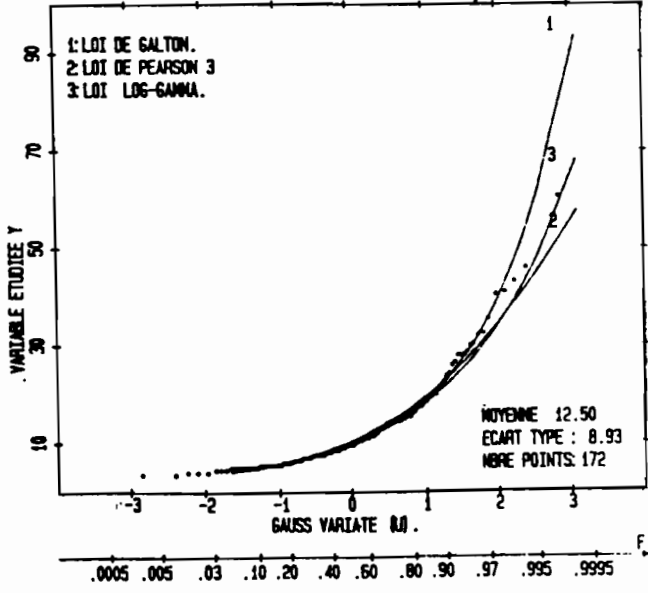
HAUTEUR MAX EN 45 MN (P12)



HAUTEUR MAX EN 60 MN (P01)

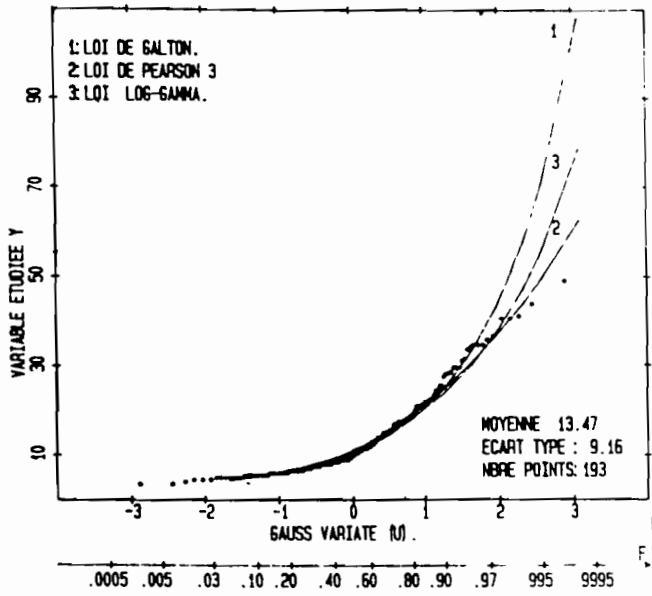


HAUTEUR MAX EN 60 MN (P12)

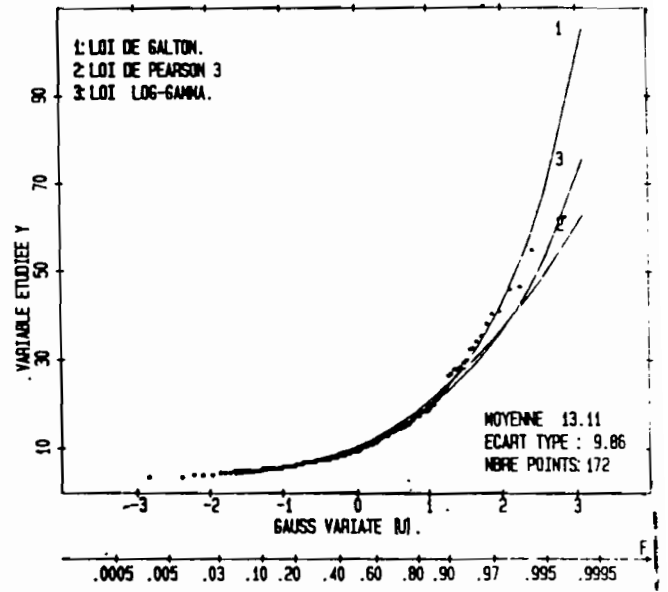


AJUSTEMENT SUR HAUTEUR MAXIMALE : CRITERE 2

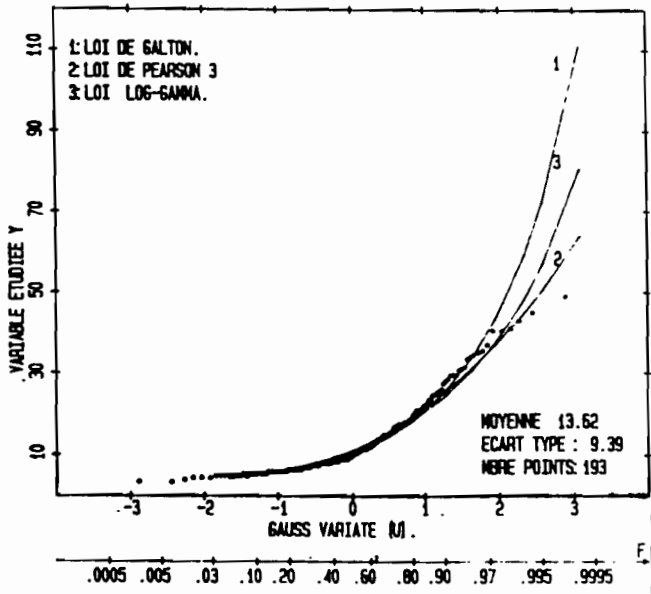
HAUTEUR MAX EN 90 MN (P01)



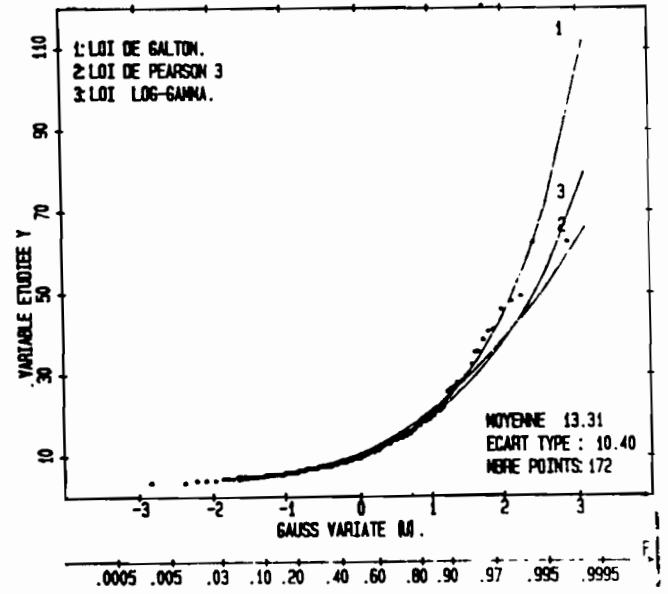
HAUTEUR MAX EN 90 MN (P12)



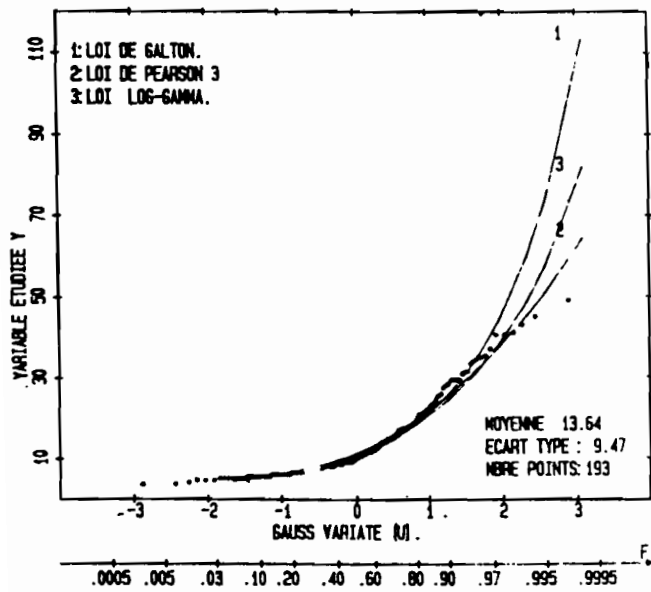
HAUTEUR MAX EN 120 MN (P01)



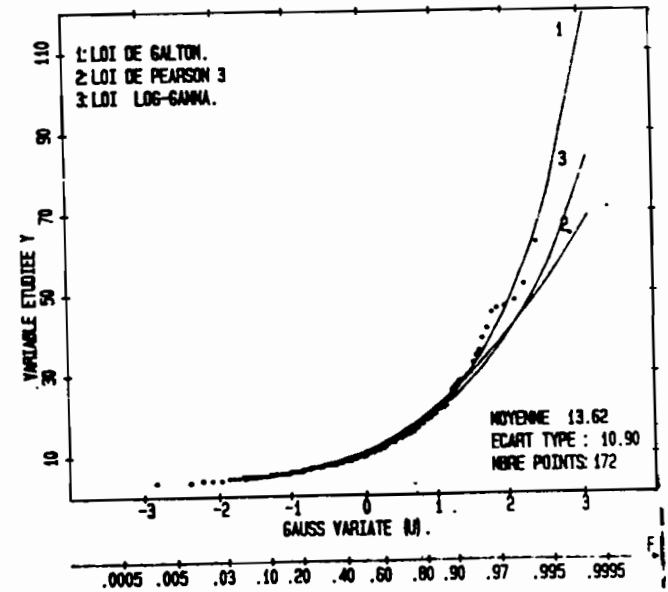
HAUTEUR MAX EN 120 MN (P12)



HAUTEUR MAX EN 180 MN (P01)



HAUTEUR MAX EN 180 MN (P12)

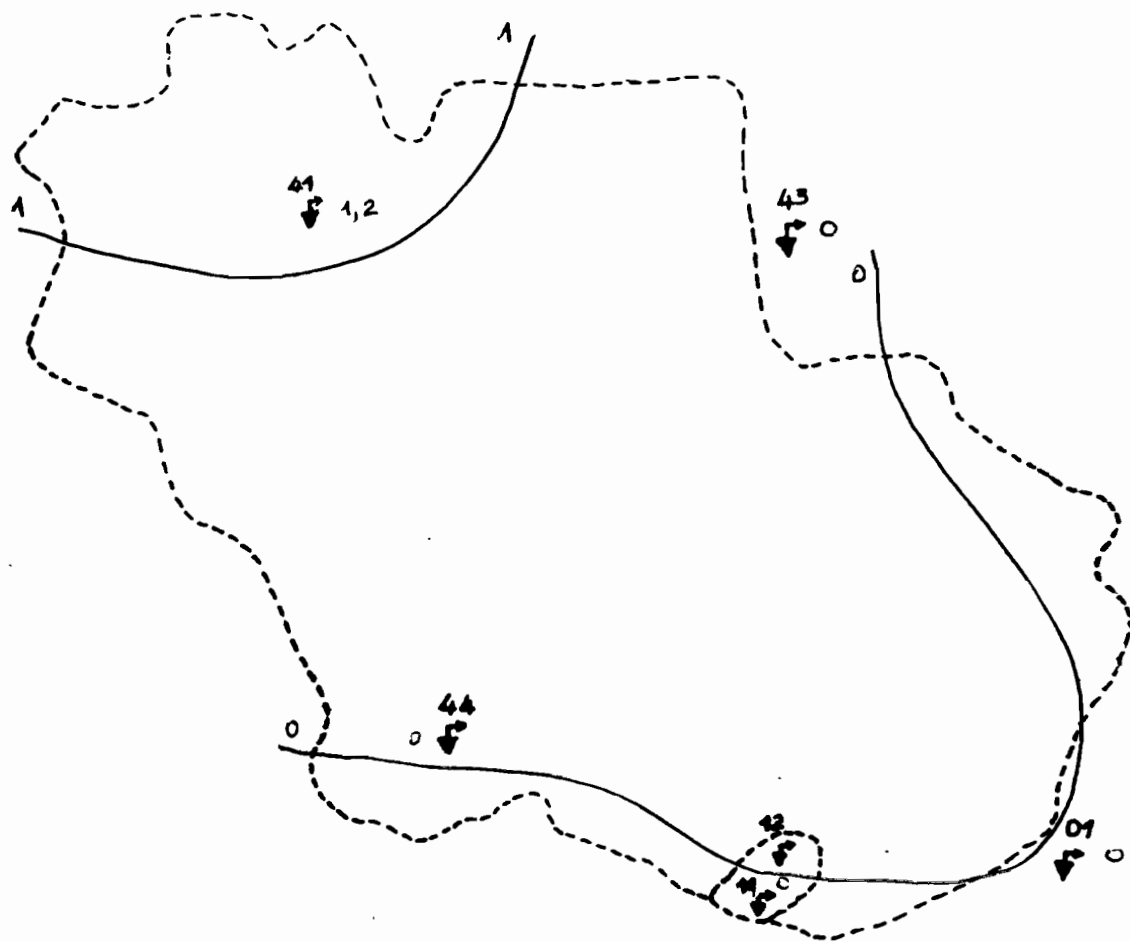


A N N E X E 3

Carte d'isohyètes de l'averse du 4 juillet 1986

CARTE D'ISCHYETES DE L'AVERSE DU 47/86 A 4h00.
(valeurs en mm)

7°40'W



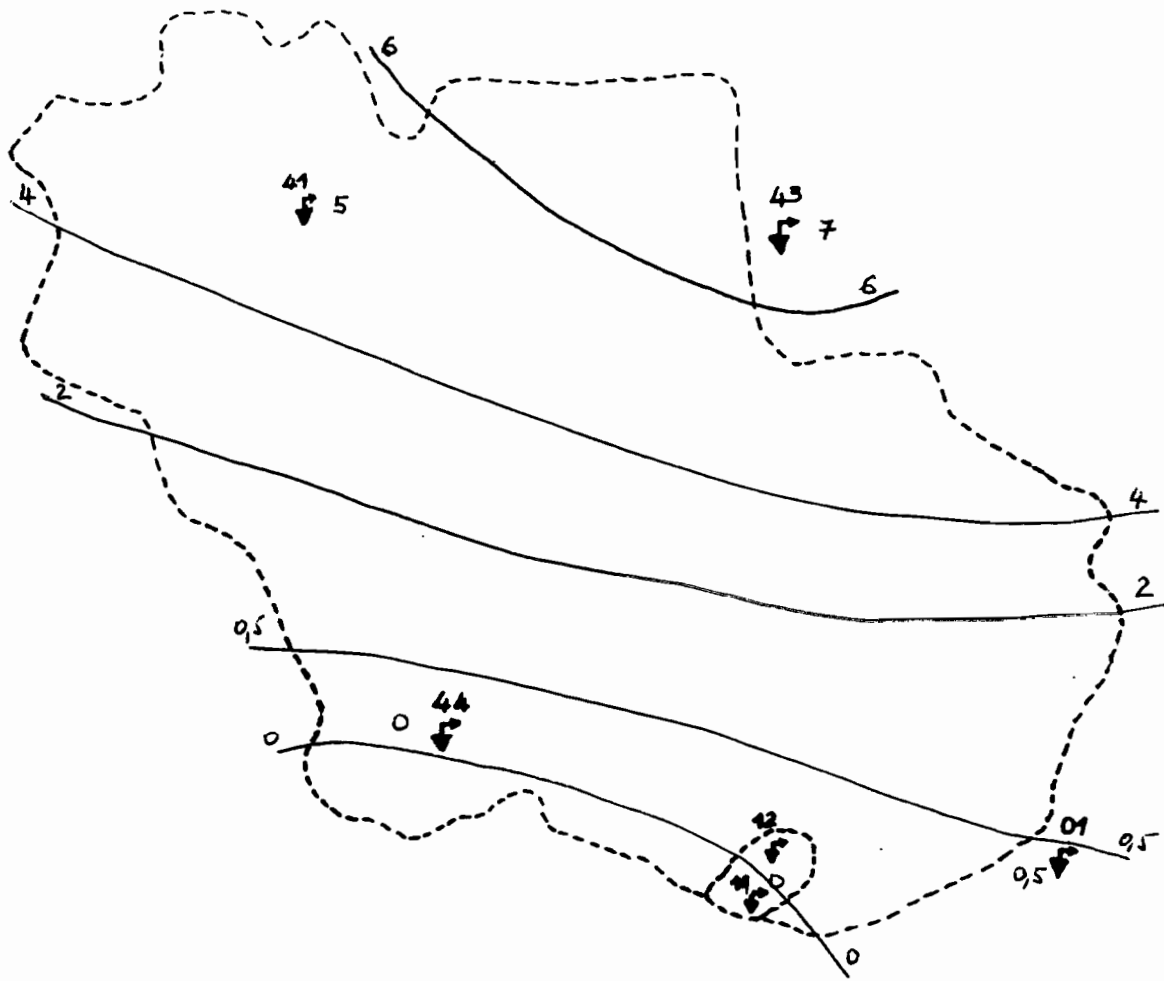
7°40'W

Echelle : 1/100 000

CARTE D'ISCHYETES DE L'averse DU 4/7/86 A 4h20

(Valeur en mm)

7°40'W



N 0° 30' N

N 0° 30' N

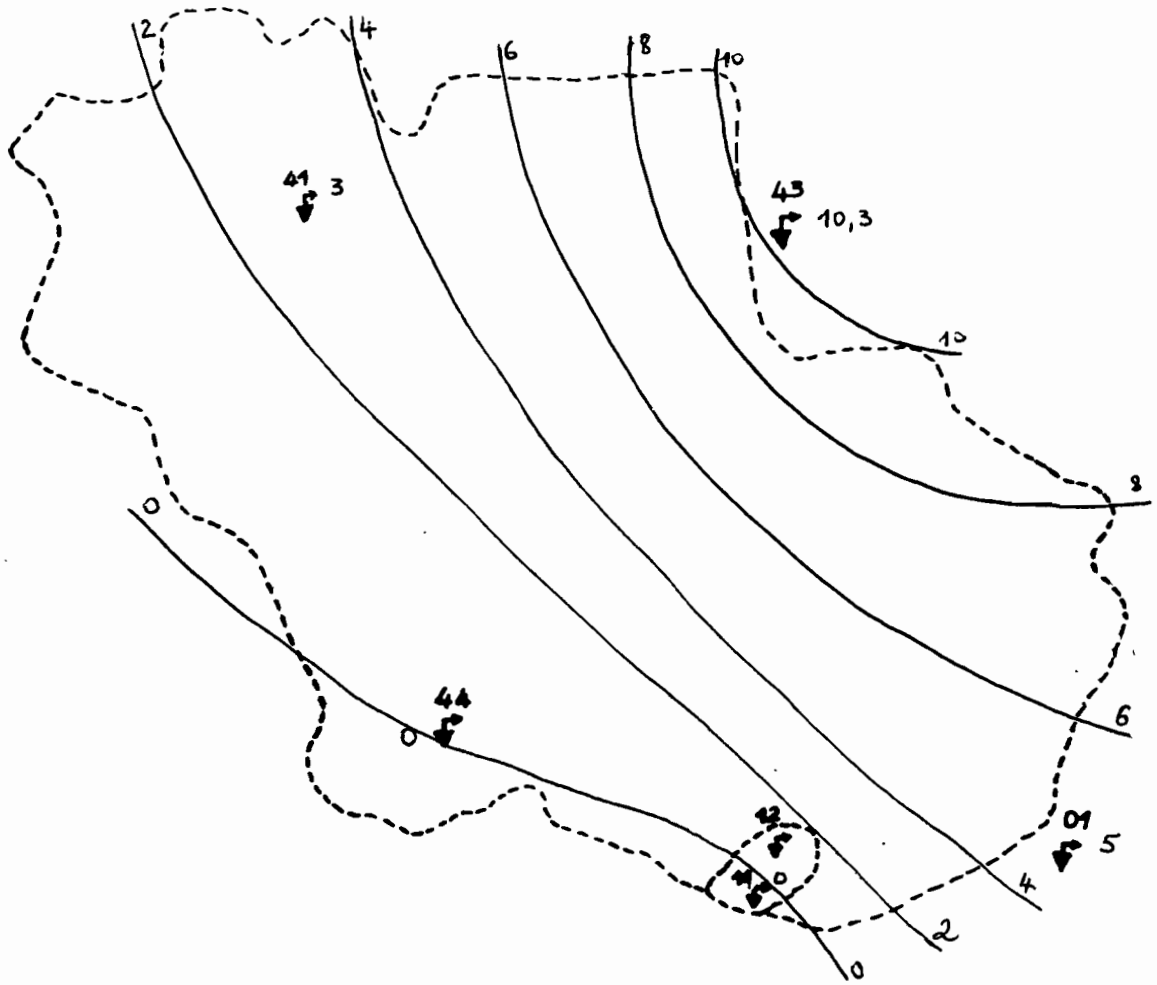
7°40'W

Echelle : 1/100 000

CARTE D'ISOHYETES DE L'AVERSE DU 4/7/86 A 4h40

(Valeurs en mm)

7°40'W



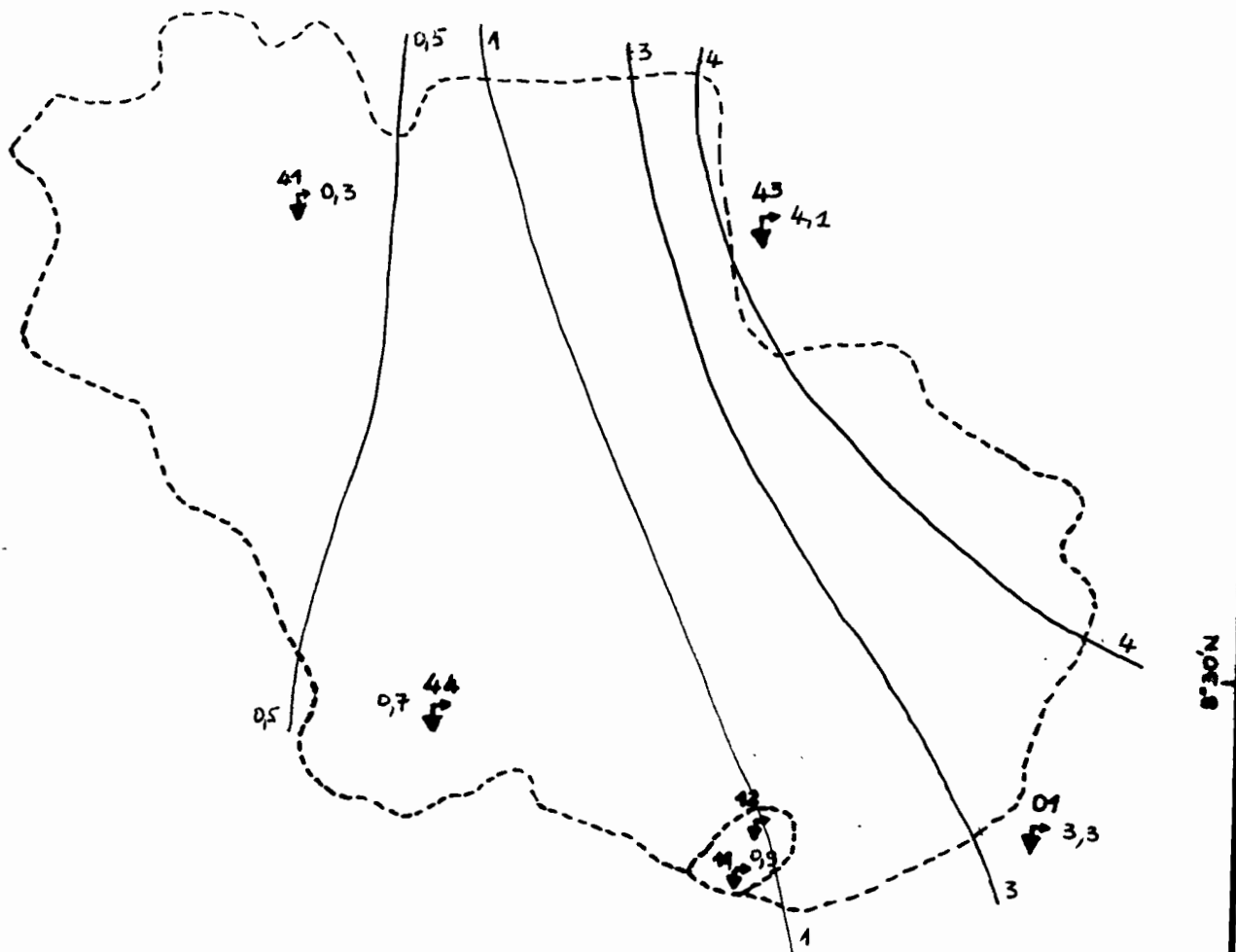
7°40'W

Echelle : 1/100 000

CARTE D'ISOHYETES DE L'AVERSE DU 4/7/86 A 5h00

(valeurs en mm)

7°40'W



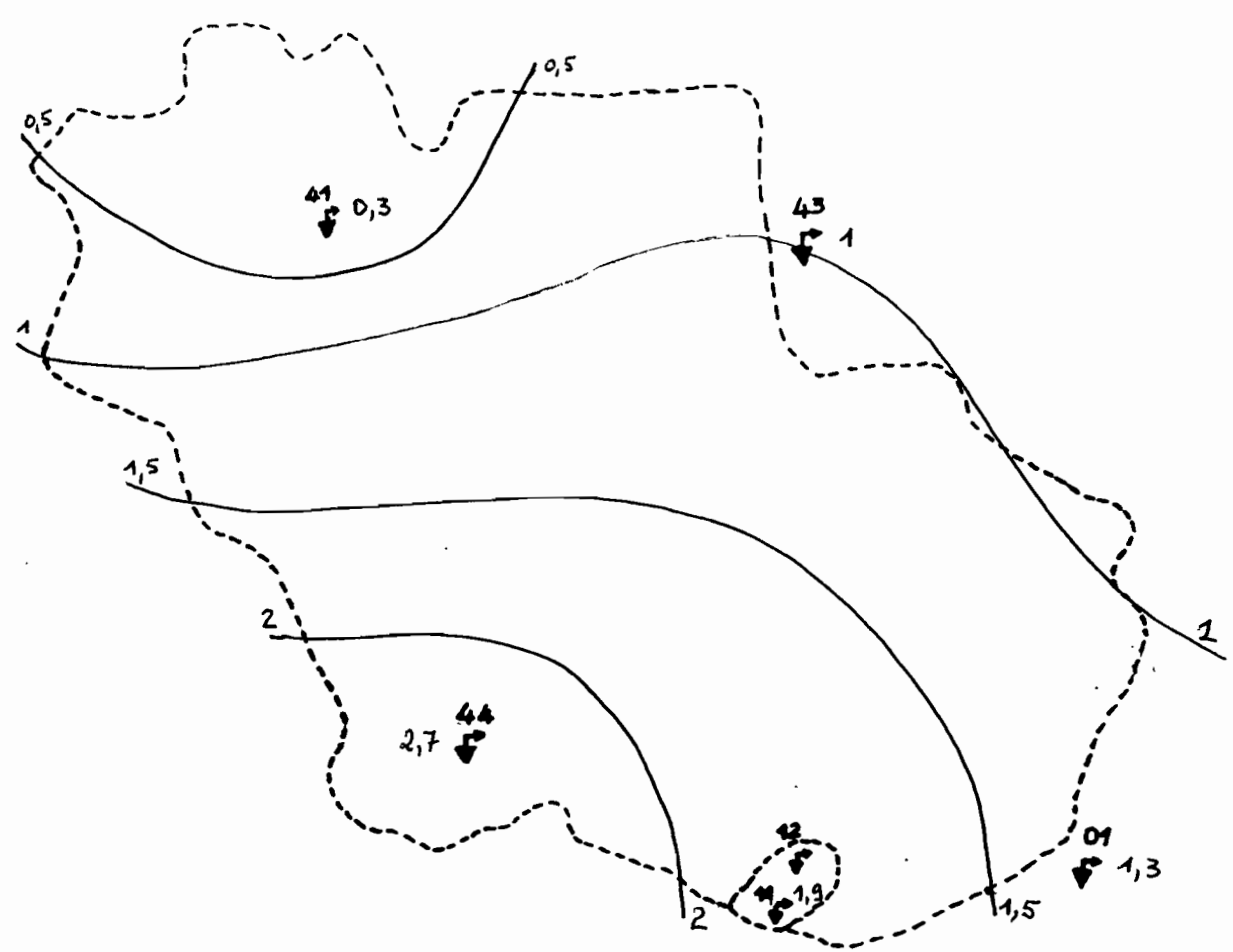
7°40'W

Echelle : 1/100 000

CARTE D'ISOHYETES DE L'averse DU 4/7/86 A 5h 20

(valeurs en mm)

7°40'W



7°40'W

Echelle : 1/100 000