

**Office de la Recherche
Scientifique et Technique
Outre-Mer**

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

SAÂDOUN Néjib

S O M M A I R E

	Page
A - PRESENTATION	3
B - Première année d'études : activités	4
I. Programme général d'hydrologie et de climatologie	5
II. Programme général d'informatique	8
III. Stage d'hydrométrie pratique	9
IV. Cours de DEA des Sciences de l'Eau à Paris VI	9
C - Deuxième année d'études	11
I. Projet mare d'Oursi	12
I.1. Présentation	12
I.2. Cadre géographique du bassin versant de la mare d'Oursi	13
I.3. Caractéristiques climatiques	14
II. Facteurs conditionnels de l'écoulement sur divers bassins versants de la mare d'Oursi.	22
II.1. Observations utilisées et définitions	22
II.2. Méthode de travail	24
II.3. Résultats pour chaque bassin versant	24
II.4. Conclusions	28
III. Analyse des crues par modèle global (hydrogramme unitaire)	30
III.1. Généralités	30
III.2. Résultats sur les bassins versants étudiés	31
IV. Activités sur le terrain	39
IV.1. Activités en saison sèche	39
IV.2. Activités en saison des pluies	40

	Page
V. Activités diverses	41
V.1. Hydrométrie de la Volta Blanche à Bagré et Yakala:	41
V.2. Mesure des transports solides de la Volta Blanche au site de Niaogho	41
V.3. Hydrométrie de la Volta Noire au site de Noubiel	43
V.4. Etude hydrologique de la plaine de Niéna-Dionkélé	44
V.5. Etude hydrologique de la plaine de Kamadéna	44
D - REMERCIEMENTS	46
E - BIBLIOGRAPHIE	47

A - PRESENTATION

La division des ressources en eau et en sol (DRES), au ministère de l'agriculture tunisien, a confié à l'ORSTOM ma formation de base en hydrologie. J'ai été donc envoyé au Bureau Central Hydrologique de l'ORSTOM à Paris pour accomplir ma première année d'études d'hydrologie. Malgré les difficultés matérielles en début d'année universitaire qui n'ont été aplanies qu'à la mi-mars grâce aux efforts conjugués de l'ORSTOM (Direction Générale et Mission Tunisie) et de la DRES, cette année m'a été d'un grand profit. Je résumerai mes principales activités le long de cette année dans la première partie de mon rapport.

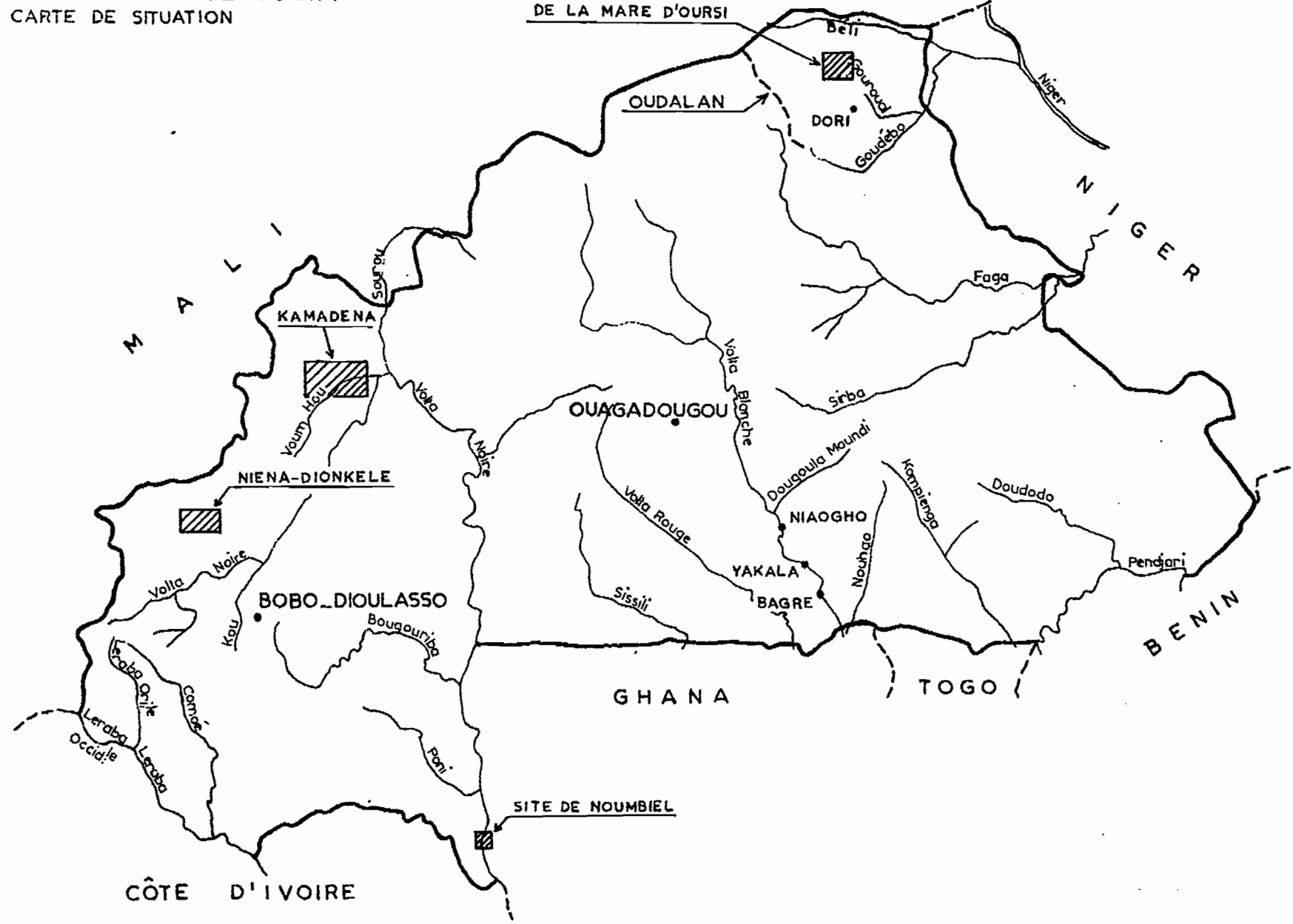
Au début du mois d'avril 1977, M. RODIER, chef du Bureau Central Hydrologique de l'ORSTOM m'apprend qu'après accord avec M.KHOUADJA, directeur de la DRES, je serai affecté en Haute Volta pour ma deuxième année d'études à l'ORSTOM.

J'ai rejoint Ouagadougou le 15 octobre 1977 où M. CLAUDE, directeur du centre ORSTOM de Ouagadougou m'apprend que mon travail sera essentiellement axé sur le projet Mare d'Oursi. Dans la partie de ce rapport traitant de cette deuxième année d'études, je présenterai succinctement ce projet, je résumerai les résultats auxquels j'ai abouti essentiellement sur les facteurs conditionnels de l'écoulement dans cette région et l'analyse des crues par modèle global (hydrogramme unitaire), enfin je passerai en revue rapidement les divers projets et études du centre auxquels je me suis intéressé (voir graphique 1).

REPUBLIQUE DE HAUTE-VOLTA
CARTE DE SITUATION

BASSIN VERSANT
DE LA MARE D'OURSIS

15°
13°
11°
9°



date
des.

16° 14° 12° 10°

Echelle = 1/4000000
12°

PARTIE B

PREMIERE ANNEE D'ETUDES : ACTIVITES

I Programme général d'hydrologie et de climatologie

Notre formation de base en hydrologie s'est déroulée de début octobre 1976 à fin juin 1977 au Bureau Central hydrologique de l'ORSTOM à Paris sous la direction de M. SIRCOULON. Cela nous a permis de passer en revue sous forme d'exercices à partir de données recueillies par les services de l'ORSTOM tous les travaux de dépouillements et d'analyses que doit conduire un hydrologue. Nous citerons pour mémoire les principaux exercices :

I.1. Morphologie du bassin versant

- Travail sur cartes au 1/200 000 ou au 1/50 000 avec courbes de niveau, delimitation du bassin, mesure de la superficie par planimètrage, hypsométrie, périmètre, indice de compacité, rectangle équivalent, indices de pente I_p et I_G , dénivelée spécifique DS , établissement du profil en long.

- Travail sur bassin versant à l'aide de photos aériennes et d'un stéréoscope : examen au stéréo, tracé de la limite du bassin versant et du réseau hydrographique, détermination de l'échelle moyenne exacte de la photo par comparaison à une carte géographique, détermination des éléments géomorphologiques possibles, détermination de l'ordre des différents talwegs par la méthode de Schum, mesure de la longueur des différents talwegs et calcul du rapport de confluence, du rapport de longueur et la densité de drainage.

I.2. Etudes des précipitations

Des exposés nous ont été donnés sur le système de classement utilisé à l'ORSTOM (support traditionnel classique et support informatique), sur les archivages des données (microfilm), sur le fichier pluviométrique "en l'état" et le fichier opérationnel et

sur l'abattement des pluies journalières.

Les exercices ont porté essentiellement sur :

- Le dépouillement manuel des pluviogrammes et établissement des hyétogrammes avec correction en cas de dérive temps ou dérive hauteur de pluie.
- Le dépouillement de plusieurs pluviogrammes à l'aide du lecteur de courbe BENSON LP 620 avec choix des points représentatifs du diagramme et étude des erreurs possibles.
- Le contrôle de la qualité des observations, détection des erreurs systématiques par la méthode des doubles masses.
- L'homogénéisation des données pluviométriques et l'extension de séries de totaux pluviométriques annuels.
- Le tracé d'un réseau d'isohyètes pour une averse sur un petit bassin (pour les pluies annuelles sur un grand bassin aussi). Calcul de la pluie moyenne sur le bassin par la méthode de Thiessen, par moyenne arithmétique non pondérée et par planimétrage des isohyètes.
- L'étude complète de la distribution statistique d'un échantillon de pluies annuelles (loi normale, loi de PEARSON III).
- L'analyse statistique d'un échantillon de pluies journalières (loi tronquée log-normale et de PEARSON III).
- L'étude de l'abattement des pluies journalières sur une petite surface.

I.3. Etablissement des données sur les débits, dites de base.

Plusieurs exposés nous ont été donnés à l'occasion des exercices notamment :

- Classement des données brutes (support traditionnel classique et support cartes perforées).
- Traitement automatique des données.
- Chaîne de programmes pour établir un annuaire.

Quant aux exercices, ils ont eu pour objet :

- Dépouillement d'un jaugeage par la méthode des isotaches et

des paraboles.

- Dépouillement manuel de limnigrammes et dépouillement sur la BENSON LP 620.

- Etablissement d'une courbe de tarage univoque et mise en barème.

- Etablissement d'une courbe de tarage non univoque.

- Traduction d'une année de relevés limnimétriques.

- Etablissement d'une fiche de données de base et du bilan hydrologique pour une année.

I.4. Etude sur les apports (grands bassins)

- Etude de la distribution statistique d'un échantillon de modules (loi normale)

- Etude de la distribution statistique d'un échantillon de débits annuels et mensuels (loi de Galton)

- Maximisation de l'information : régressions hydropluviométriques à l'échelle annuelle, extension de la période d'observation, calcul du gain d'information par le biais des intervalles de confiance,

: régressions hydropluviométriques à l'échelle mensuelle (régressions multiples non linéaires exécutées graphiquement).

Une conférence nous a été également donnée sur la simulation du fonctionnement d'un aménagement hydro-agricole (projet d'aménagement des eaux du Nord de la Tunisie).

I.5. Etiages et basses eaux

Il nous a été donné essentiellement de calculer le ou les coefficients médians de tarissement.

I.6. Crues des petits bassins

- Etablissement de l'hyétogramme moyen d'un BRE
- Analyse classique et analyse standard de l'hydrogramme
- Analyse des crues par modèle global - hydrogramme unitaire
- Reconstitution d'un hydrogramme complexe à l'aide de l'hydrogramme unitaire
- Estimation des crues exceptionnelles.

I.7. Crues des grands bassins

- Etude statistique d'un échantillon de débits maximaux annuels. Loi de GUMBEL, de FRECHET, de PEARSON III ; problème de l'évaluation des crues rares. Aperçu des méthodes utilisées.

II - Programme général d'informatique.

Tout le long de l'année un enseignement de programmation informatique nous a été dispensé au Bureau Central Hydrologique et comprenant :

- La lecture du cours programme FORTRAN IV mis au point par IBM. Les "examens" figurant sur le cahier d'exercices ont été corrigés par le responsable informatique.
- La lecture de certains programmes exécutés par le Service Hydrologique et publiés dans les Cahiers de l'Hydrologie et applications de ces programmes avec passage sur le terminal branché sur un 370 168 IBM)
- Mise au point de programmes simples (calcul des vitesses du courant d'eau à partir d'un jaugeage au moulinet, calcul des fréquences expérimentales, etc...), les messages d'erreurs sortant après premier passage à l'ordinateur sont interprétés sous la direction du responsable informatique.

III - Stage d'hydrométrie pratique.

Nous avons participé dans le cadre de notre formation de 1ère année à un stage d'hydrométrie pratique à Toulouse du 7 au 25 mars 1977 sous la direction de M. ALDEGHERI, Directeur de recherches à l'ORSTOM (1).

Durant ce stage, nous avons effectué des jaugeages :

- au câble avec canot à moteur et avec un saumon,
- à gué, avec perche et micro-perche,
- à partir d'un pont à l'aide d'une cyclopotence,
- chimiques par injection continue.

A chaque jaugeage nous nous sommes familiarisés avec le matériel, les compteurs à impulsions, les limnigraphes (OTTX, OTT XX et Neyrpic telemnip).

Nous avons également visité une station téléphérique sur un cours d'eau montagneux. Nous avons appris à niveler une échelle limnimétrique et à la rattacher à une borne IGN.

Dans le cadre de ce stage, nous avons suivi avec beaucoup d'intérêt deux conférences données à l'ENSHET de Toulouse, l'une portant sur les "Transports solides" donnée par M. GRUAT, l'autre sur les "Traceurs" présentée par M. ALQUIER.

Notre stage se termina par une visite du Service Régional des Aménagements des Eaux (SRAE) de Toulouse.

IV - Cours de DEA des Sciences de l'Eau à Paris VI

MM. DUBREUIL et SIRCOULON nous ont encouragé au début de l'année universitaire 1976-1977 à nous inscrire au cours de DEA des Sciences de l'Eau au laboratoire de Géologie Dynamique de l'Université de Paris VI sous la direction du Professeur LETOLLE. Nous avons suivi des cours d'hydrologie de surface (M. DUBREUIL), d'hydrogéologie (Pr CASTAGNY), de chimie des eaux (M. MARIOTTI), d'analyse spectrale (M. PINTA). Les travaux pratiques ont été dirigés par M. DRY.

(1) Voir aussi "rapport de stage d'hydrométrie pratique. Toulouse du 7 au 25 mars 1977".

Des options, dont deux sont obligatoires, sont offertes aux étudiants de ce DEA.

J'ai choisi :

- Traitement informatique des données hydrologiques (M. SIRCOULON)
- Régimes hydrologiques, intertropicaux, équatoriaux et méditerranéens (M. PIENS)
- Modèles mathématiques en hydrogéologie (M. de MARCILLY)

A la fin de cette année, j'ai présenté un mémoire de DEA ayant pour titre : " Régime des crues en France méditerranéenne : cas des petits bassins côtiers de Provence". J'ai participé du 4 au 8 juillet 1977 dans le cadre de ce DEA à un stage au Centre de recherches géodynamiques (Université Paris VI) de Thonon-les-Bains sous la direction de MM. BLAVOUX et OLIVE où je me suis familiarisé avec la sonde à neutrons, l'étude des bilans hydriques sur lysimètres. De nombreuses sorties sur terrain m'ont permis de mieux reconnaître certaines roches et surtout d'adapter les connaissances acquises en hydrogéologie à la réalité du terrain : nappes phréatiques et profondes : piézométrie, drainance, transmissivité, etc...

PARTIE C

DEUXIEME ANNEE D'ETUDES

I - Projet Mare d'Oursi

I.1. Présentation (1) (voir graphique 2)

Le présent projet, dénommé couramment "Opération Mare d'Oursi", s'est fixé comme but de faire l'inventaire des potentialités agro-sylvo-pastorales d'un milieu sahélien type, afin de proposer dans le futur des schémas d'aménagement compatibles avec l'écologie de la région.

Plusieurs organismes se sont associés à l'ORSTOM pour procéder à l'élaboration des données de base nécessaire à la connaissance du milieu physique et humain.

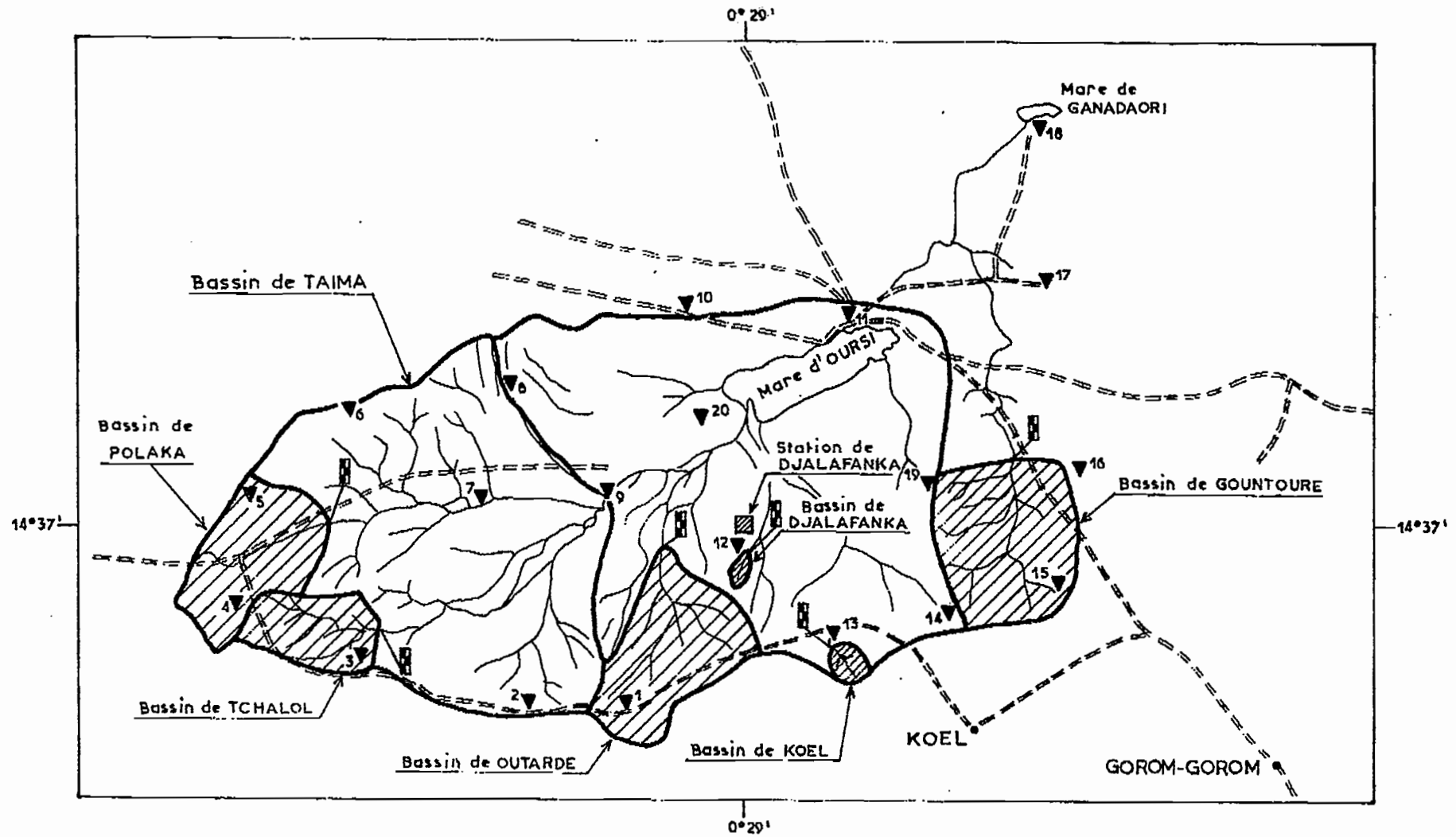
Les travaux sur le terrain ont commencé au début de l'année 1976 où ont été engagés des programmes pluriannuels (hydrologie, agronomie, phyto-écologie, géomorphologie, étude forestière). En 1977, il y a eu élargissement à certaines études (botanique, évaluation de la biomasse, étude de l'érosion) et mise en place des programmes complémentaires sur le milieu humain (agro-économie, démographie). L'année 1978 devait voir la poursuite de tous ces programmes.

Cela impliquait la maintenance au campement installé près d'Oursi d'un personnel d'exécution permanent, d'un parc de véhicules et de matériel fonctionnant sans défaillance, même et surtout pendant l'hivernage, et la coordination des différents chercheurs sur le terrain.

En ce qui concerne l'hydrologie, l'étude hydrologique porte sur les phénomènes de ruissellement et sur le bilan du cycle de l'eau sur des bassins versants représentatifs alimentant la Mare d'Oursi.

(1) "Rapport scientifique annuel année 1977 projet Mare d'Oursi"
Ouagadougou. Décembre 1977. [16]

MARE D'OURS



▼ Totalisateur
 ⏏ Station limnimétrique

▨ station climatologique
 ▨ Bassin observé

ECHELLE : 1/200.000

I.2. Le cadre géographique du bassin versant de la Mare d'Oursi

Nous ne nous étendrons pas sur le détail du cadre géographique, le rapport de campagne [15] l'a longuement passé en revue et nous allons nous contenter d'en tracer les grandes lignes.

I.2.1. Situation.

Le bassin versant de la Mare d'Oursi s'encadre entre les longitudes 0°26' et 0°40' W et les latitudes 14°33' et 14°41' Nord. Sa superficie est d'environ 275 km². C'est une dépression endoréique occupée par la mare à l'extrémité nord-est (sur une surface de 14 km²) bloquée par le cordon dunaire d'Oursi au nord et séparée du bassin du Gountouré par un seuil.

I.2.2. Reliefs.

Avec une altitude moyenne de 300 m, la majeure partie du bassin est constitué de glacis à pente faible ceinturée par quelques reliefs de faible altitude (les points culminants Tin Edjar 498 m, Kolèl 448m).

D'un point de vue géomorphologique, le socle date du précambrien et peut se subdiviser en plusieurs unités [10].

- Un système dunaire au nord, plus ou moins fixé par la végétation sans réseau hydrographique

- Des séries de collines et de reliefs granitiques à l'ouest et au sud donnant naissance à des glacis convergeant vers la mare. Le réseau hydrographique bien marqué à l'amont se dégrade vite dès que la pente devient faible.

- Sous le massif et le piémont de Kolèl ainsi que les affleurements granitiques du Gountouré se développent des pédiments doucement inclinés vers la mare. Les conditions d'un ruissellement intense sont pondérées par la faible distance de ces reliefs à la mare et l'existence de zones cultivées sur placages sableux éoliens.

- Le pourtour de la mare est une zone plane, entrecoupée d'un réseau de canaux anamorphosé, inondée périodiquement.

I.2.3. Végétation.

Le couvert végétal est très pauvre dans l'ensemble et soumis à de fortes variations saisonnières ou pluriannuelles liées aux variations climatiques. On peut distinguer grossièrement :

- la végétation de dunes au nord : sol couvert quasi continuellement par une végétation herbacée, végétation ligneuse très clairsemée,

- la végétation des bas fonds et de bord de mare : couverture herbacée dense en hivernage, peuplement ligneux assez dense surtout le long des marigots,

- la végétation des glacis : tapis herbacé peu dense et discontinu, ligneux mal développés et souvent morts, zones cultivées (mil) sur les placages éoliens sableux.

- le "bush" à l'ouest du bassin : végétation de "brousse tachetée" plus ou moins dégradée formée d'un tapis herbacé discontinu et d'une végétation arbustive (épineux) relativement dense.

I.3. Caractéristiques climatiques.

I.3.1. Généralités.

Les variations de température et d'hygrométrie permettent de distinguer quatre saisons (1) :

- Une saison sèche et fraîche de novembre à mars avec des minima nocturnes parfois inférieurs à 6°C et des maxima diurnes de l'ordre de 30 à 35° C, une amplitude diurne moyenne de l'ordre de 18° C et une humidité relative pouvant s'abaisser à 7 % sous l'effet de l'alizé continental. En outre, pendant cette période le phénomène de la brume sèche atténue considérablement l'inso-
lation.

(1) BARRAL(H.) [3], les chiffres cités sont ceux calculés à partir des observations à la station climatologique de DJALAFAN-
KA [22]

- Une saison sèche et chaude de mars à juin caractérisée par une moyenne des maxima de 40.4°C en mai. Pendant cette période l'humidité est légèrement plus élevée (30 % à midi en juin), et le réchauffement nocturne entraîne une nette diminution de l'amplitude diurne (13°C) cependant que l'alizé continental est relayé par l'harmattan.

- Une saison humide de juin à octobre, caractérisée par une montée de l'hygrométrie précédant de plusieurs semaines les premières précipitations (humidité relative moyenne à 6 h du matin : 57 % en juin, 78 % en juillet, 81 % en août, 79 % en septembre) s'accompagnant d'une baisse sensible des températures maximales qui sont alors de l'ordre de 30 à 35°C . La date moyenne de début de la saison des pluies est le 15 juin. La saison des pluies est centrée sur le mois d'août qui reçoit plus du tiers des précipitations annuelles, elle prend fin avec le mois de septembre.

- Une saison relativement chaude et encore humide : de la mi-septembre à la mi-novembre marquée par une remontée des températures, avec une moyenne des maxima de l'ordre de 38°C et une humidité relative encore notable (63 % à 6 H du matin)

	Jan ⁽¹⁾	Fev ⁽¹⁾	Mar ⁽²⁾	Avr ⁽²⁾	Mai ⁽²⁾	Juin ⁽²⁾	Juil ⁽³⁾	Août ⁽⁴⁾	Sep ⁽⁴⁾	Oct ⁽⁴⁾	Nov ⁽⁴⁾	Déc ⁽⁴⁾
Température mini (°C)	15.8	16.4	17.0	(23.0) ⁽⁵⁾	(26.8) ⁽⁵⁾	26.7	24.2	22.4	22.9	23.0	18.4	14.6
Température maxi (°C)	32.3	33.9	35.7	40.0	40.4	39.0	32.4	33.1	35.6	38.1	35.2	31.9
Température ss abri à 12 h	29.7	32.2	32.7	37.9	37.6	35.9	30.4	30.7	33.1	35.3	33.3	29.7
Humidité relative à 6 h (%)	32.3	31.2	15.1	20.0	42.0	57.0	77.7	81.1	78.7	63.3	34.6	36.7
Humidité relative à 12 h (%)	19.0	19.2	7.2	11.0	26.0	30.0	49.9	57.8	47.6	31.9	13.6	21.1

Tableau 1 : Caractéristiques climatiques mesurées à la station météorologique de Djalafanka [22]

(1) moyennes calculées sur deux années d'observations 1977 et 1978

(2) moyennes calculées sur la seule année 1977

(3) moyennes calculées sur la dernière décade de juillet 1976 et le mois de juillet 1977

(4) moyennes calculées sur deux années d'observations 1976 et 1977

(5) manque de relevés pour la dernière décade d'avril 1977 et la première décade de mai 1977 (thermomètre cassé).

1.3.2. Régime des précipitations.

La pluviométrie est très irrégulière dans le temps et dans l'espace. L'isohyète 400 mm, si tant est que cette notion représente une réalité climatique dans cette région, passe approximativement le long du cordon dunaire d'Oursi.

Deux années d'observations ne suffisent pas à caractériser le régime pluviométrique sur le bassin versant. Nous donnerons les éléments tirés des observations à trois stations longue durée de la région : Dori (50 ans), Gorom-Gorom (22 ans), Markoye (22 ans). C'est la station de Gorom qui semble la plus représentative du régime pluviométrique sur la mare d'Oursi.

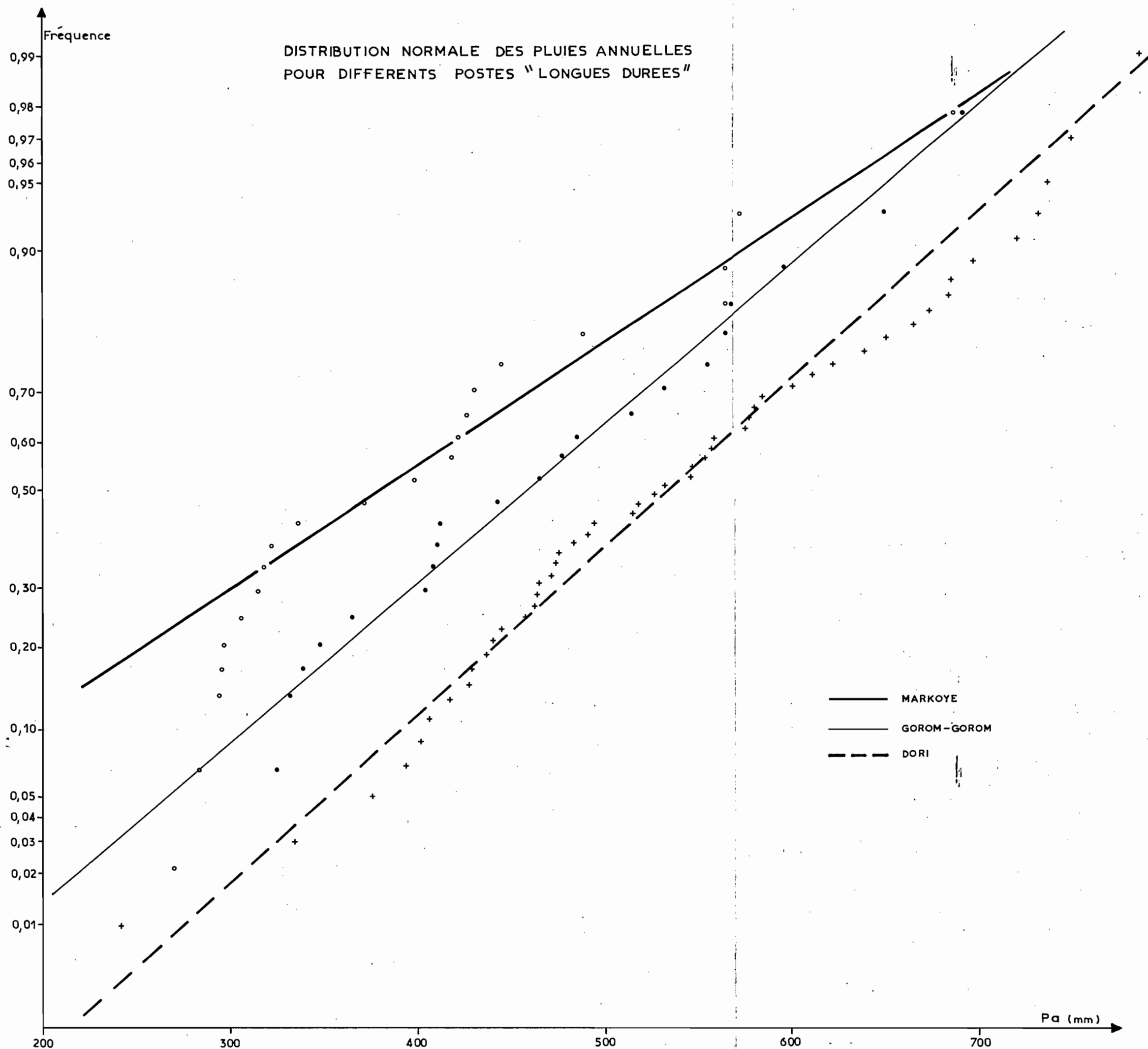
1.3.2.1. Pluviosité annuelle.

L'étude a été effectuée sur la période 1922-1975. Manquent cependant les années 1923, 1947, 1948 et 1949. Pour Gorom-Gorom et Markoye, la période d'observation s'étend de 1956 à 1977.

La loi de Gauss a été adaptée aux échantillons des hauteurs annuelles calendaires de précipitations. Elle s'ajuste assez bien pour les stations de Dori et de Gorom-Gorom mais médiocrement pour Markoye, ce qui pourrait être imputé à la qualité des observations sur cette station (voir graphique 3).

Les paramètres et leurs intervalles de confiance à 90 % pour cette loi sont : (tableau 2)

	Dori	Gorom-Gorom	Markoye
Pluie moyenne	538 ± 52 mm	458 ± 53 mm	401 ± 51 mm
Ecart type	118 ± 37 mm	119 mm	114 mm
Pluie médiane	534 ± 52 mm	97 ≤ S ≤ 164 459 ± 53 mm	94 ≤ S ≤ 157 380 ± 51 mm
Pluie décennale sèche	391 ± 71 mm	310 ± 71 mm	186 ± 68 mm
Pluie décennale humide	675 ± 71 mm	608 ± 71 mm	572 ± 68 mm
Coefficient K_3	1.73	1.96	3.08



I.3.2.2. Répartition mensuelle

La répartition mensuelle des précipitations admet les valeurs remarquables suivantes en mm sur le poste de Gorom-Gorom (tableau 3)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Max	1.1	2.6	15.0	9.0	81.3	189.8	204.4	301.3	177.6	65.6	11.0	11.0
Min	0	0	0	0	0	5.5	39.9	68.6	22.0	0	0	0
Moy	0.1	0.1	1.6	1.4	20.7	69.7	124.0	163.5	71.7	10.2	0.5	0.5
Méd	0	0	0	tr	17.0	60.9	118.1	159.0	62.5	5.3	0	0

Le total cumulé de la période juin-septembre représente, en valeur moyenne 429 mm soit 92,4 % du total.

Pour la période mai-octobre (saison des pluies), la valeur moyenne est de 460 mm soit 99.1 % du total.

Le mois de juillet avec 124 mm de pluie en moyenne représente 26.7 % du total.

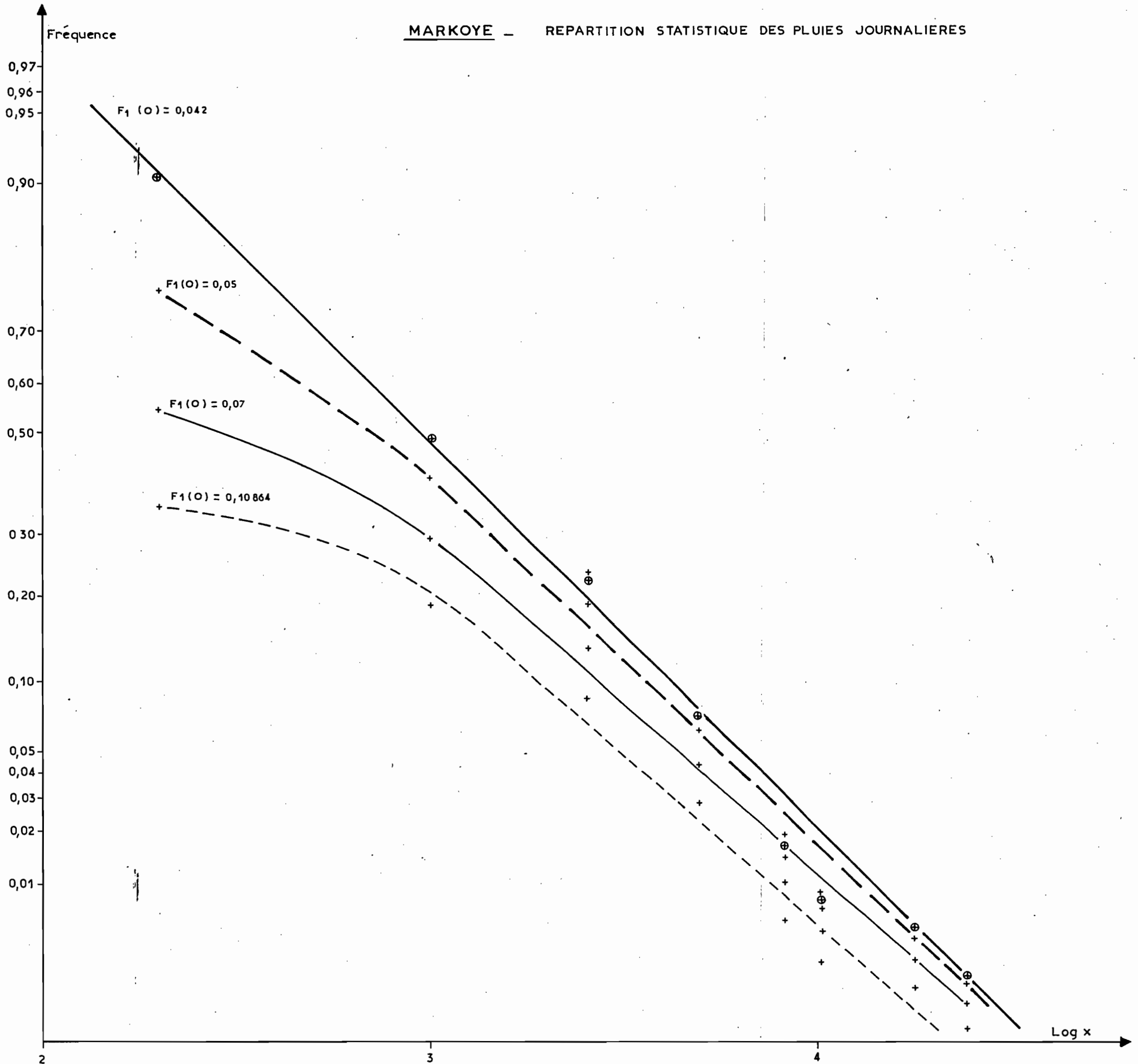
Ces chiffres pour le mois d'août sont respectivement de 163.5 mm soit 35.2 % du total.

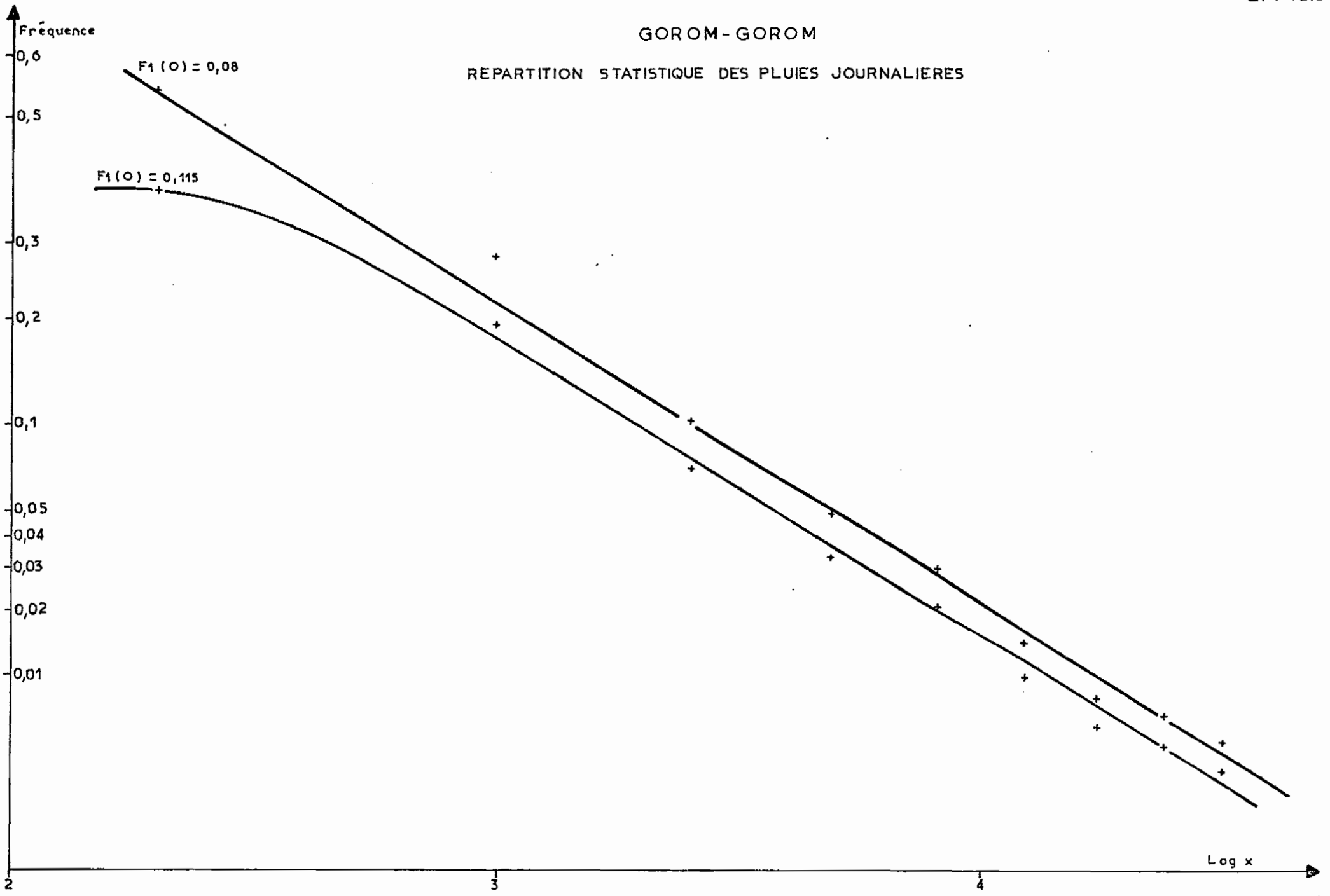
I.3.2.3. Précipitations en 24 heures (graphiques 4 et 4 bis)

A Gorom-Gorom, il pleut en moyenne 42 jours par an, mais les pluies ne dépassent 20 mm que 8 jours par an. L'adaptation d'une loi log-normale tronquée (seuil de troncature 0.1 mm) aux valeurs des précipitations journalières conduit aux résultats suivants :

Pluie journalière maximale de fréquence:	valeur calculée	valeur observée
annuelle	46.2 mm	45.5 mm
1/2 ans	58.7 mm	58.4 mm
1/5 ans	77.1 mm	73.2 mm
1/10 ans	93.5 mm	95.7 mm
1/20 ans	111.5 mm	-
1/50 ans	138.4 mm	-
1/100 ans	162.5 mm	-

MARKOYE — REPARTITION STATISTIQUE DES PLUIES JOURNALIERES





Ceci semble concorder avec les relevés faits sur le bassin versant de la mare d'Oursi mais nous avons vu (1) que les variations locales sont très fortes pour une même averse et lorsque l'on multiplie les postes d'observation, on multiplie la probabilité d'enregistrer en un point une averse de fréquence élevée.

I.3.2.4. Etude des averses individualisées

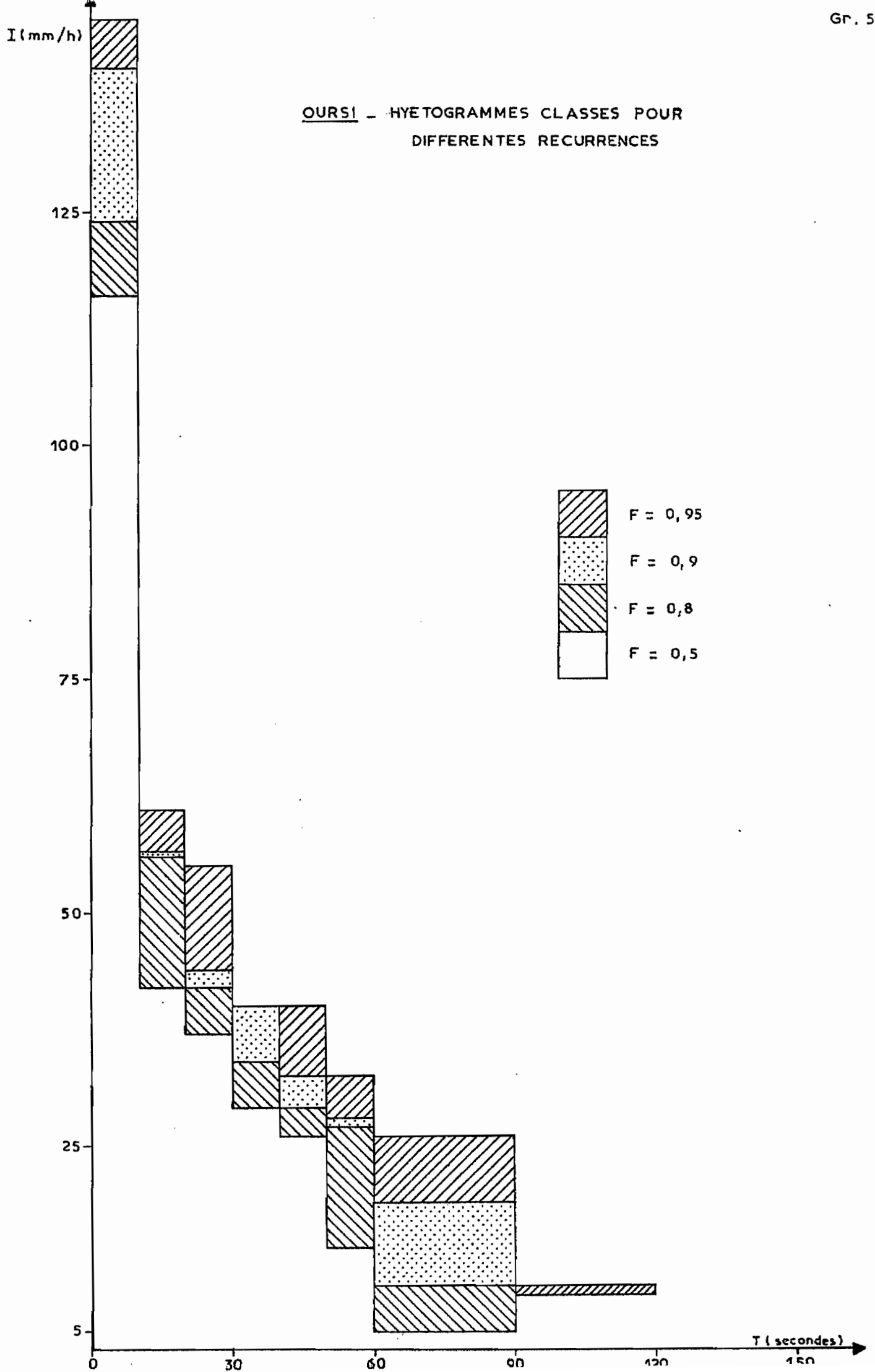
Il est évident que deux années d'observations ne nous permettant pas de faire une telle étude. Nous allons nous appuyer sur les résultats du paragraphe précédant et sur l'étude de Y. BRUNET-MORET [4] pour l'étude des intensités durant une averse. Des courbes d'intensités-durées de différentes récurrences présentées par BRUNET-MORET, nous pouvons, en regard de la pluviométrie journalière étudiée sur Gorom-Gorom, tirer le tableau suivant des intensités maximales des averses pour différentes durées (10 à 180 mm) et différentes fréquences ou récurrences (en mm/h)

Durée de la tranche en mm / F. r	0.5 2 ans	0.8 5 ans	0.9 10 ans	0.95 20 ans
10	116	124	140	145
20	79	90	98	103
30	65	74	80	87
40	56	64	70	75
50	50	57	63	68
60	44	52	58	62
90	31	38	45	50
120	25	31	36	40
180	18	22	25	28

Tableau 4 : Intensités maximales (en mm/h) des averses pour différentes durées et différentes fréquences ou récurrences à Gorom-Gorom.

(1) voir rapport de campagne [15]

OURS I - HYETOGRAMMES CLASSES POUR
DIFFERENTES RECURRENCES



Des courbes d'intensités-durées, on déduit facilement :

- Les hyétogrammes classés des averses de différentes récurrences

La première tranche correspond à l'intensité en 10 mm, la seconde tranche (durée 10 mm) a une valeur telle que l'intensité moyenne des deux premières tranches corresponde à l'intensité maximale en 20 minutes, la troisième tranche (en 10 minutes) a une valeur telle que l'intensité moyenne des trois premières tranches corresponde à l'intensité maximale en 30 minutes, etc..

Le tableau 5 représente les valeurs des hyétogrammes classés (hauteur de chaque tranche en mm) pour différentes récurrences

Durée de la tranche (mn) / F	0.5	0.8	0.9	0.95
10	19.3	20.7	23.3	24.2
10	7.0	9.3	9.3	10.2
10	6.2	7.0	7.3	9.2
10	4.8	5.7	6.7	6.7
10	4.3	4.8	5.8	6.7
10	2.3	4.5	5.5	5.5
30	5.0	5.0	9.5	13.0
30	4.5	4.5	4.5	10.0
60	5.0	8.0	8.0	8.0

Tableau 5 : Hyétogrammes classés (hauteur de chaque tranche en mm) pour différentes récurrences.

- Les caractéristiques du corps de l'averse

Du hyétogramme classé, on déduit, en sommant les tranches supérieures au seuil de 14 mm/h (1), la hauteur et la durée du corps (ou pluie utile) de l'averse

(1) Notons que l'intensité limite retenue est un seuil moyen valable pour la majeure partie des averses de la saison efficace des pluies.

F	Récurrence	Hauteur du corps (mm)	Durée (mn)
0.5	2 ans	43.9	60
0.8	5 ans	54.5	75
0.9	10 ans	68.8	100
0.95	20 ans	85.5	130

Tableau 6 : Hauteur et durée du corps de l'averse pour différentes fréquences ou récurrences.

II - Facteurs conditionnels de l'écoulement

Cette étude a été menée sur 5 bassins versants. Nous avons mis de côté le bassin versant de Djalafanka où nous ne disposerons que d'une seule année d'observation et celui de Taïma du fait de sa grande surface, de son hétérogénéité et du manque de finesse des observations surtout pendant la campagne 1976;

II.1. Observations utilisées et définitions

Tous les écoulements dont nous avons pu disposer de l'enregistrement en 1976 et 1977 ont été utilisés.

La pluie moyenne P_m est obtenue en pondérant par les coefficients de Thiessen les différentes quantités de pluie relevées dans les pluviomètres et pluviographes de chaque bassin versant.

Le coefficient d'écoulement K_r est le rapport de la lame écoulée par la pluie moyenne exprimé en pour cent. Ne disposant pour le calcul des surfaces des différents bassins versants que d'une mosaïque de photos aériennes au 1/50 000 non redressées du bassin de la mare d'Oursi, il est évident que la précision des calculs en souffre. Ce coefficient K_e peut être donc surestimé ou sous-estimé surtout pour les petits bassins versants tel celui de Koël (dont l'estimation de la surface varie de 0.975 km² à 1.5 km²)

L'indice d'humidité IH : Nous avons adopté pour cet indice d'humidité ou indice de saturation antérieur comme le suggère DUBREUIL [1] une fonction de la chronique des pluies antérieures : $I_H = \frac{10}{\sum P_a t_a^{-1}}$ équation dans laquelle nous effectuons la somme sur 10⁴ jours antérieurs à l'évènement des produits $P_a t_a^{-1}$ relatifs à chaque pluie antérieure, P_a étant la hauteur moyenne d'une pluie antérieure et t_a l'intervalle de temps antérieur qui sépare cette pluie de l'évènement considéré.

L'indice de végétation I_v : Nous avons adopté, comme nous l'a suggéré M. ROCHE (lors de son passage à Oursi), en fait un indice pluviométrique qui peut être corrélé à la croissance de la végétation. Pour cela, nous nous sommes appuyés essentiellement

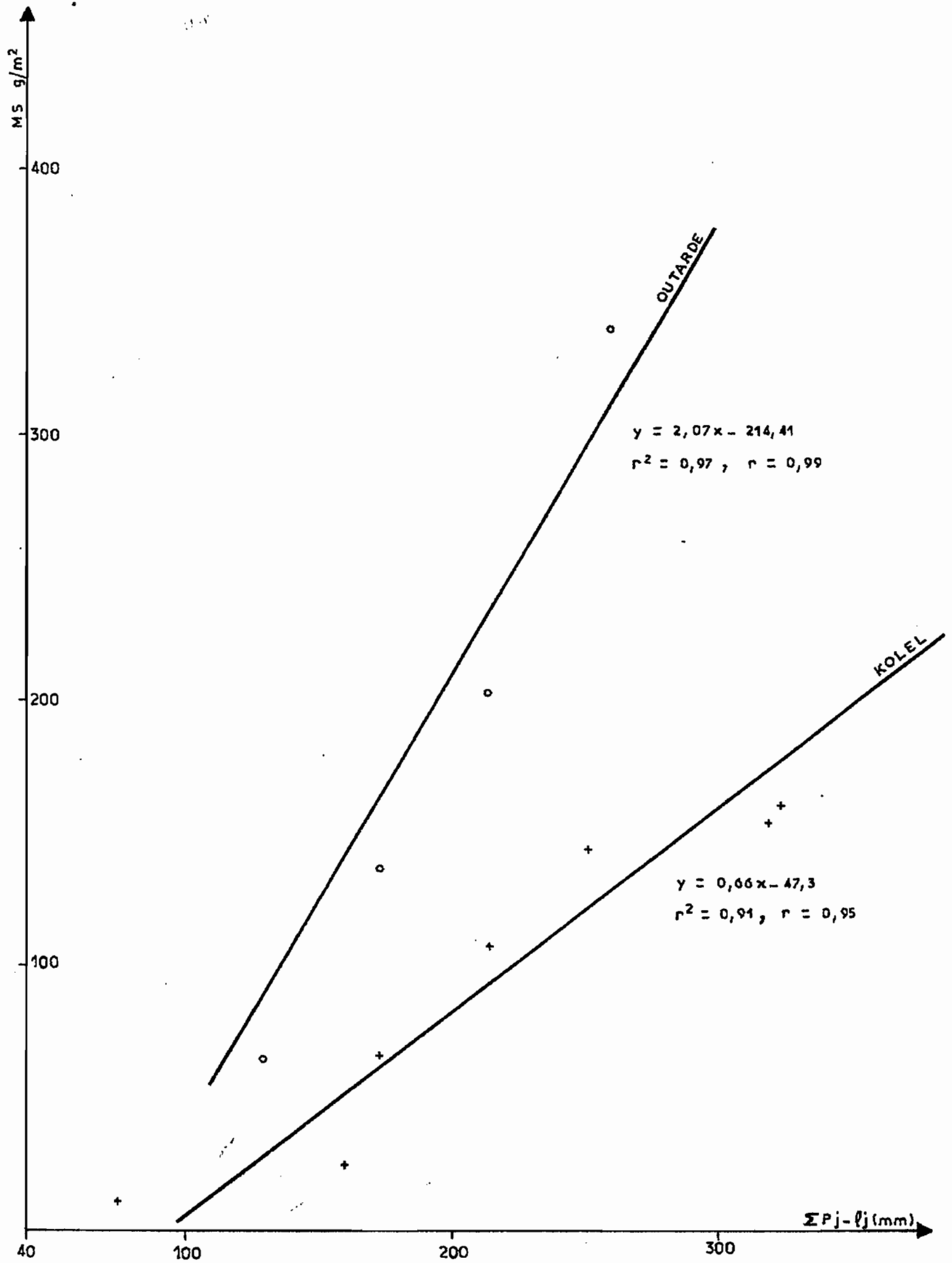
sur les résultats relatifs à la biomasse végétale recueillis par M. GROUZIS, botaniste à l'ORSTOM [23]. Sur des parcelles mises en défens sur les sites de Koël et d'Outarde, M. GROUZIS a récolté à des intervalles de temps réguliers la végétation herbacée. Les échantillons sont séchés (à l'air libre et ensuite à 85°C) et pesés. Les résultats sont exprimés en grammes de matière sèche par unité de surface (gMS/m²). On a constaté que cette biomasse ainsi exprimée "démarre" alors que la saison des pluies est assez avancée (mi-juillet) pour croître linéairement jusqu'à la fin août où se situe le maximum de croissance, débute ensuite une phase décroissante. Ces différentes phases sont aussi observées sur des parcelles témoins (non protégées) et donc soumises à la consommation et au piétinement du bétail, la croissance étant moins accusée dans ce cas. Malheureusement ces mesures ne se sont effectuées que durant la campagne et sur deux sites qui nous intéressent seulement.

Nous avons pris comme indice pluviométrique, le total pluviométrique relevé depuis le début de la saison des pluies jusqu'à l'évènement considéré auquel nous retranchons la somme des lames écoulées correspondant à la même période ($\sum P_j - l_j$) et nous avons essayé une régression linéaire entre cet indice et la biomasse dans sa phase de croissance linéaire. La corrélation est très bonne puisque nous avons eu des coefficients de corrélation de 0.95 sur Koël et 0.99 sur Outarde (voir graphique 6).

Nous appellerons désormais cet indice pluviométrique indice de végétation et nous l'adopterons pour les autres bassins versants.

L'intensité maximale I_x : C'est l'intensité maximale calculée sur une tranche de 5 mm sur les hyétogrammes moyens de chaque averse ayant donné lieu à un écoulement. Comme nous ne disposons de pluviographes journaliers que sur 3 bassins versants seulement (Outarde, Koël et Polaka) nous n'avons pu faire ce calcul que sur ceux-ci. Ces pluviographes ont été mis tardivement en fonction en 1976 et I_x n'a pu être déterminé pour les premiers écoulements de 1976 comme il n'a pu l'être pour d'autres averses ayant

REGRESSIONS LINEAIRES ENTRE LA BIOMASSE ET LA PLUIE CUMULEE
MOINS LES LAMES ECOULEES CUMULEES ($\Sigma P_j - \rho_j$)



donné lieu à des écoulements du fait du mauvais fonctionnement de ces pluviographes.

Il est à remarquer que pour le calcul de IH et de Iv pour la campagne 1976, ont manqué les pluies du mois de mai dont deux grosses relevées dans le campement et ayant probablement donné lieu à deux écoulements (16 mm le 8 mai et 54 mm le 24 mai 1976).

II.2. Méthode de travail

C'est une méthode d'écartés résiduels.

Nous allons étudier le coefficient d'écoulement K_e en prenant comme variable principale P_m la pluie moyenne.

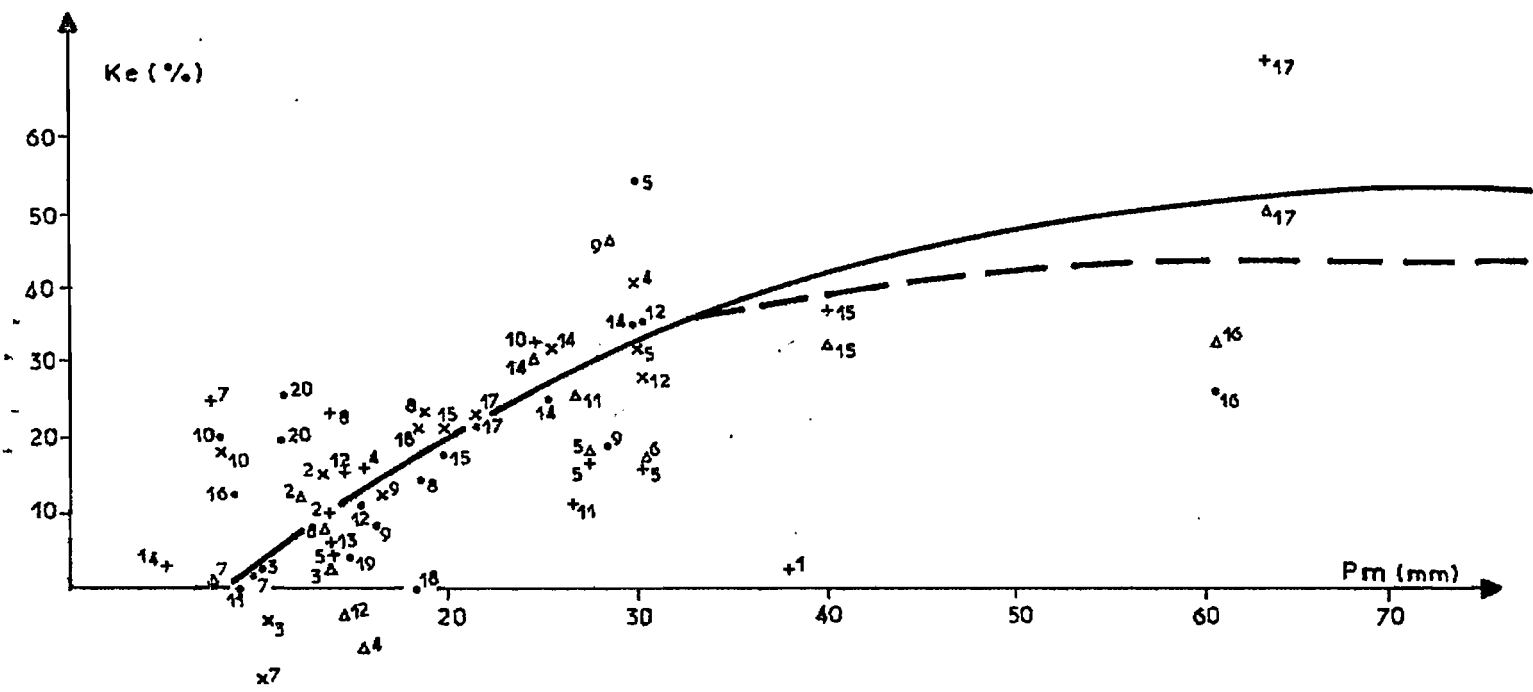
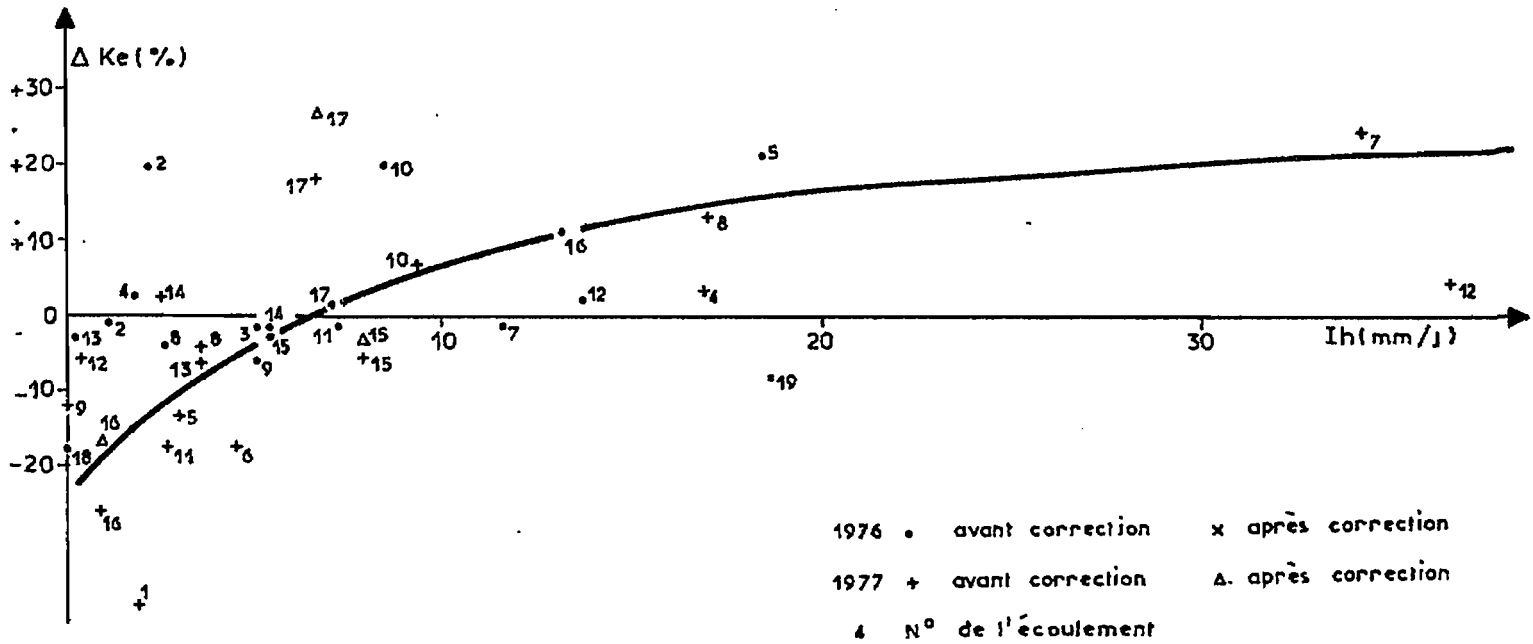
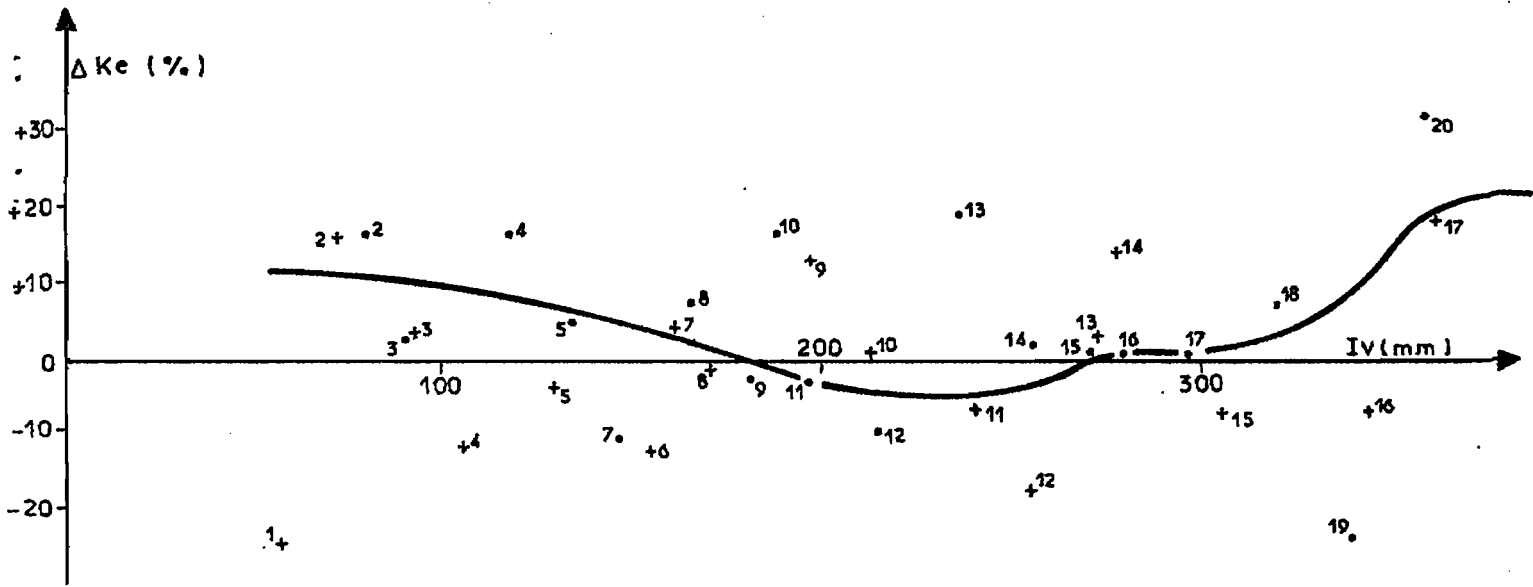
Le 1er facteur correctif est l'indice d'humidité IH. De l'équation de calcul de IH, nous nous sommes contentés des 10 jours antérieurs à l'évènement. Cette limite a été fixée après discussion avec M. SICOT, agronome à l'ORSTOM, qui étudie le bilan hydrique, de certains sols, sur la mare d'Oursi (24). Les profils hydriques donnés par la sonde à neutrons en particulier sur les sites de Koël, des Outardes et de Kouni-Kouni (campement) montrent qu'une pluie antérieure à plus de dix jours ne peut plus avoir d'influence sur le profil hydrique.

Sur les bassins, où cela nous a été permis, c'est-à-dire Koël, Outarde et Polaka, nous avons introduit un troisième facteur correctif qui est l'intensité maximale I_x définie plus haut.

II.3. Résultats pour chaque bassin versant

II.3.1. Outarde ($S = 15 \text{ km}^2$, altération de gabbros et schistes, vastes étendues argilo-sableuses) (Graphique 7)

- $K_e = f(P_m)$ La courbe est croissante et tend vers une valeur limite de K_e qu'on peut estimer à 45 %. A condition de saturation moyenne du sol ($I_H = 7.5 \text{ mm/j}$) et en milieu de saison des pluies, une pluie de 9 mm peut donner un minimum d'écoulement.



- Premier facteur secondaire : L'indice d'humidité du sol (IH) : Son influence est assez déterminante sur le coefficient d'écoulement calculé en fonction de la pluie moyenne puisqu'il peut le faire varier de $\pm 25\%$.

- Deuxième facteur secondaire : l'indice de végétation : on distingue trois phases sur cette courbe :

. Une première phase de début de saison des pluies où la végétation démarre très lentement donc son effet sur le freinage du ruissellement est croissant dans le temps.

. Une deuxième phase où la végétation a atteint son maximum de croissance ce qui diminue l'écoulement.

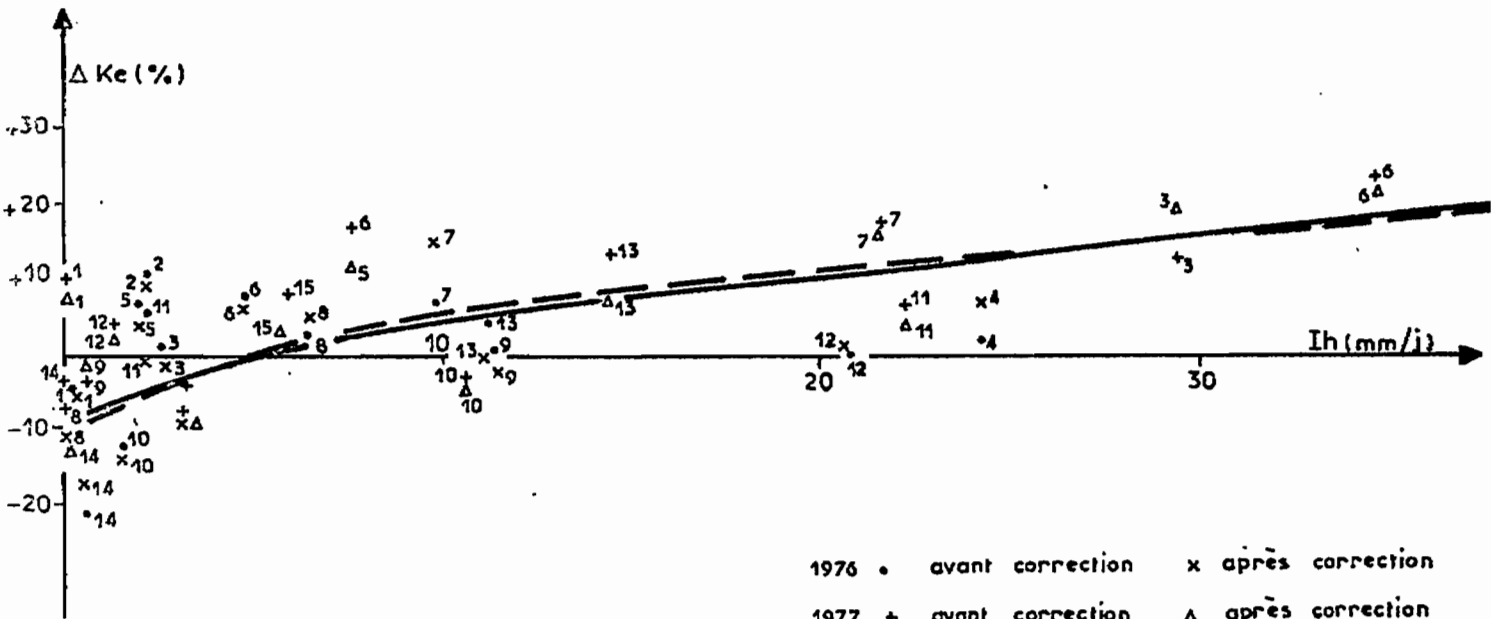
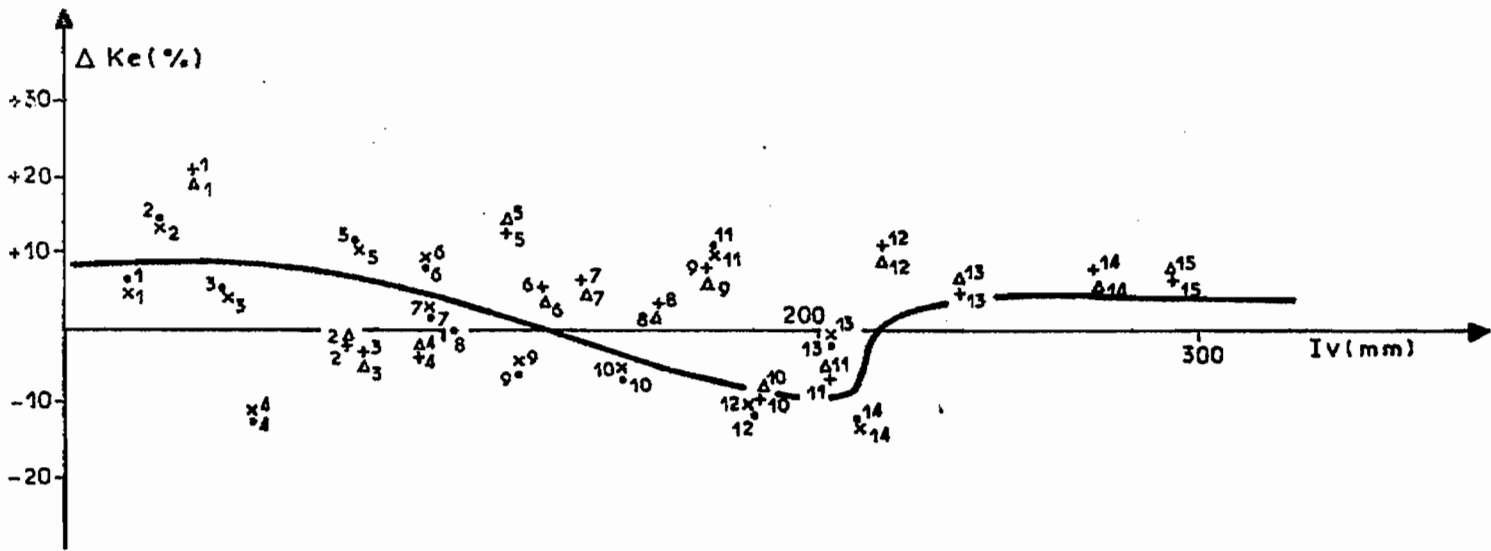
. Une troisième phase où la végétation commence à se dégrader soit naturellement (fin de saison des pluies), soit par l'action de l'homme et du bétail, le régime d'écoulement retrouve ses coefficients de début de saison des pluies jusqu'à atteindre un palier correspondant au maximum de correction à adopter sur K_e (+ 25 %).

En considérant les pires conditions de saturation du sol et un état fort dégradé de la végétation, on peut atteindre pour des pluies de récurrence décennale un coefficient d'écoulement de $45 + 25 + 25$ soit 95 %.

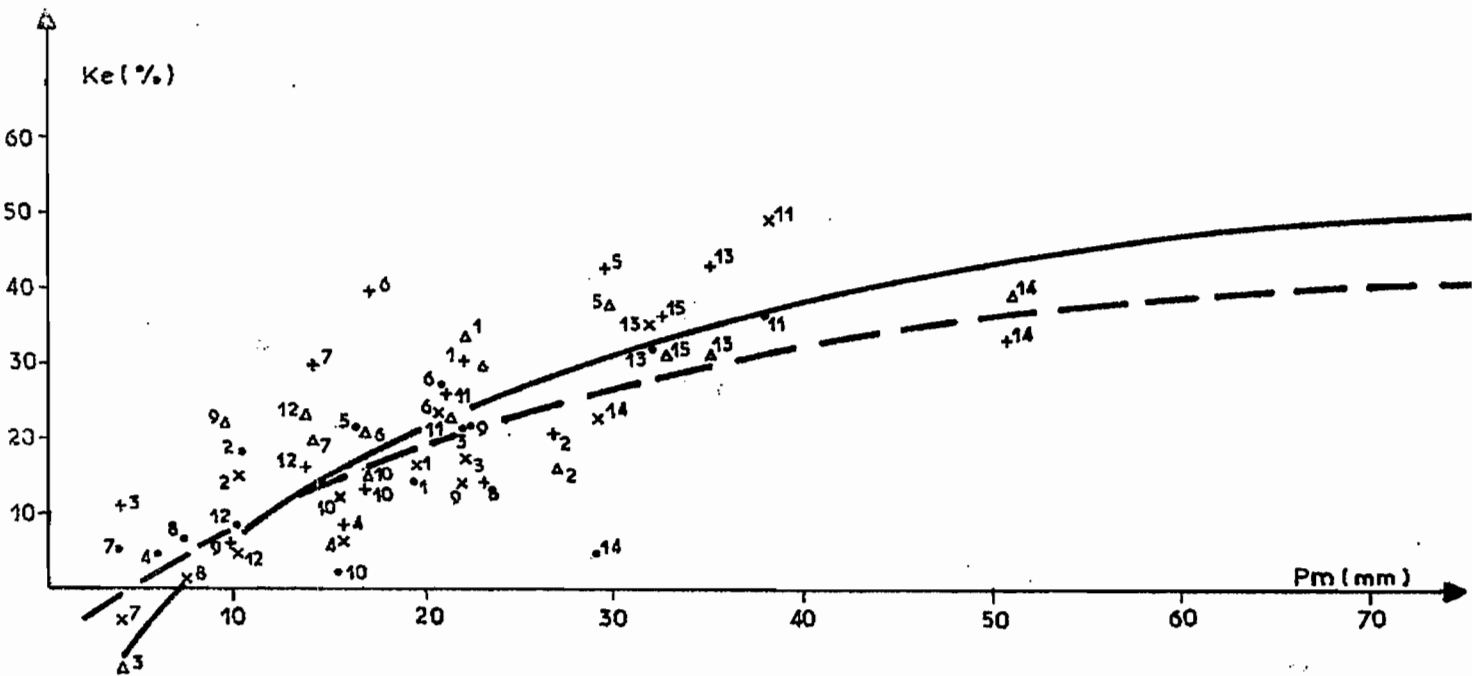
Sur ce bassin, certaines disparités restent inexplicables pour certaines crues, si des erreurs de calculs ou de mesures sur terrain ne sont pas en cause, ces disparités ne pourront s'expliquer que par un choix malheureux des facteurs correctifs. Toutefois l'introduction d'autres facteurs (intensités pour différentes durées surtout) n'ont pas amélioré ces résultats. Peut-être un calage sur un support informatique de IH aurait-il pu améliorer les résultats.

II.3.2. Polaka ($S = 10 \text{ km}^2$, altération de granite, zones cuirassées importantes) (Graphique 8)

- $K_e = f(P_m)$: La courbe est croissante et tend vers une valeur limite de K_e qu'on peut estimer à 55 %. A condition de saturation moyenne du sol ($IH = 5.5 \text{ mm/j}$) et en milieu de saison des pluies, une pluie de 7 mm peut donner un minimum d'écoulement.



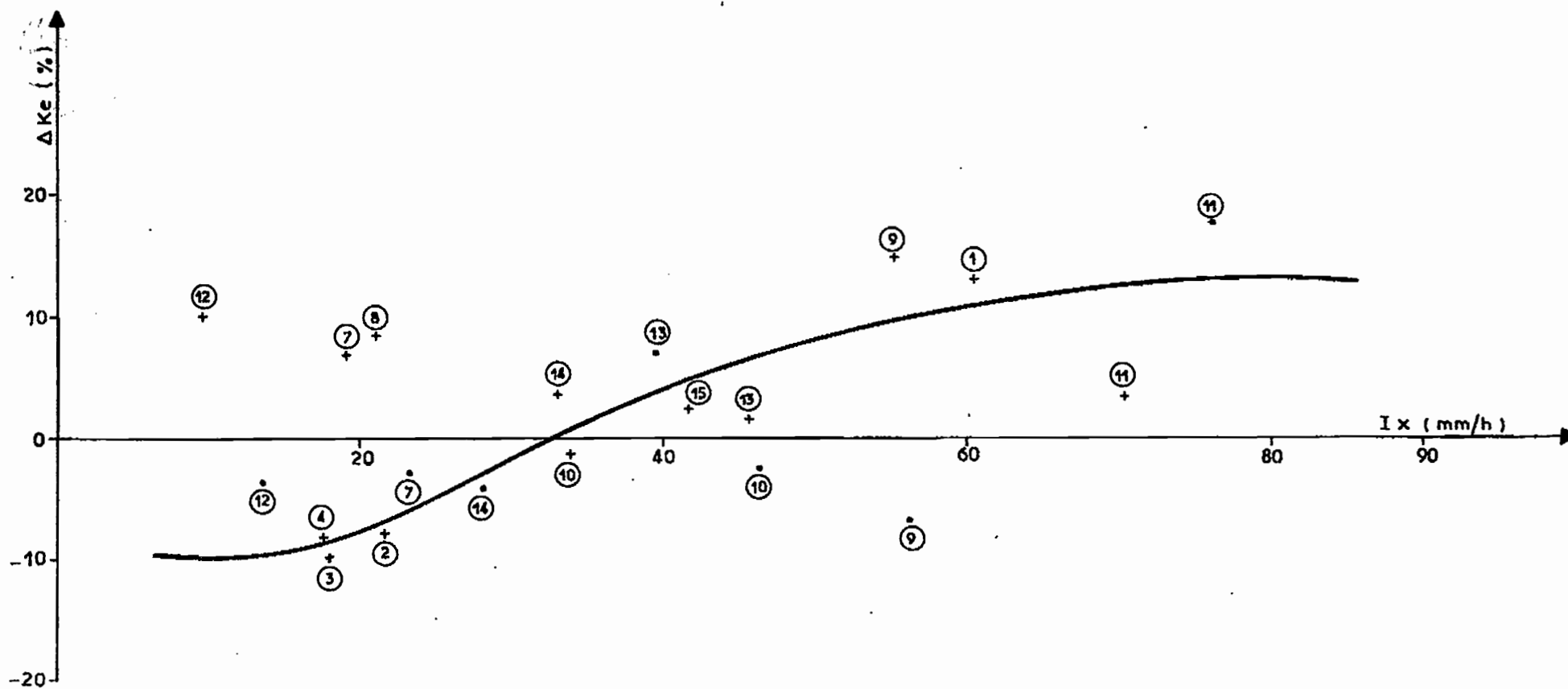
1976 • avant correction x après correction
 1977 + avant correction Δ après correction
 7 N° de l'écoulement



POLAKA — FACTEURS CONDITIONNELS DE L'ÉCOULEMENT

Corrections à apporter à K_e en fonction des intensités maximales pendant 5mn

- 1976
- + 1977
- ⑦ N° de l'écoulement



- Premier facteur secondaire : l'indice d'humidité du sol (IH) : Il permet de corriger K_e de -7.5 % à + 25 %.

- Deuxième facteur secondaire : l'indice de végétation (Iv). Là aussi on distingue les trois phases décrites sur le bassin versant des Outardes. L'influence est certes ici moindre (entre -7.5 % et + 7.5 %) que sur les Outardes.

- Un troisième facteur secondaire a été introduit : l'intensité maximale pendant 5 mn de l'averse ayant donné lieu à l'écoulement ce facteur n'a pu être calculé pour tous les écoulements (absence de pluviographes, mauvais fonctionnement de ceux-ci). Mais là où il a été introduit, les écarts résiduels ont fortement diminué. La correction à apporter varie entre deux valeurs limites (-10 % pour $I < 18$ mm/h) et (+12.5 pour $I > 80$ mm/h) (voir graphique 9).

En regard de bons résultats le coefficient d'écoulement maximal qu'on peut atteindre pour des pluies de récurrence décennale est de : $55 + 25 + 7.5 + 12.5 = 100$ %. Il est évidemment difficilement imaginable qu'un tel concours de circonstances puisse se produire.

On constate que les écarts résiduels ont bien diminué et que le résultat pour ce bassin versant est assez satisfaisant.

II.3.3. Koël ($S = 1$ km², fortes pentes, massif schisto-gneissique) (graphique 10)

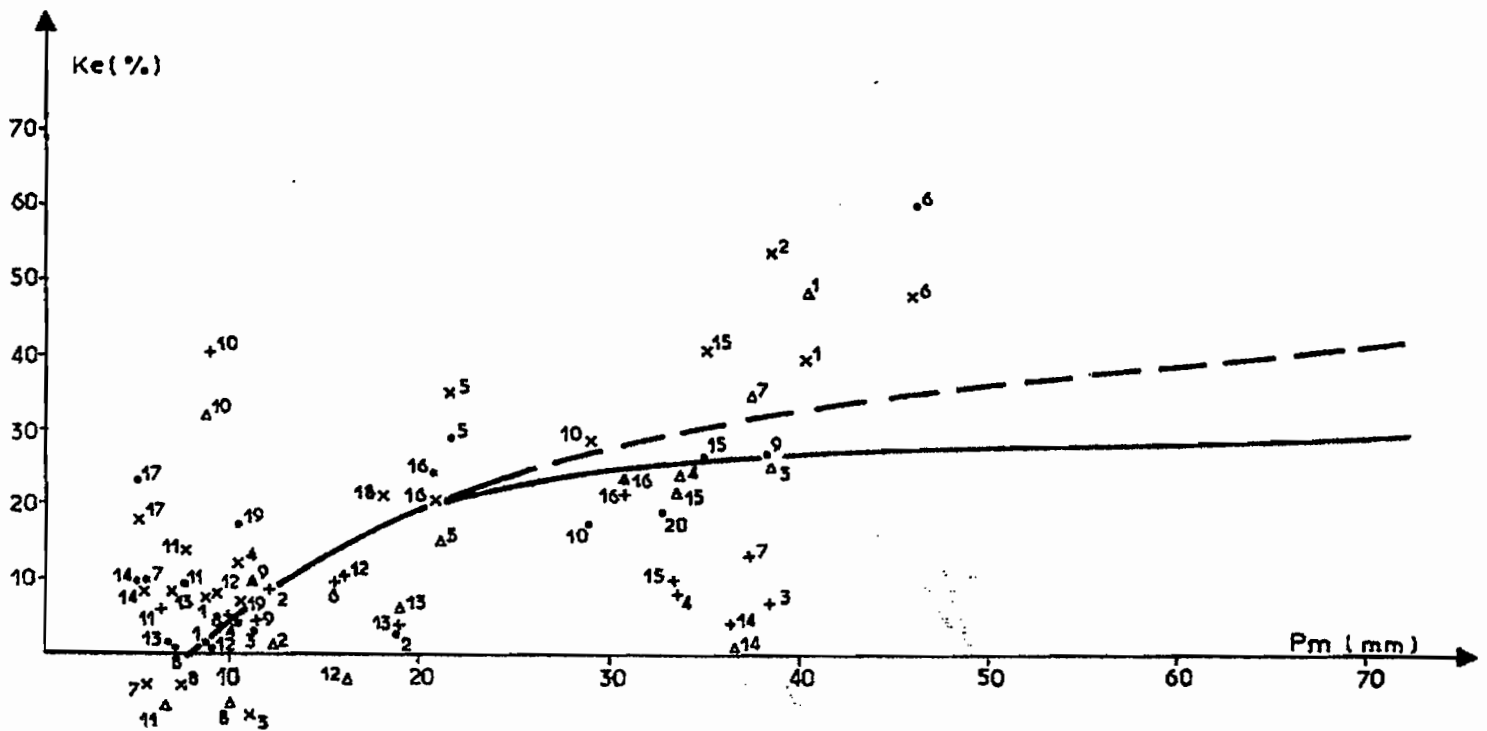
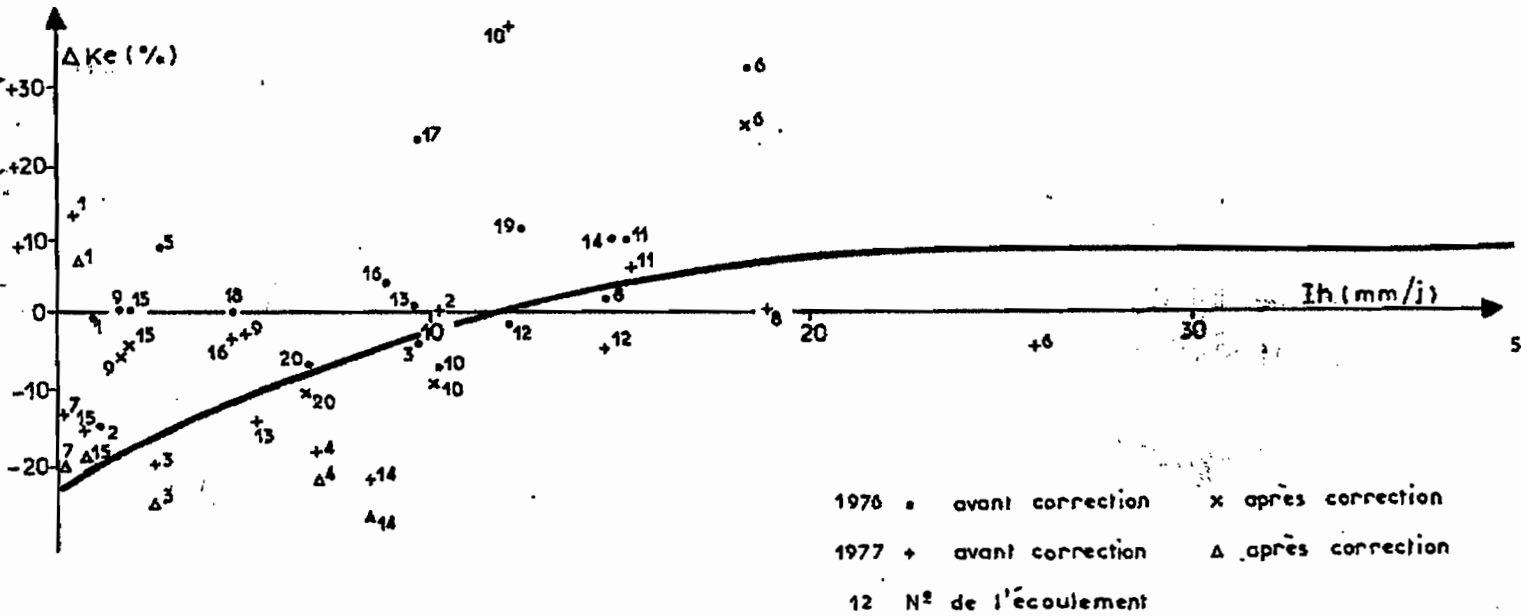
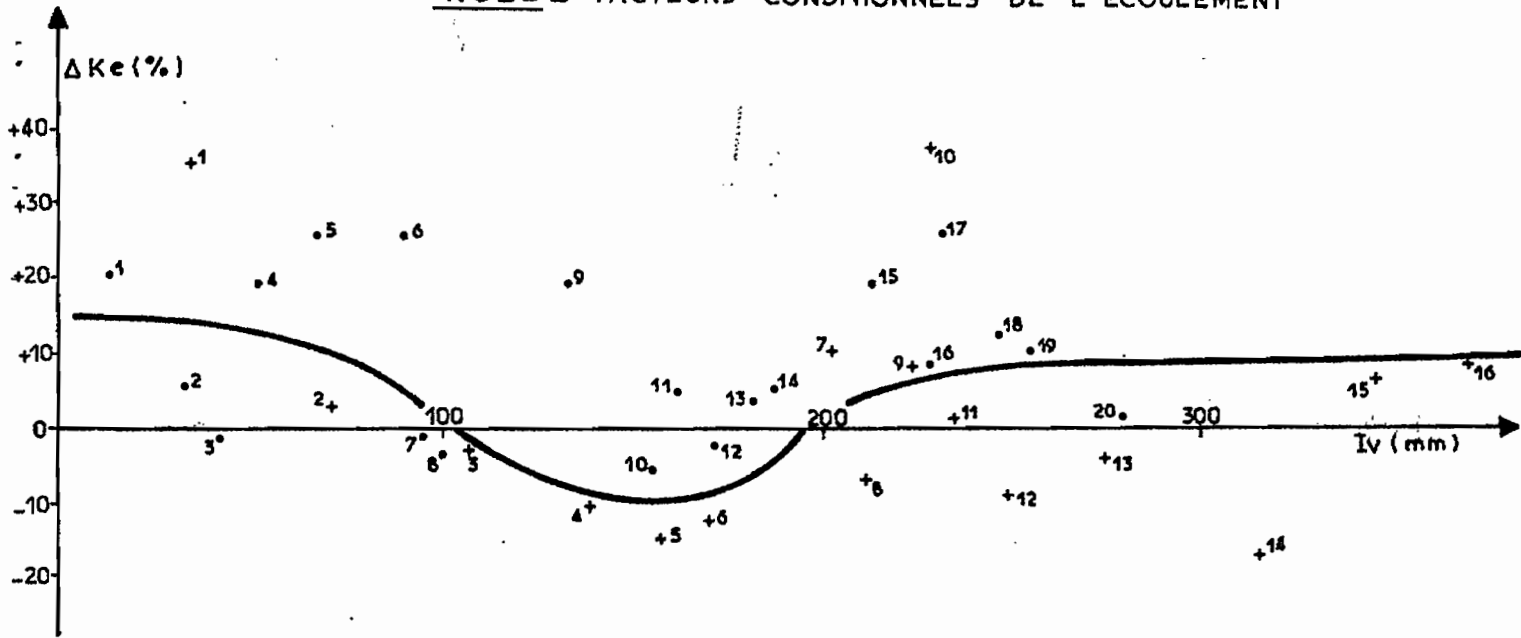
- $K_e = f(P_m)$: La courbe est croissante et tend vers une valeur limite de K_e estimée à 45 %. A condition de saturation moyenne du sol ($IH = 11.5$ mm/j) et en milieu de saison de pluies, une pluie de 8 mm peut donner un minimum d'écoulement.

- Premier facteur secondaire : l'indice d'humidité du sol (IH) : il permet une correction de K_e variant de -23 % à + 12.5 %.

- Deuxième facteur secondaire : l'indice de végétation (Iv) : là les différences sont plus accentuées que sur les autres bassins, les corrections varient de -10 % à + 15 %.

- Un troisième facteur secondaire nous a tenté : l'intensité maximale, pendant 5 mn, de l'averse ayant donné lieu à l'écoulement. Là où il a été calculé, il a réduit les écarts résiduels (graphique 11). Malheureusement et pour les mêmes raisons exposées ci-dessus

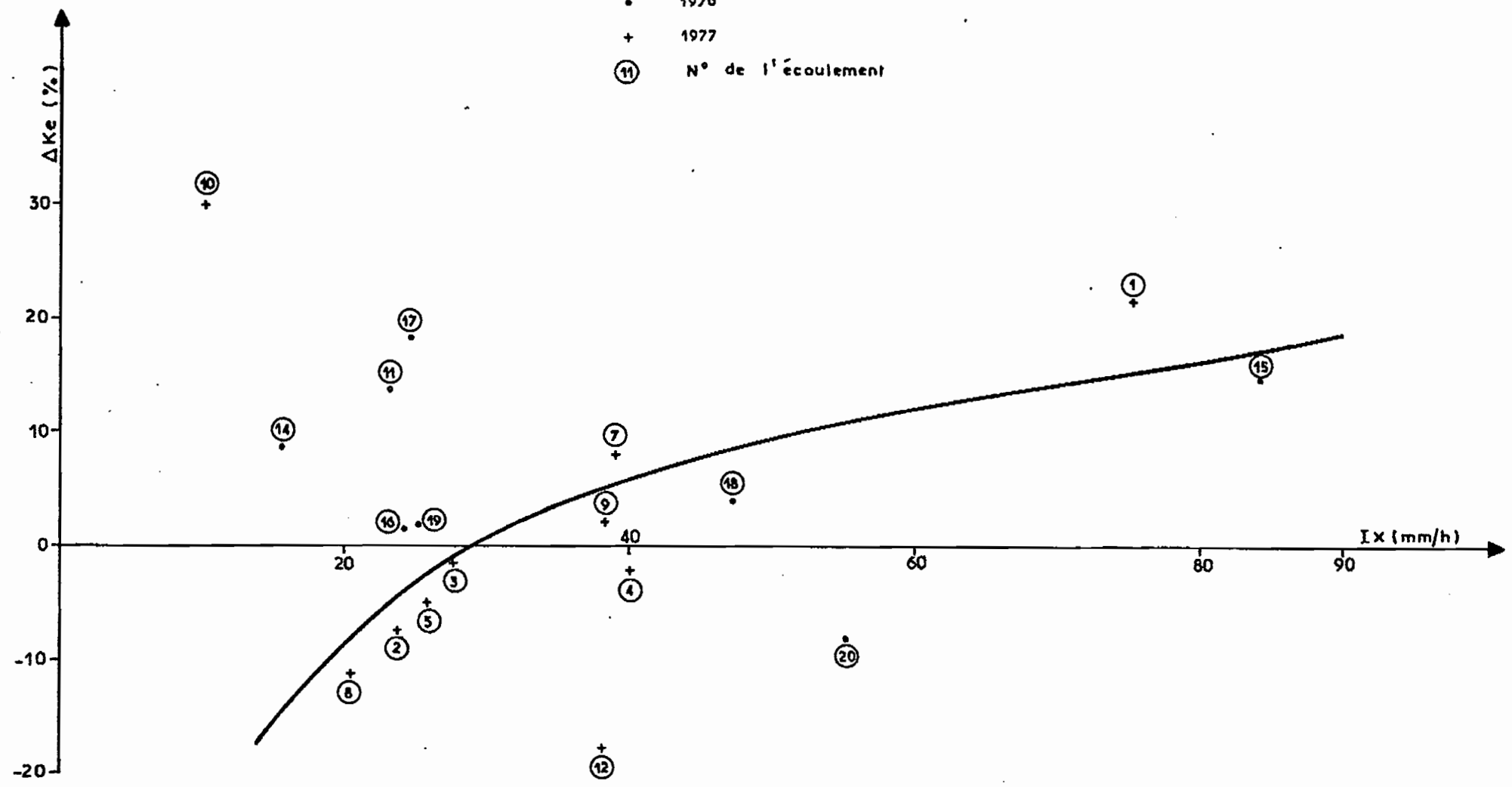
KOEL - FACTEURS CONDITIONNELS DE L'ECOULEMENT



KOEL - FACTEURS CONDITIONNELS DE L'ÉCOULEMENT

Corrections à apporter à Ke en fonction des intensités maximales pendant 5mn

- 1976
- + 1977
- Ⓜ N° de l'écoulement



de Calcul n'a pu être généralisé pour tous les écoulements et par conséquent ce facteur a été écarté. Là aussi, en considérant les pires conditions d'imbibition préalable du sol, nous aurons sur un sol presque nu, pour une pluie de récurrence décennale un coefficient d'écoulement de $45 + 12.5 + 15 = 72.5 \%$.

Les écarts résiduels sur ce petit bassin restent tout de même importants.

Il est certain qu'une meilleure connaissance des intensités pour différentes durées pour les pluies ayant donné lieu à ces écoulements aurait réduit ces écarts comme cela a été le cas pour les quelques écoulements du graphique 10.

II.3.4. Tchalol ($S = 9.4 \text{ km}^2$, altération de gneiss et schiste, vastes plateaux caillouteux) (Graphique 12)

- Le Ke croît assez vite en fonction de la pluviométrie moyenne sur le bassin pour atteindre une limite de $72,5 \%$. Une pluie de 6.5 mm dans des conditions très favorables ($IH = 10 \text{ mm/j}$, sol presque nu) peut déclencher un écoulement.

- Le premier facteur secondaire est l'indice d'humidité du sol (IH) qui peut corriger le coefficient d'écoulement de -32.5% à $+ 15 \%$.

- Le deuxième facteur secondaire est l'indice de végétation (Iv) où l'on observe les trois phases décrites plus haut. Les corrections varient de -10% à $+ 10 \%$.

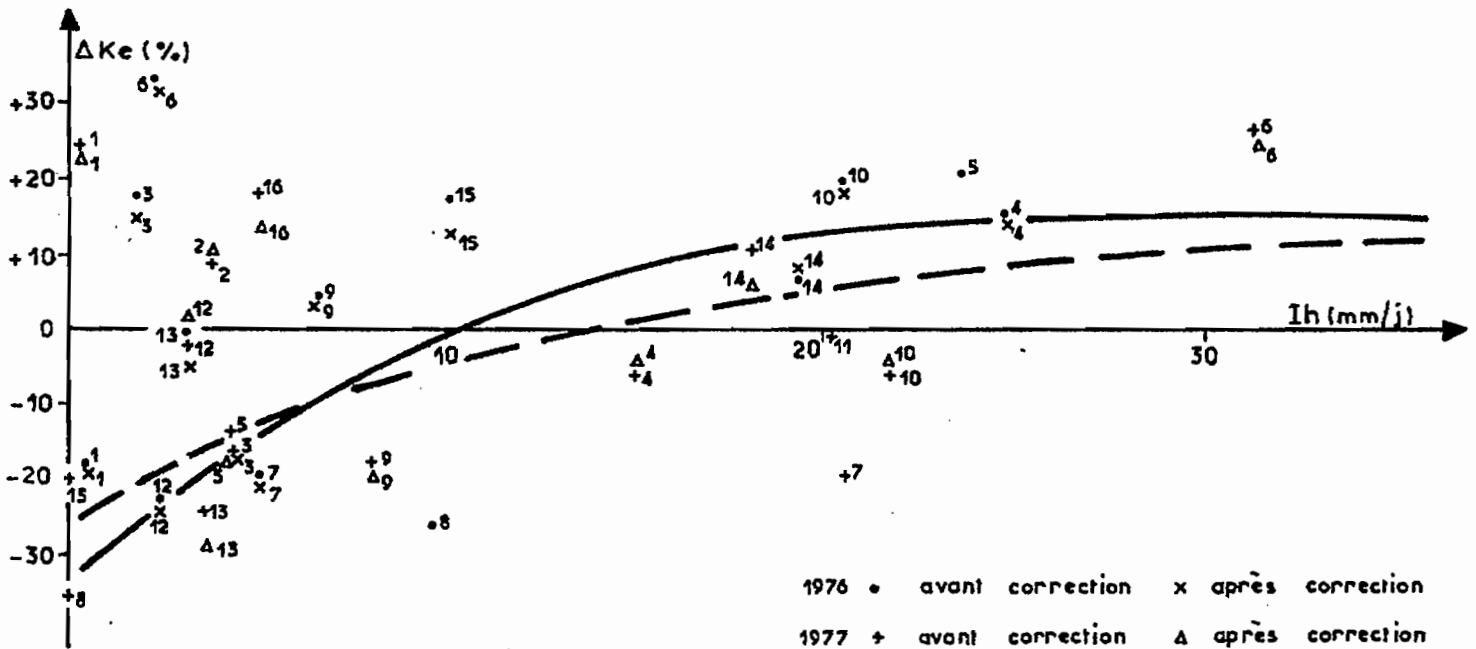
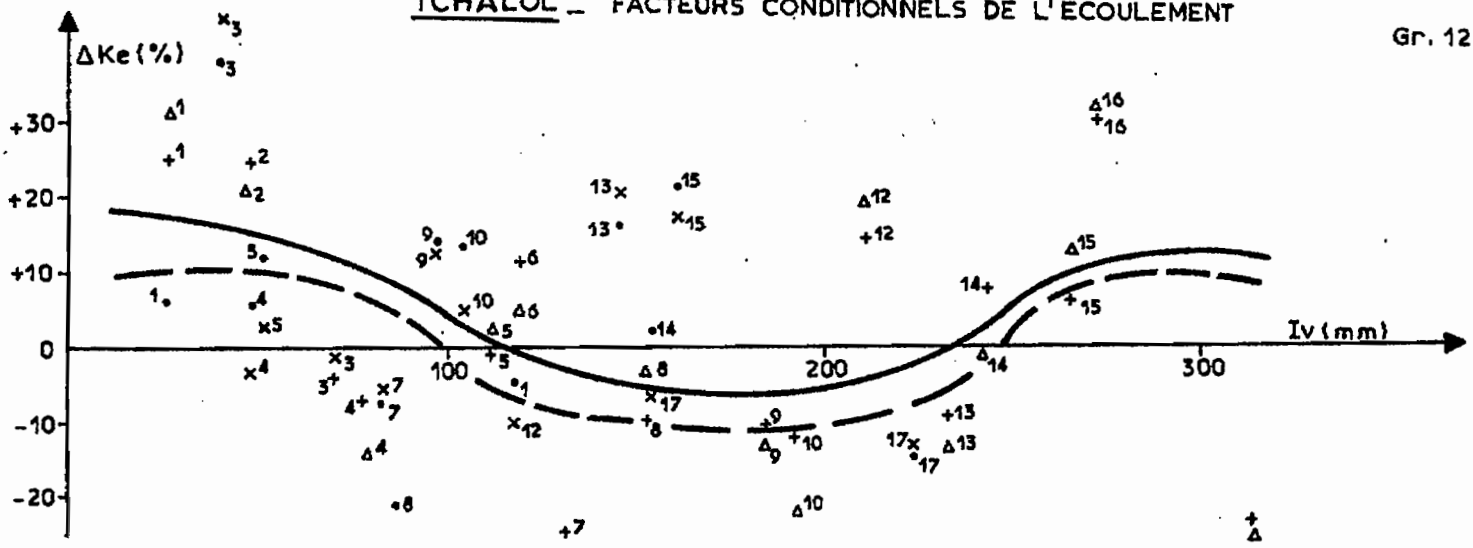
Dans les pires conditions de saturation du sol, une pluie de récurrence décennale tombant sur un sol nu peut donner un coefficient d'écoulement maximal de $72.5 + 15 + 10 = 97.5 \%$.

Les écarts résiduels restent, toutes corrections faites, assez importants.

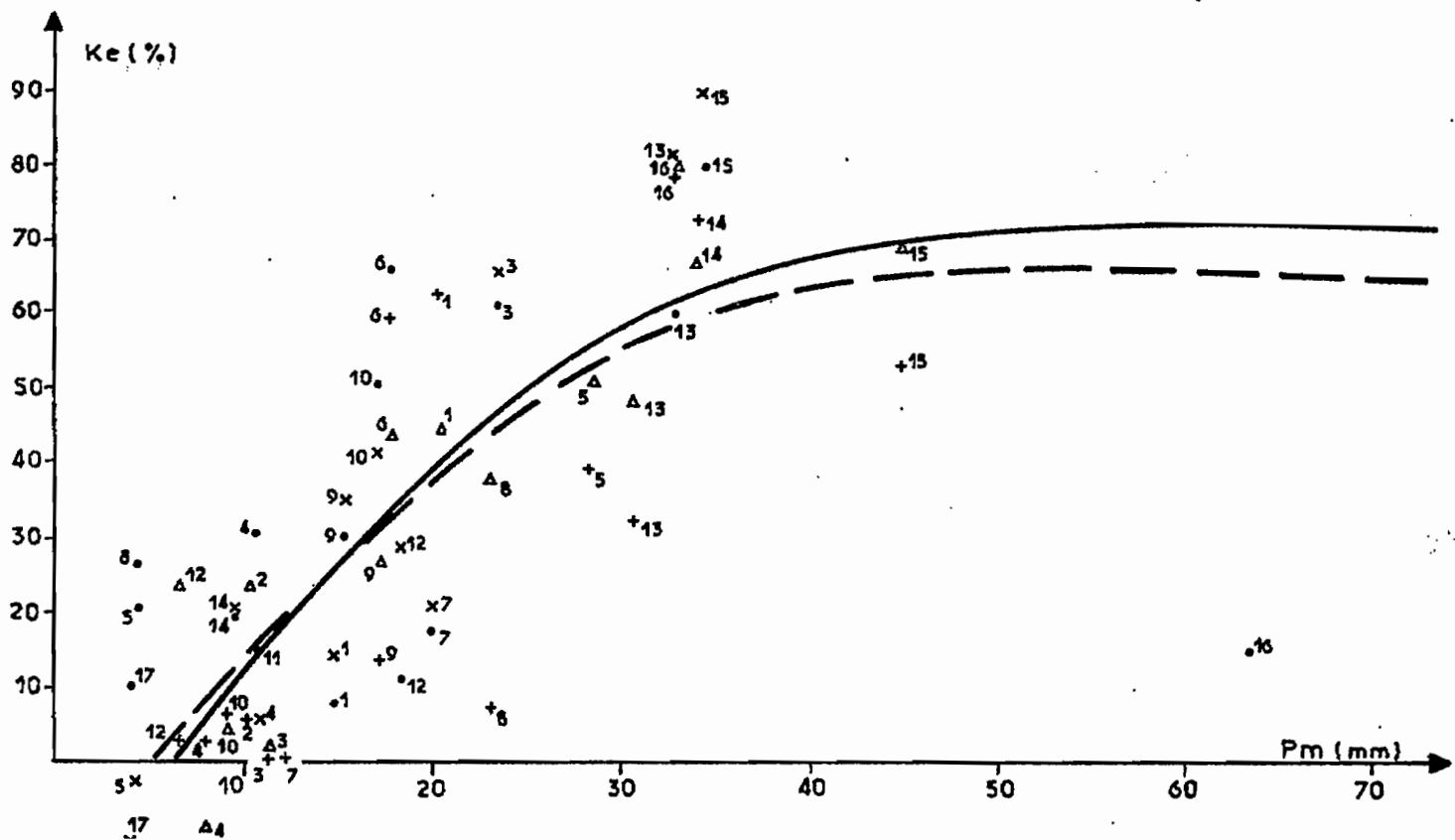
L'introduction des intensités des averses les aurait certainement réduits.

II.3.5. Gountouré ($S = 23 \text{ km}^2$, granites fortement altérés, crêtes de chaos granitiques d'érosion en boules) (Graphique 13).

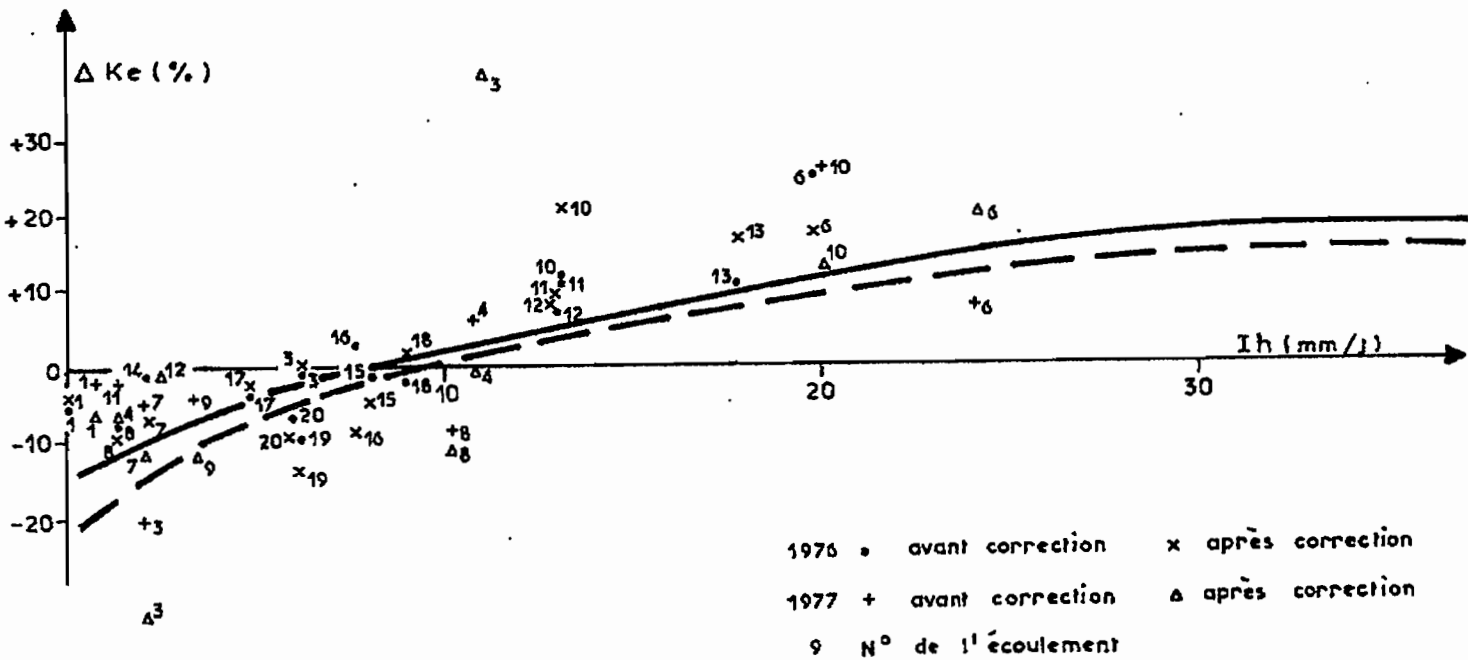
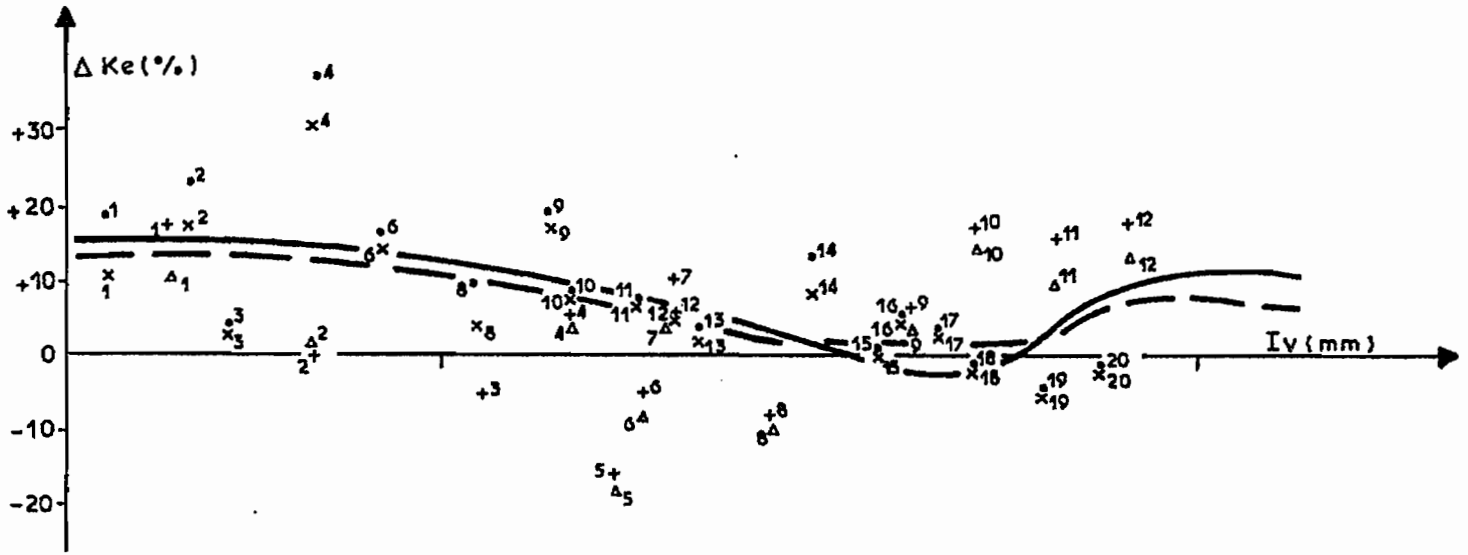
- Le coefficient d'écoulement croît avec la pluie moyenne sur le bassin jusqu'à une limite de 50% pour les fortes pluies. Dans des conditions très favorables ($IH = 10 \text{ mm/j}$, en milieu de saison



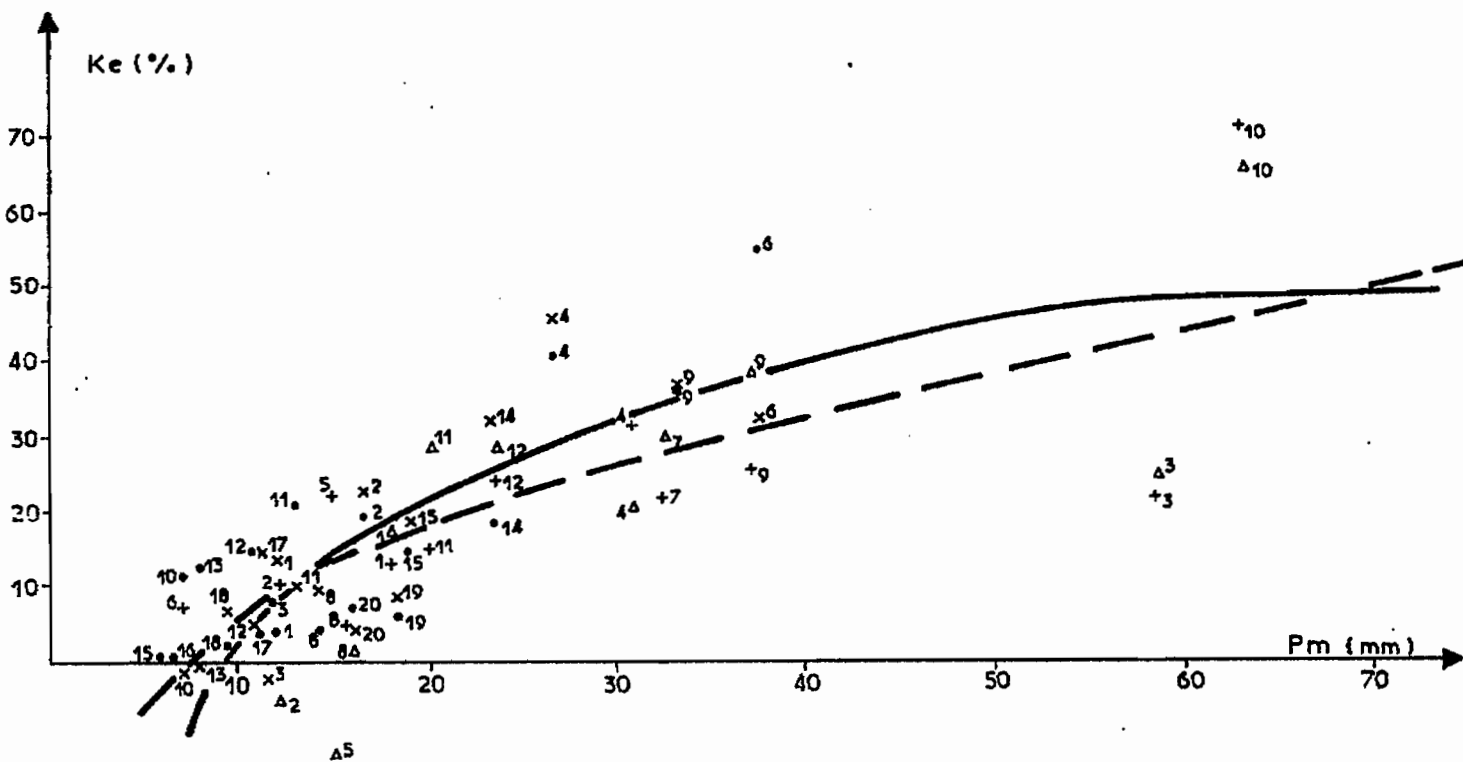
1976 • avant correction x après correction
 1977 + avant correction Δ après correction
 8 N° de l'écoulement



GOUNTOURE - FACTEURS CONDITIONNELS DE L'ÉCOULEMENT



1976 • avant correction x après correction
 1977 + avant correction Δ après correction
 9 N° de l'écoulement



des pluies), l'écoulement peut se déclencher après une pluie de 9 mm.

- Le premier facteur secondaire est l'indice d'humidité du sol (IH) qui introduit des corrections variant de -15 % à +20 % sur le coefficient d'écoulement.

- Le deuxième facteur secondaire est l'indice de végétation (Iv) : on retrouve aussi ici les trois phases classiques mais moins prononcées, l'influence sur le coefficient d'écoulement est relativement réduite (+ 1 % à + 13 %).

Le coefficient d'écoulement maximum qu'on peut avoir pour de fortes pluies, tombant sur sol nu et fortement imbibé est de $50 + 20 + 13 = 83$ %.

Les résultats de cette étude pour ce bassin versant sont assez satisfaisants.

II.4 Conclusion

Il est évident, comme me l'a justement fait remarquer M. ROCHE, que cette méthode des écarts résiduels relève beaucoup plus de la "cuisine" que de l'analyse judicieuse, mais il est indéniable que cette première approche permet de dégrossir le problème. Il est certain qu'une approche s'appuyant sur un support informatique aurait pu simplifier et mieux orienter cette étude. On aurait pu, dans ce cas, prendre un indice d'humidité réduisant encore les écarts résiduels avec par exemple $IH = \frac{10}{\sum Pa ta^{-k}}$ où nous aurions effectué la somme sur 10 jours antérieurs à l'évènement des produits $Pa ta^{-k}$ relatifs à chaque pluie antérieure, Pa étant la hauteur moyenne d'une pluie antérieure, ta l'intervalle de temps antérieur qui sépare cette pluie de l'évènement considéré et k serait le paramètre de réglage.

Trop de précautions sont à prendre avec cette méthode afin qu'on n'arrive pas à des résultats aberrants donnant des coefficients d'écoulement, après correction, dépassant le 100 %.

Une année d'observations supplémentaire (campagne 1978) nous permettra, entre autres, de mieux cerner la relation entre biomasse et indice de végétation, de mesurer les intensités des différentes averses notamment sur Gountouré et Tchalol, d'introduire un autre bassin versant : Djalafanka.

La poursuite des observations au delà de 1978 précisera plus ces facteurs conditionnels de l'écoulement. Espérons qu'il en soit ainsi.

III - Analyse des crues par modèle global (hydrogrammes unitaire)

III.1. Généralités

Cette analyse est menée sur deux des trois bassins versants où nous avons pu disposer de deux années d'observations et de pluviographes dont la vitesse de déroulement (pas de temps journalier) nous a permis d'établir les hyétogrammes des averses ayant donné lieu à l'écoulement.

Le bassin de Koël offrant une surface trop petite (moins d'un km²) pour que cette méthode d'analyse donne des résultats corrects.

Nous avons respecté pour cette étude les notations et la méthodologie développées par DUBREUIL [1].

Rappelons (1) qu'un hydrogramme unitaire est l'hydrogramme résultant d'un ruissellement généralisé et homogène sur un bassin dû à une averse homogène de faible durée. A partir des différents hydrogrammes unitaires, on établit un hydrogramme unitaire type caractéristique du bassin, à partir duquel par affinité, translation et composition il est possible de reconstituer les crues observées sur le bassin et de représenter les hydrogrammes afférents à des averses données de différentes récurrences.

Un certain nombre de conditions doit être réuni pour que l'on puisse théoriquement appliquer correctement la méthode :

- réponse homogène du bassin (aptitude identique en tous points),
- possibilité de sélectionner des averses unitaires homogènes intéressant la totalité de la surface du bassin,
- possibilité de séparer avec netteté le ruissellement pur immédiat du ruissellement retardé dû au ressuyage du bassin et de l'écoulement de base.

Bien que les bassins que nous étudierons ne soient pas concernés par ce dernier point du fait que l'écoulement est limité dans le temps (la fin de l'écoulement se situe une dizaine d'heures après la fin de la pluie), ils répondent assez médiocrement

(1) 16

à ces conditions. En effet, les observations effectuées sur un grand nombre de bassins montrent que ces conditions sont d'autant mieux remplies que le bassin est imperméable et de relief accentué, ce qui n'est pas le cas des bassins des Outardes et de Polaka que nous allons étudier.

III.2. Résultats sur les bassins versants étudiés.

III.2.1. Bassin versant des Outardes

III.2.1.1. Présentation.

Ce bassin a une superficie de 15.5 km² environ (1). Le substratum, quoique assez complexe se développe régulièrement depuis les reliefs de l'amont (un ensemble de trois buttes) jusqu'à la plaine d'épandage terminale en quatre bandes parallèles :

- . L'amont du bassin, aux reliefs semblables au massif de Kolèl est constitué des mêmes gabbros.

- . Au pied de ces reliefs se développent, en piémont, des granites alcalins d'âge indéterminé. Dans cette zone se remarquent d'importants placages éoliens de sables, s'appuyant aux reliefs de gabbros. De part et d'autre du bassin se dressent des buttes témoins cuirassées, plus ou moins démantelées.

- . Plus à l'aval, se développe un important affleurement du précambrien inférieur, reconnaissable aux nombreux affleurements rocheux, avec ou sans cuirasse superficielle. Le lit des marigots est encore relativement bien marqué dans cette zone.

- . A l'extrême aval du bassin versant, on pénètre sur les orthogneiss et migmatite, qui quoique très répandus dans l'Oudalan, présentent des conditions d'affleurements très médiocres, puisque altérés à une grande profondeur. Peu après leur entrée sur cette formation, le lit des différents marigots cesse d'être bien marqué et se perd en des bras multiples.

La végétation arbustive, mise à part le long des marigots où la galerie forestière est assez dense, est en général peu dense à nulle. La strate herbacée est irrégulière et faible.

(1) voir rapport des campagnes 1976-1977 [15]

III.2.1.2. Etablissement de l'hydrogramme unitaire

Onze crues ont été sélectionnées parmi les 37 écoulements des années 1976 et 1977 (5 en 1976, 6 en 1977) et nous ont permis d'établir un hydrogramme médian (voir tableau 7 et graphique 14) Cet hydrogramme a été utilisé pour la reconstitution d'une "crue complexe" : l'écoulement n° 10 du 5 août 1977 (graphique 15). Le résultat est satisfaisant.

III.2.1.3. Prédétermination de la crue décennale

La méthodologie est celle exposée par DUBREUIL (1)

a) L'analyse statistique des précipitations journalières en la station de longue durée de Gorom-Gorom (dont le régime pluvieux est supposé comparable à celui du bassin versant d'Oursi) fournit une hauteur de précipitation ponctuelle décennale P_j de 93.5 mm

b) L'étude de la réduction que subit une précipitation ponctuelle comparée à une précipitation moyenne sur le bassin fournit le coefficient d'abattement K à appliquer à P_j pour avoir la pluie moyenne sur le bassin (en admettant l'isotropie de la précipitation sur la surface).

Rappelons que G. VUILLAUME (14) a établi une équation généralisée qui permet de calculer le coefficient d'abattement pour les pluies de différentes récurrences en Afrique Intertropicale :

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

r : récurrence en années de l'évènement étudié,

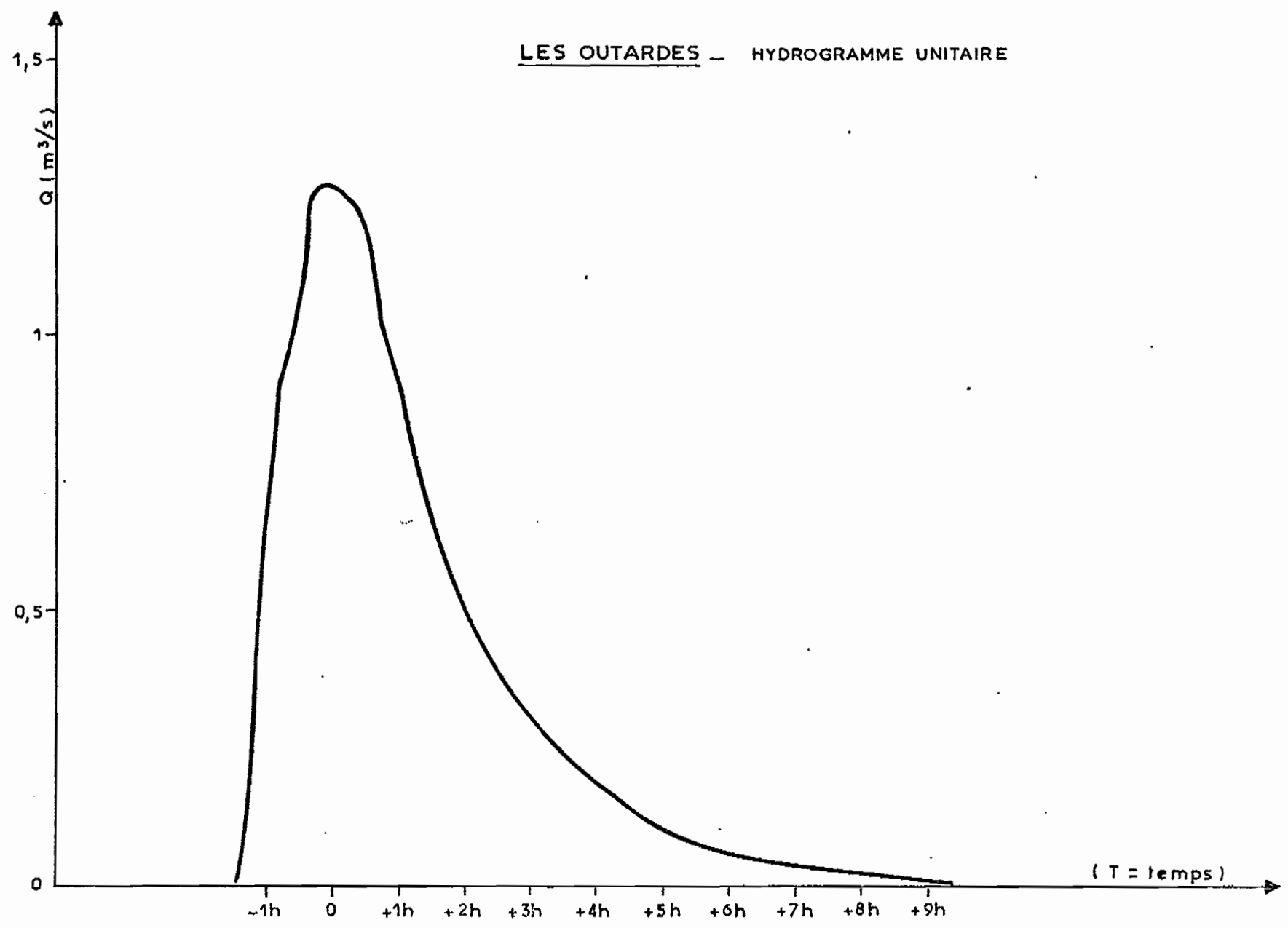
P : pluviométrie moyenne interannuelle du bassin (en mm)

S : Surface du bassin (en km²)

L'application de la formule au bassin des Outardes donne une valeur de K de 0.84, ce qui donnerait une pluie moyenne de récurrence décennale sur le bassin de 78.5mm

c) L'étude des averses individualisées nous a permis d'estimer la pluie utile à 68.8 mm et sa durée à 100 mn.

LES OUTARDES — HYDROGRAMME UNITAIRE



0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h
(T) temps

10
20
30
I (mm/h)

Q (m³/s)

8

6

4

2

2h

3h

4h

5h

6h

7h

8h

9h

10h

11h

12h

13h

14h

(T) temps

LES OUTARDES RECONSTITUTION D'UNE "CRUE COMPLEXE"

— Crue observée
- - - Hydrogramme unitaire
— Crue reconstituée

Écoulement N° 10

du 05-08-77

$V_e = 122\,760\text{ m}^3$

$I_e = 7,92\text{ mm}$

$P_m = 24,7\text{ mm}$

$K_e = 32,5\%$

$t_b = (2\text{h}20 \text{ à } ?) = 24\text{ h} = 1440\text{ mn}$

$t_m = (2\text{h}20 \text{ à } 5\text{h}30) = 3\text{h}10 = 190\text{ mn}$

$t_p = (2\text{h}15 \text{ à } 5\text{h}30) = 3\text{h}15 = 195\text{ mn}$

$Q_x = 8,28\text{ m}^3/\text{s}$

$I_x = 24,2\text{ mm/h}$

$Cam = 7,92\text{ mm/h}$

$t_u = 65\text{ mn}$

(T) temps

Repère de crue	-90	-80	-70	-1h	-50	-40	-30	-20	-10	0	+20	+40	+1h
1-10	0	0	0.51	0.83	1.03	1.15	1.21	1.25	1.27	1.27	1.24	1.15	0.99
1-13	0	0	0	0	0	0.69	1.00	1.29	1.46	1.47	1.45	1.43	1.38
1-14	0.42	0.48	0.58	0.71	0.83	0.96	1.06	1.15	1.21	1.21	1.15	0.98	0.83
1-15	0	0.11	0.42	0.68	1.01	1.18	1.39	1.53	1.63	1.64	1.46	1.10	0.82
1-17	0.15	0.40	0.57	0.71	0.82	0.92	1.02	1.08	1.15	1.20	1.21	1.15	1.01
2-6	0.03	0.25	0.57	0.88	0.97	1.14	1.22	1.30	1.33	1.51	1.51	1.47	1.18
2-8	0	0	0.06	0.26	0.65	0.90	1.10	1.29	1.36	1.37	1.26	1.13	1.00
2-9	0	0.22	0.50	0.72	0.87	0.99	1.04	1.22	1.31	1.40	1.40	1.31	1.02
2-12	0	0	0.05	0.08	0.20	0.64	0.83	0.94	0.98	1.01	1.01	0.98	0.90
2-13	0	0	0.24	0.34	0.48	0.82	1.06	1.19	1.27	1.27	1.22	1.04	0.97
2-15	0.57	0.7	0.83	0.87	0.90	0.91	0.95	1.03	1.12	1.18	1.20	1.16	1.06
médian	0	0.11	0.51	0.71	0.91	0.96	1.08	1.25	1.27	1.27	1.24	1.06	0.91

Repère de crue	+20	+40	+2h	+30	+3h	+30	+4h	+5h	+6h	+7h	+8h	+9h
1-10	0.79	0.61	0.47	0.35	0.28	0.22	0.18	0.15	0.11	0.08		
1-13	1.19	0.88	0.63	0.44	0.36	0.33	0.28	0.17	0.11	0.07	0.04	0.03
1-14	0.68	0.57	0.49	0.41	0.32	0.25	0.13	0.09	0.06	0.04		
1-15	0.63	0.48	0.36	0.28	0.22	0.19	0.15	0.10	0.06	0.05		
1-17	0.15	0.73	0.62	0.53	0.43	0.33	0.25	0.15	0.09	0.06	0.04	
2-6	0.03	0.71	0.58	0.43	0.30	0.13	0.07	0.05	0.02	0.02	0.01	
2-8	0.87	0.74	0.61	0.48	0.39	0.31	0.24	0.18	0.08	0.05	0.05	
2-9	0	0.70	0.56	0.46	0.35	0.28	0.21	0.17	0.10	0.06	0.02	
2-12	0	0.76	0.68	0.61	0.50	0.43	0.32	0.32	0.24	0.16	0.11	0.07
2-13	0.78	0.63	0.51	0.40	0.33	0.28	0.22	0.18	0.13	0.10	0.06	0.03
2-15	0.57	0.72	0.55	0.44	0.31	0.22	0.16	0.12	0.08	0.05	0.04	0.02
médian	0.76	0.61	0.51	0.40	0.32	0.25	0.17	0.10	0.06	0.05	0.02	0.01

Tableau 7 : Les Outardes = Hydrogrammes type - Débits (en m³/s.)

d) Le coefficient d'écoulement est déterminé en fonction de P_m , de l'indice d'humidité I_H , de l'indice de végétation I_v (voir paragraphe II concernant les facteurs conditionnels de l'écoulement). Une pluie moyenne de 78.5 mm donnerait un K_e de 43 %, pour un indice d'humidité moyen de 6,5 mm/j et un indice de végétation de 180 mm (correspondant au milieu de la saison des pluies).

Si l'on avait cherché la crue maximale probable, il est certain que l'on aurait alors considéré les pires conditions de saturation préalable à savoir celles correspondant à la plus forte correction par I_H (environ 40 mm/j pour I_H correspondant à $K_e = +25\%$), la pluie tombant sur un sol nu en début de saison ($K_e = +11.5\%$) afin d'obtenir le K_e le plus élevé possible (peut-être $43 + 25 + 11.5 = 79.5\%$).

e) Pour un K_e de 43 %, nous avons une lame écoulée de 33.8 mm.

f) L'étude de la capacité d'absorption : pour chaque tranche d'averse, la capacité d'absorption C_{am} est déterminée de façon à ce que :

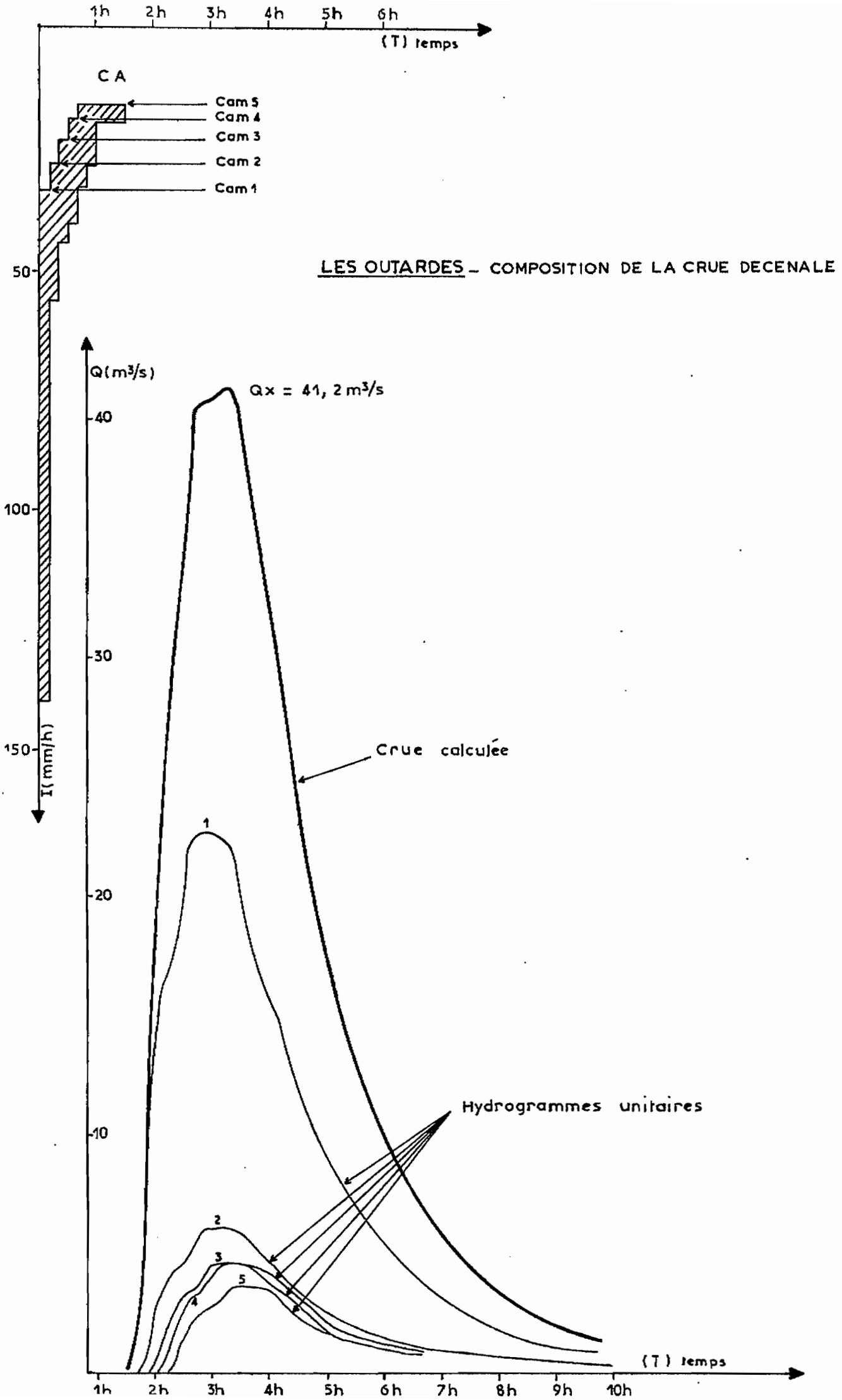
X) Le cumul des diverses tranches ruisselées corresponde à la lame ruisselée totale de la crue étudiée

Y) La décroissance au cours de l'averse des différentes valeurs de C_{am} s'aligne sur une courbe exponentielle décroissante, de forme $C_{oe} e^{-kt}$. Cette courbe tend à rejoindre une valeur limite sensiblement égale au seuil minimum du ruissellement (14 mm/h), choisi rappelons le comme seuil discriminant le corps de l'averse.

Divers essais nous ont donné l'équation :

$CA(t) = 36.8 e^{-0.02t}$. L'averse unitaire étant de 10 minutes, on a remplacé la courbe $CA = f(t)$ par une courbe en escalier de 10 minutes relative à la capacité apparente moyenne d'absorption C_{am} ; nous sommes arrivés ainsi à 5 averses unitaires de 10 minutes, pour un total de 50 minutes (durée de la pluie efficace).

g) Reste maintenant à composer les cinq hydrogrammes unitaires, décalés de 10 en 10 minutes. La figure 16 montre cette décomposition.



Le maximum de crue survient environ 180 mn après le maximum d'intensité de la pluie (temps de réponse moyen).

Au cours de deux années d'observation, la plus forte crue a été de 38 m³/s. Compte tenu des débordements prévisibles, la crue de 41.2 m³/s ne semble pas exagérée (graphique 16)

III.2.2. Bassin versant de Polaka

III.2.2.1. Présentation (1)

Ce bassin de 10 km² de surface environ est essentiellement formé de glacis s'étalant autour des reliefs granitiques en plans doucement inclinés, d'abord développés de la roche en place puis façonnés dans les arènes où la pente est alors très faible. Les zones cuirassées sont importantes à la base desquelles divergent des surfaces (des plateaux en général altérés et érodés) sur lesquelles transitent des matériaux issus du démantèlement des buttes (gravillons). Ces glacis peuvent être eux-mêmes localement cuirassés, mais la cimentation est alors peu profonde et jamais très cohérente. Les arbustes s'aligent en fourrés extrêmement denses qui alternent avec des plages entièrement érodées : c'est la "brousse mouchetée" des photos aériennes ; elle est fortement dégradée par l'action de l'homme à l'amont du bassin.

Les talwegs très ramifiés à l'amont se concentrent en aval en un drain parfois unique. Les lits sont tout de suite bien marqués. De part et d'autre du lit, les surfaces sont à peu près planes et le ruissellement reste diffus. Il existe des horizons ferrugineux peu profonds. Il ne s'agit pas à proprement parler de véritables cuirasses, mais plutôt des carapaces ou même de simples lentilles concrétionnées.

La strate herbacée est très irrégulière.

(1) Voir rapport des campagnes 1976-1977 [15]

III.2.2.2. Etablissement de l'hydrogramme unitaire

Cinq crues ont été sélectionnées parmi les 33 écoulements des années 1976 et 1977 (2 en 1976 et 3 en 1977) et nous ont permis d'établir un hydrogramme médian (voir tableau 8 et graphique 17).

Cet hydrogramme a été utilisé pour la reconstitution d'une "crue complexe" : l'écoulement n° 10 du 14 août 1977 (graphique 18). Le résultat est assez satisfaisant.

III.2.2.3. Prédétermination de la crue décennale

On suivra le même procédé que pour le bassin des Outardes

a) La pluie moyenne de récurrence décennale sur le bassin est de 78.5 mm, la pluie utile est estimée à 68.8 mm et sa durée à 100mn.

b) Le coefficient d'écoulement est déterminé en fonction de la pluie moyenne, P_m , de l'indice d'humidité IH, de l'indice de végétation Iv et de l'intensité maximale Ix (voir paragraphe II concernant les facteurs conditionnels de l'écoulement.)

Une pluie moyenne de 78.5 mm donnerait un K_e de 49 % à corriger pour une intensité maximale de 140 mm/h de $K_e = 12.5\%$, nous aurons donc un K_e de 61.5 %, pour un indice d'humidité IH moyen de 5.5 mm/j et un indice de végétation Iv de 120 mm (correspondant au milieu de la saison des pluies).

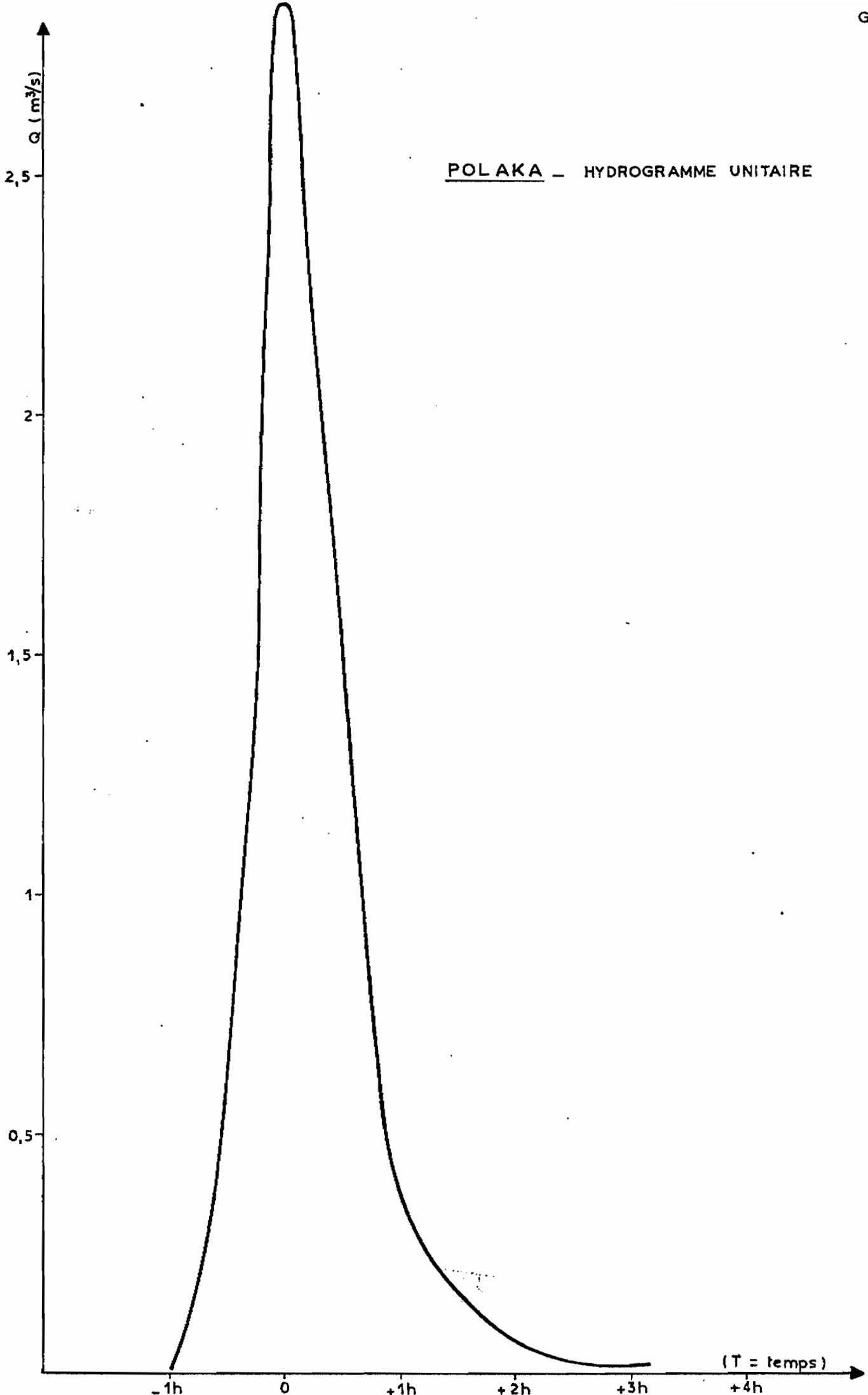
Si l'on avait cherché, là aussi, la crue maximale probable, on aurait pris les pires conditions de saturation préalables correspondant à la plus forte correction pour IH (environ 50 mm/j pour IH correspondant à $K_e = 22.5\%$), la pluie tombant sur un sol nu en début de saison des pluies ($K_e = +8.5\%$) afin d'obtenir le K_e le plus élevé possible soit ($61.5 + 22.5 + 8.5 = 92.5$!)

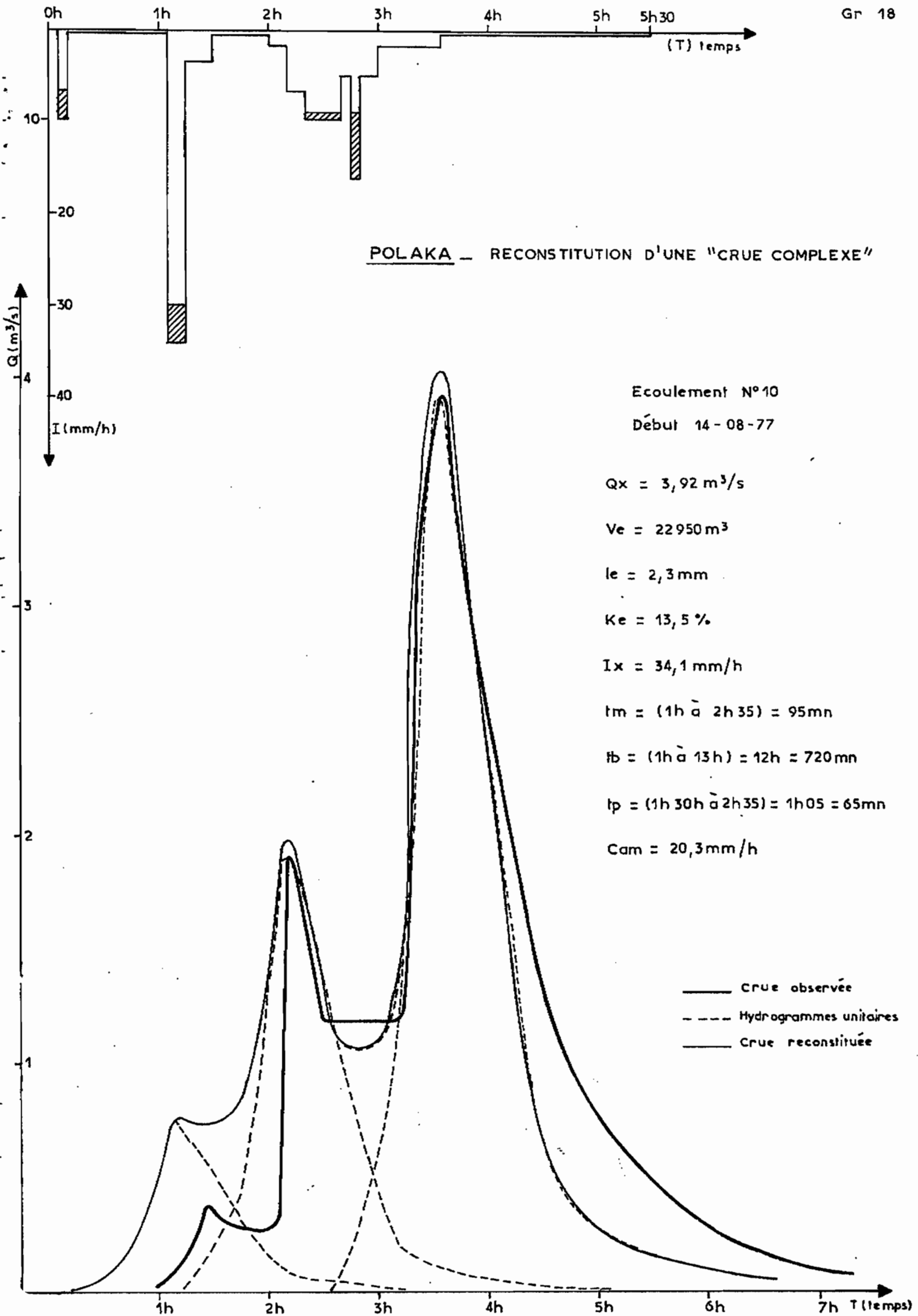
c) Pour un K_e de 61.5 %, on a une lame écoulée de 48.3mm

d) Etude de la capacité d'absorption : calculée de la même façon que pour le bassin des Outardes nous trouvons une capacité d'absorption qui varie à peine avec le temps puisque :

$$CA(t) = 14 e^{-0.001t}$$

POLAKA - HYDROGRAMME UNITAIRE





Repère de crue	-70	-1h	-50	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+50	+1h	+90	+2h	+3h	+4h
1 - 13		0	0.09	0.40	1.35	2.07	2.39	2.86	2.15	1.45	0.89	0.63	0.44	0.33	0.13	0.03	0.02	
2 - 1			0	0	0	0	0	2.90	2.45	1.99	1.54	1.08	0.63	0.17	0.01	0.04	0.02	
2 - 7			0	0	0.19	0.48	1.00	3.17	2.69	2.14	1.67	1.29	0.93	0.71	0.31	0.07	0.02	
2 - 8		0	0.12	0.30	0.52	1.06	2.42	2.64	2.42	2.00	1.52	0.98	0.64	0.34	0.18	0.13	0.06	0.04
2 - 13		0	0.07	0.42	0.52	1.24	1.87	1.93	1.87	1.75	1.40	1.01	0.68	0.50	0.26	0.10	0.07	0.05
médain		0	0.12	0.30	0.52	1.06	1.87	2.86	2.42	1.99	1.52	1.01	0.64	0.34	0.18	0.07	0.02	

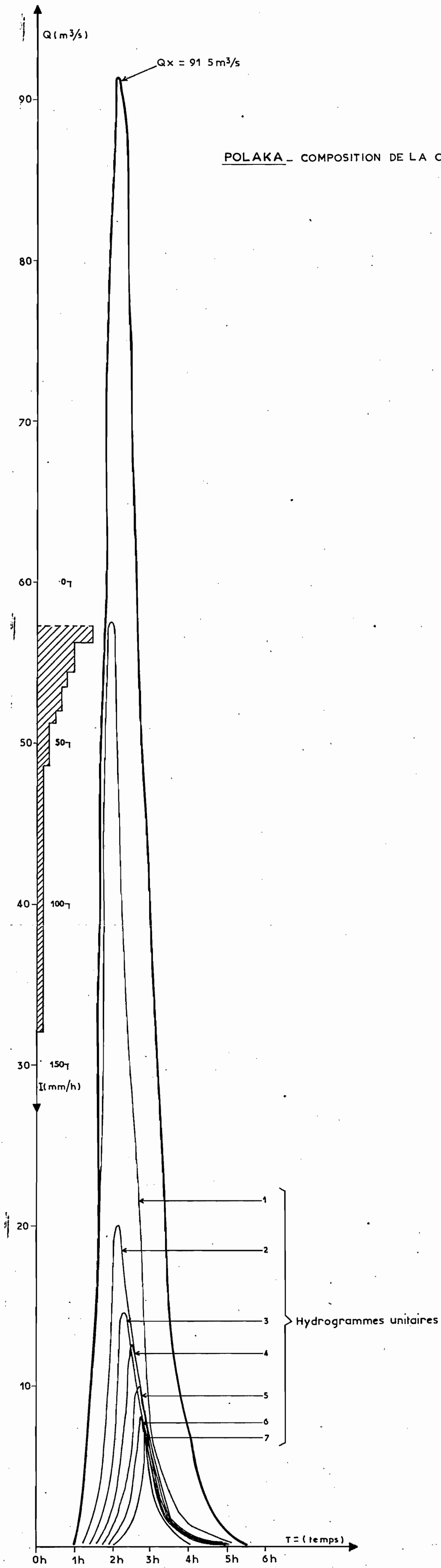
Tableau 8 : Polaka : Hydrogramme type - Débits (en m³/s)

L'averse unitaire étant de 10 minutes, on a décompté 7 averses unitaires de 10 minutes, pour un total de 70 mm (durée de la pluie efficace)

f) Reste maintenant à composer les sept hydrogrammes unitaires, décalés de 10 en 10 minutes. La figure montre cette décomposition :

Le maximum de crue survient environ 60 mn après le maximum d'intensité de la pluie (temps de réponse moyen).

Au cours de deux années d'observation, la plus forte crue a été de 34,9 m³/s (pour Pm = 39 mm). Des débordements étant prévisibles, une crue de 91.5 m³/s nous semble exagérée (graphique 19).



IV - Activités sur le terrain

IV.1. Activités en saison sèche.

L'activité durant cette saison a été essentiellement de bureau où avec A. BERNARD, hydrologue à l'ORSTOM, nous avons dépouillé les campagnes 1976 et 1977 et rédigé le rapport de ces deux campagnes.

J'ai pris pour la première fois connaissance avec le terrain à la fin novembre 1977 où avec J. CLAUDE et A. BERNARD, nous avons surtout visité les diverses stations de jaugeages sur les différents bassins versants de la mare.

A la mi-décembre 1977, nous avons accompagné une mission de pédologues (COLLINET et ASSELINE) du centre d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) venus à Oursi choisir les sites et mettre au point les protocoles pour le simulateur de pluie, mais ce projet semble jusqu'à présent sans lendemain.

Fin janvier, nous sommes revenus à Oursi accompagner DANDOY du centre de Télédétection de l'ORSTOM à Bondy qui nous a auparavant, lors d'une conférence à l'Université de Ouagadougou, donné un aperçu sur la Télédétection et ses diverses applications.

Après avoir assisté le 23 février 1978 à la réunion sur le projet Mare d'Oursi, nous avons accompagné le lendemain M. ROCHE, président du Comité Technique d'hydrologie à l'ORSTOM, lors de sa tournée à Oursi.

J'accompagne à la mi-mars J.C. LACHAUX, géophysicien à l'Université des Sciences et Techniques de Montpellier venu à Oursi pour effectuer des sondages électriques ayant pour but essentiellement de voir si la mare est colmatée et les degrés d'altération du granite selon un axe nord-ouest, sud-est de part et d'autre de la mare.

A la mi-avril, j'accompagne J. CLAUDE à Oursi pour la mise en place des limnigraphes, pluviographes et pluviomètres en prévision de la saison des pluies.

Le long de ces séjours, les discussions que j'ai eues avec divers chercheurs travaillant à Oursi m'ont éclairé sur diverses études poursuivies. Je remercie, entre autres, MENAULT (botaniste CNRS-CEPE), MILLEVILLE (agronome ORSTOM), GROUZIS (botaniste ORSTOM), SICOT (agronome ORSTOM), LANGLOIS (économiste ORSTOM), SODTER (démographe ORSTOM), sans oublier les VSN avec qui j'ai eu de nombreux contacts sur le terrain : ZEGANADIN et LEVANG section agronomie ORSTOM), DENIS et NEBOUT (CTFT), qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour leur contribution à ma découverte de leurs activités si diverses et si enrichissantes.

IV.2. Activités en saison des pluies.

Ce rapport devant être tiré à la fin du mois de juin pour respecter les délais imposés par le Service de formation de l'ORSTOM, il m'est impossible de m'étendre sur ces activités.

Il est prévu une présence quasi-permanente sur le terrain (3 semaines sur 4) où je me relaierais avec A. BERNARD à partir de début juin. Nous devons le long de cette saison continuer à étalonner les sept stations de jaugeages que nous avons sur le bassin d'Oursi. Nous devons relever après chaque pluie et dans la mesure du possible les quinze pluviographes (journaliers, hebdomadaires et longue durée - 20 mm/h), les vingt quatre pluviomètres, et tous les quinze jours, les vingt totalisateurs du bassin. Nous suivons de près aussi les niveaux de la mare d'Oursi (limnigraphe OTTX, réduction au 1/10 à rotation mensuelle) et ceux de la mare de Ganadaouri (limnigraphe OTT XX, réduction au 1/10). Sur la mare d'Oursi, existe aussi un bac flottant posé à la mi-avril 1978 et dont nous devons suivre les évolutions tous les cinq jours. Nous superviserons également les relevés de la station climatologique de Djala-fanka faits par un aide-hydrologue.

V - Activités diverses

Bien que le centre d'intérêt de mon travail ait été, comme cela était prévu, le projet "Mare d'Oursi", J. CLAUDE m'a encouragé à suivre de près les activités que déploie la section hydrologie du centre de Ouagadougou, ce qui m'a permis d'aider au début de mon séjour les hydrologues du centre au dépouillement de la campagne 1977 et surtout de participer à de nombreuses tournées notamment avec P. MAILHAC, hydrologue à l'ORSTOM;

Je résumerai, ci-après, les principales activités de la section hydrologie auxquelles je me suis intéressé.

V.1. Hydrométrie de la Volta Blanche à Bagré et Yakala [20]

Le CIEH, responsable de la réalisation du programme d'études hydrologiques nécessaire à l'avant projet du barrage de Bagré (dans le cadre de l'Aménagement des Vallées des Volta), a confié à l'ORSTOM l'installation, l'exploitation et l'étalonnage de deux limnigraphes aux sites de l'ancienne station ORSTOM-HAER de Yakala et du futur barrage de Bagré.

J'ai effectué avec un aide-technique un jaugeage à la perche de début d'étiage à une centaine de mètres en aval de la station de Yakala et enlevé le limnigraphe, un OTT X de période de révolution mensuelle avec réduction au 1/10 posé sur une tour d'une dizaine de mètres de hauteur.

V.2. Mesures des transports solides de la Volta Blanche au site de Niaogho [21]

La 2ème tranche des études du barrage et du périmètre d'irrigation de Bagré nécessitait l'étude des débits solides sur la Volta Blanche qui a été confiée à l'ORSTOM.

Le choix du site de Niaogho comme base opérationnelle de cette étude a été dicté surtout par la relative facilité d'accès en hivernage.

R. DUMAS, hydrologue à l'ORSTOM, m'expliqua la méthodologie (1)

- Jaugeages : Tous les jaugeages complets se font systématiquement à partir de la rive gauche avec une verticale tous les 5 mètres et une moyenne de 5 points par verticale en hautes eaux et 3 en basses eaux.

Lors d'une crue, et dans la mesure du possible, 3 jaugeages suivis sont exécutés, un à la montée, un au sommet et le troisième en décrue.

- Prélèvements : 2 formes de prélèvements :

. Prélèvements de surface : faits tous les jours entre 2 jaugeages sont exécutés du haut du pont à 3 points fixes à l'aide d'un seau en plastique gradué. La date, l'heure, la cote à l'échelle et le volume prélevé sont immédiatement inscrits sur 3 récipients.

. Prélèvements complets : en chaque point de mesure de vitesse, un prélèvement de 10 litres est effectué à l'aide d'une pompe Japy immédiatement après la mesure de vitesse. Pendant la mesure au moulinet, l'opérateur actionne la pompe, d'abord sans prélever (rinçage du tube et du corps de la pompe), pour prélever ensuite 10 litres dans un récipient numéroté (l'ordre des mesures ponctuelles des vitesses étant conservé).

Le tube de l'ajutage est fixé latéralement à 8 cm du saumon, à la même hauteur que l'axe de l'hélice et en retrait de 25 cm de celle-ci. Les essais faits ont montré qu'il n'y a pas d'influence du pompage sur la mesure de la vitesse.

- Décantation, soutirage.

Les récipients remplis auxquels on ajoute 10 cc de HCl (N/10) sont entreposés à l'abri de la poussière pour la décantation. 24 heures après, on procède au siphonnage des bidons : le tube de siphonnage de 5 mm de diamètre (en plastique transparent) est fixé sur une baguette métallique à 4 cm du fond du récipient (pour éviter toute remise en suspension des particules). Le précipité (environ 1.5 l) est transvasé dans des bidons de 2 litres et

(1) Voir aussi : R. DUMAS, J. CLAUDE : "Mesures des transports solides de la Volta Blanche au site de Niaogho". Campagne 1977. Centre ORSTOM de Ouagadougou. Section hydrologie. Décembre 1977

acheminé au centre. Ce soutirage limite le poids transporté entre Niaogho et Ouagadougou (140 km).

- Filtration et pesée

Après filtration des prélèvements au centre, les filtres numérotés et répertoriés se ressuint toute la nuit avant de passer à l'étuve (105°C pendant 15 h) pour être ensuite pesés après refroidissement dans un dessiccateur.

- Exploitation des mesures

Une corrélation entre concentration de surface et concentration totale a été étudiée graphiquement et a donné de bons résultats.

Chaque mois, sont relevés toutes les quatre heures :

- les hauteurs d'eau à partir de l'enregistrement du limnigraphe, traduites en débits (m³/s),
- les concentrations totales estimées : par extrapolation entre les concentrations calculées d'après les prélèvements de surface ou les jaugeages complets.
- les débits solides à partir des deux résultats précédents.

Le dépouillement de ces mesures, auquel j'ai participé, montre des concentrations en MES "très faibles et sans comparaison avec ce qui est observé dans les cours d'eau sahéliens (affluents du Niger)".

V.3. Hydrométrie de la Volta Noire au site de Noumbiel

EDF-DAFECO a demandé à l'ORSTOM de définir les éléments hydrologiques intéressant le projet hydroélectrique sur la Volta Noire à Noumbiel.

A cet effet, l'ORSTOM a installé et commencé à exploiter dès 1975 un limnigraphe à proximité du site et a assuré un étalonnage satisfaisant de la station hydrométrique par de nombreux jaugeages. Il a été procédé à l'installation de trois bacs d'évaporation de type Colorado à Batié, Gaoua et Diébougou, dont l'exploitation a été assurée par l'ASECNA.

La convention, arrivant à son terme normal, P. MAILHAC a été chargé de récupérer les bacs d'évaporation de Batié et Diébougou.

Je l'ai accompagné lors de cette mission où nous avons effectué un jaugeage à la perche et à gué à quelque trois cents mètres en aval du limnigraphe.

V.4. Etude hydrologique de la plaine de Niéna-Dionkélé [19]

Par convention entre le HAER et l'ORSTOM, la section hydrologie du Centre ORSTOM de Ouagadougou a été chargée de l'étude hydrologique de la plaine de Niéna Dionkélé en vue de l'aménagement rizicole de cette plaine.

Cet aménagement vise deux objectifs principaux :

- Améliorer le contrôle des niveaux d'inondation qui existent déjà (ouvrage à vanne mobile à Karamassasso) par la création d'une série de barrages collinaires sur les rivières principales donnant sur la plaine.

- Permettre grâce à ces barrages une irrigation de complément pour la culture du riz. Pour cela, un équipement hydropluviométrique et une station climatologique (à Karamassasso) ont été installés à partir de 1974.

La convention arrivant à son terme normal, P. MAILHAC a été chargé de démanteler la station climatologique qui servira pour une autre étude. Je l'ai accompagné lors de cette mission où il nous a été possible de découvrir l'une des régions les plus fertiles du pays. L'aménagement de la vallée du Kou, par où nous sommes passés, est une belle réussite apparemment.

V.5. Etude hydrologique de la plaine de Kamadéna [18]

Par convention passée entre l'HAER et l'ORSTOM, la section hydrologie de notre centre a été chargée de l'étude hydrologique de la plaine de Kamadéna nécessaire à l'étude de factibilité.

En effet, les sols de la plaine de Kamadéna présentent de bonnes potentialités agricoles. Les potentialités ne pourront être exploitées de façon optimum que si on arrive à utiliser au mieux les ressources en eau. Certaines surfaces sont trop longtemps

inondées; d'autres, au contraire, ne reçoivent pas la quantité d'eau qui permettrait de cultiver les plantes qui vont avec la nature du sol. Les projets d'aménagement visent donc à améliorer le drainage de la plaine et à aggrandir les surfaces cultivées par épandages de crues et éventuellement irrigation à partir du barrage de TIENEKUY.

Trois types d'aménagements sont proposés :

- Assainissement de la plaine par un canal au colature,
- Assainissement de la plaine et irrigation de 650 à 800 ha à partir du barrage de Tiénékuy, l'épandage des crues étant guidé par des diguettes sur la partie aval de la plaine.
- Aménagement progressif dans le temps permettant successivement un assainissement, un épandage des crues, puis une irrigation de complément par épandage avec utilisation de la retenue du barrage de Tiénékuy.

Les observations hydrologiques ont démarré au début de l'hivernage 1977 avec un équipement hydropluviométrique minimum. Il fallait pour l'hivernage à venir étoffer le réseau pluviométrique et installer une station climatologique près du campement de Toni. Ce fut l'objet de la mission que nous avons effectué P. MAILHAC et moi. Nous avons vidangé et mis une pellicule d'huile aux quatorze pluviomètres totalisateurs déjà existant. Nous avons installé trois pluviomètres totalisateurs, trois pluviographes et une station climatologique avec abri météo, bac Colorado, héliographe, anémomètre, pluviomètre totalisateur, pluviomètres au sol et à 1.50 m du sol et pluviographe.

Cette mission fut d'un grand intérêt pour moi surtout l'installation de la station climatologique.

D - REMERCIEMENTS

Après un séjour de huit mois déjà en Haute Volta, je ne saurais qu'exprimer ma satisfaction devant les conditions matérielles et morales dans lesquelles j'ai vécu. J'ai trouvé dans ce centre le cadre idéal de travail tant par les facilités que je trouve auprès de l'Administration que par les encouragements de J. CLAUDE, que^{par} les nombreux conseils pratiques que ne cessent de me prodiguer les hydrologues du Centre.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à J. CLAUDE, qui m'a fait souvent bénéficier de ses larges connaissances avec toute sa bienveillance. Sa longue expérience en Tunisie me sera, le jour de mon retour au pays, d'un grand profit. Mes vifs remerciements s'adressent aussi à A. BERNARD qui m'a conseillé inlassablement sur le terrain, à Oursi, quant aux "ficelles du métier". Je tiens également à remercier: P. MAILHAC qui a guidé mes premiers pas en brousse, et qui, grâce à sa sympathie naturelle, son sens du contact humain m'a fait beaucoup aimer ce métier.

: R. DUMAS, L. Le BARBE, J.P. THIEBAUX
qui m'ont fait bénéficier souvent de leurs expériences.

: tous les chercheurs des autres sections du Centre qui m'ont éclairé ma lanterne sur tellement de problèmes nouveaux pour moi.

Ce rapport englobant aussi ma première année d'études à l'ORSTOM, je tiens à exprimer ma reconnaissance à tous les chercheurs du bureau central hydrologique de l'ORSTOM à Paris, particulièrement M. SIRCOULON, en qui j'ai toujours rencontré la plus grande compréhension et qui m'a guidé sans ménager son temps.

Enfin, je ne saurais oublier, dans ces remerciements, toutes les familles du personnel expatrié du Centre de Ouagadougou qui m'ont rendu ce séjour des plus agréables.

E - BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages fondamentaux

- [1] DUBREUIL P. - "Initiation à l'analyse hydrologique". ORSTOM. Masson et Cie éditeurs 1974.
- [2] ROCHE M. - "Hydrologie de Surface". Gauthier Villars. Paris 1963.

Publications et articles

- [3] BARRAL H. - "Les populations nomades de l'Oudalan et leur espace pastoral". Travaux et documents ORSTOM n° 77. ORSTOM Paris 1977.
- [4] BRUNET-MORET Y. - "Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale - République de Haute Volta" Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques. ORSTOM, Service hydrologique, Paris (1963, 19p., multigr., 16 fig.)
- [5] BRUNET-MORET Y. - "Influence du corps de l'averse sur le ruissellement d'un petit bassin (bassin du petit Boundjouk)". Cahiers ORSTOM, série hydrologie, n°3. Octobre 1965.
- [6] CAMUS H., CHAPERON P., GIRARD G., MOLINIER M. - "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 ORSTOM n° 52. ORSTOM Paris 1976
- [7] DUBREUIL P. et al. - "Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux. Années 1951-1969" ORSTOM, Service hydrologique, Paris. 1972.
- [8] GIRARD G. - "Modèles mathématiques pour l'évaluation des lames écoulées en zone sahélienne et leurs contraintes" Cahiers ORSTOM, série hydrologie, vol XII, N° 3. 1975.
- [9] HERBAUD J. - "Quelques orientations pratiques pour appliquer la méthode des déviations résiduelles à la recherche des relations entre le ruissellement et ses divers acteurs sur un petit bassin versant". ORSTOM. Service hydrologique. Note technique n°27. Paris, Novembre 1971.

- [10] JOLY P., DEWOLF Y. - "Rapport préliminaire sur la mission géomorphologique dans la région d'Oursi. Université Paris VII. Mars-avril 1976.
- [11] RODIER J. - "Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du Congo"
Mémoires ORSTOM n° 6. ORSTOM Paris 1964.
- [12] RODIER J.A. - "Evaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel tropical africain".
Travaux et documents ORSTOM n° 46 . ORSTOM Paris 1975.
- [13] RODIER J., AUVRAY C. - "Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique Occidentale".
Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques - ORSTOM, Service Hydrologique. Paris 1965.
- [14] VUILLAUME G. - "L'abattement des précipitations journalières en Afrique Intertropicale. Variabilité et précision de calcul".
Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, Vol.XI n° 3. 1974.

Publications locales

- [15] ANONYME - "Etude hydrologique de sept bassins versants alimentant la mare d'Oursi. Rapport des campagnes 1976 et 1977. ORSTOM"
(1978, 76 p.+ annexes, multigr.)
- [16] ANONYME - "Etude des possibilités agro-sylvo-pastorales en vue de la lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute Volta). Projet Mare d'Oursi".
DGRST. Ministère du Plan de la République de Haute Volta.
Rapport scientifique annuel - année 1977.
(1977, 17 p., multigr.)
- [17] ANONYME - "Compte-rendu de la journée d'études du 23 février 1978 sur le projet Mare d'Oursi"
DGRST. Ministère du Plan de la République de Haute Volta. (1978, 39 p., multigr.)
- [18] LE BARBE L. - "Etude hydrologique de la plaine de Kanadéna. Rapport d'installation et de campagne 1977."
Centre ORSTOM de Ouagadougou. Section Hydrologie. Décembre 1977.

- [19] LE BARBE L. "Etude hydrologique de la plaine de Niéna-Dion-
kélé-5 (rapport définitif)"
Centre ORSTOM de Ouagadougou. Section Hydrologie.
Mai 1977.
- [20] LE BARBE L., DUMAS R. - "Hydrométrie de la Volta Blanche à
Bagré, Yakala et Niaogho" Rapport de la campagne
1977".
Centre ORSTOM de Ouagadougou. Section Hydrologie.
Janvier 1978.
- [21] DUMAS R., CLAUDE J. - "Mesures des transports solides de la
Volta Blanche au site de Niaogho. Campagne 1977".
Centre ORSTOM de Ouagadougou. Section Hydrologie.
Décembre 1977.
- [22] BERNARD A. - "Observations climatologiques à la station mété-
orologique de Djalafanka. Mare d'Oursi. Juin 1976
à Décembre 1977".
(1978, 91p. multigr.)
- [23] GROUZIS M. - "Structure, composition floristique et dynami-
que de formations végétales sahéliennes. Mare
d'Oursi (Haute Volta). Résultats préliminaires
(en préparation). ORSTOM 1978.
- [24] SICOT M., ZEGANADIN J.P. - "La rétention hydrique des sols
du bassin versant de la Mare d'Oursi" (ORSTOM)
(1ère partie parue : novembre 1977, 23 p., multigr.
2ème partie à paraître).