

OFFICE DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE MER
O.R.S.T.O.M.

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE
DE TUNISIE
I.N.A.T.

MEMOIRE DE STAGE

2ème ANNEE

OPTION: Hydrologie

THEME: EPANDAGE DES EAUX DE CRUES

CAS DE DEUX AMENAGEMENTS DANS LA ZONE SEMI - ARIDE
DE LA TUNISIE

PRESENTE PAR: TOUMIA Mohamed Lamine

SEPTEMBRE 1979

AVANT - PROPOS

Au terme de ce travail je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé à élaborer ce mémoire, en particulier :

- Monsieur BELKHODJA, Directeur de l'I.N.A.T.
- Monsieur LEFEVRE, Chef de la mission, ORSTOM en Tunisie
- Monsieur Ch. RIOU, Enseignant à l'INA de Tunis mon Directeur de mémoire, qui n'a cessé de m'encourager pendant toute la durée de ce travail, qu'il trouve ici ma profonde reconnaissance

Je suis particulièrement heureux d'exprimer à Monsieur N.ENNABLI, Chef du Laboratoire de Génie Rural à l'INAT, mon très respectueux attachement pour l'aide et le soutien moral que j'ai trouvé auprès de lui durant toute ma formation d'Ingénieur.

Je désire exprimer ma reconnaissance à Monsieur K.ALOUINI, Directeur de Génie Rural, pour l'aide que j'ai trouvé auprès de lui.

- Monsieur GIRARD, Directeur de recherche à l'ORSTOM trouve ici le témoignage de ma gratitude pour ses critiques fructueuses et ses conseils compétents.

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur A.DJEBALI, (Direction de Génie Rural) et Monsieur R.KALLEL (Service Hydrologie de la DRE).

à Madame BEN SALAH qui s'est chargée de la frappe de ce mémoire, et à MM. EL GHARBI et B.BEGHIL Techniciens au Laboratoire Génie Rural, j'adresse mes sincères remerciements.

S O M M A I R E

	Pages
<u>AVANT PROPOS</u>	
<u>INTRODUCTION</u>	(1)
<u>I - APERCU GENERAL SUR LES PERIMETRES D'EPANDAGE DES EAUX DE CRUE EN TUNISIE</u>	(3)
1 - Généralités	(4)
11 - Localisation des périmètres	(4)
12 - Caractéristiques climatiques	(4)
13 - Caractéristiques hydrologiques	(6)
131 - Les petits bassins versants	(7)
132 - Les grands bassins versants	(7)
133 - Conséquences pour l'agriculture	(7)
2 - Les différents types d'aménagement des eaux de crue	(8)
21 - Epanchage naturel	(8)
22 - Aménagements traditionnels	(8)
23 - Aménagements récents	(10)
231 - Principes des ouvrages de dérivation	(10)
232 - Principes du réseau	(11)
3 - Conclusion	(11)
<u>II - ETUDE DE DEUX AMENAGEMENTS D'EPANDAGE DES EAUX DE CRUE DANS LA ZONE SEMI-ARIDE : Bouficha et Enfida</u>	(12)
Chapitre I - Etude des bassins versants	(14)
11 - Présentation du milieu physique	(14)
111 - Situation et cartographie	(14)
112 - Forme, surface et relief	(14)
113 - Sol et sous sol	(18)
114 - Couverture végétale	(19)

12 - Caractéristiques climatiques	(20)
21 - Température de l'air sous abri	(20)
22 - Psychrométrie ou humidité relative de l'air	(22)
23 - Vents	(23)
24 - Insolation	(24)
25 - Evaporation - évapotranspiration	(25)
<u>Chapitre II</u> - Etude de la pluviométrie	(27)
21 - Généralités	(27)
211 - Données existantes	(27)
212 - Valeurs des observations	(27)
22 - Pluviosité annuelle	(30)
221 - Etude générale	(30)
222 - Etude statistique des pluies annuelles	(31)
2221 - Fréquences observées	(31)
2222 - Lois de distribution	(33)
23 - Contribution des pluies saisonnières à l'apport pluviométrique annuel moyen.	(33)
24 - Précipitations mensuelles	(34)
25 - Précipitations journalières	(38)
251 - Analyse statistique du nombre total de jours de pluies	(38)
252 - Etude statistique des maximums annuels	(41)
26 - Intensité des pluies	(42)
<u>Chapitre III</u> - Etude hydrologique des deaux bassins versants	
31 - Données hydrométriques	(44)
311 - Equipement hydrométriques	(44)
3111 - Organisation des observations	(44)
3112 - Historique des stations hydrométriques	(44)
31121 - O.Khairat	(44)
31122 - O.R'mel	(45)

312 - Jaugeages et étalonnage des stations	(45)
3121 - Jaugeages des étiages	(45)
3122 - Jaugeage des crues	(46)
3123 - Courbes de tarage	(46)
31231 - O.Khairat	(46)
31232 - O.R'mel	(46)
313 - Salinité	(49)
314 - Transport solide	(49)
32 - Interprétation des données et analyse du ruissellement	(50)
321 - Etude de O.El Khairat	(50)
3211 - Caractéristiques des crues	(50)
32111 - Descriptions de quelques crues	(50)
32112 - Caractéristiques de quelques hydrogramme	(51)
2113 - Estimation des débits max de O.Khairat	(52)
2114 - Occurence des crues	(53)
322 - Etude de O.R'mel	(54)
323 - Calcul des volumes ruisselés à partir des pluies journalières	(56)
3231 - Généralité	(56)
. facteurs de l'écoulement	(57)
. abjectifs et méthodes	(58)
3232 - Rappel de la méthode des déviations résiduelles	(58)
3233 - Cas 1 - O.Khairat	(59)
3234 - Cas 2 - O. R'mel	(66)
324 - Transport solide	(69)
<u>Chapitre IV</u> - Etude des deux périmètres d'épandage des crues	
41 - Description et analyse de la situation actuelle des périmètres	(72)
411 - Généralité	(72)
412 - Les périmètres et les ouvrages hydroagricoles existants	(72)

4121 - Les périmètres	(72)
4122 - Description des aménagements	(74)
4123 - Fonctionnement hydraulique des ouvrages	(75)
413 - Analyse de la situation actuelle	(83)
4131 - Etat des ouvrages	(84)
4132 - Structure foncière des périmètres	(85)
4133 - Système de production et rendements	(87)
4134 - Les agriculteurs sont ils intéressés par ces aménagements ?	(88)
42 - Besoins en eau sur les périmètres	(89)
421 - Généralité	(89)
422 - Estimation des quantités d'eau nécessaires	(90)
423 - Pluviosité sur les périmètres et degré de satisfaction des bassins en eau des cultures.	(91)
<u>Chapitre V - Etude prévisionnelle du fonctionnement de l'aménagement d'épandage sur l'oued Khairat</u>	(94)
51 - Introduction	(94)
52 - Analyse des crues	(95)
521 - Données de base	(95)
522 - Principes de calcul des volumes utilisables	(95)
523 - Relation : volume dévié - volume ruisselé total	(96)
524 - Mode d'exploitation des débits déviés	(98)
525 - Etude des volumes déviés	(99)
526 - Transports solides et risque d'envasement du réseau	(101)
53 - Les améliorations apportées à l'agriculture de la région	(102)
<u>CONCLUSION</u>	(105)
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	
<u>ANNEXES</u>	

I N T R O D U C T I O N

L'épandage des eaux de crue se fait à partir des cours d'eau temporaires normalement à sec mais pouvant parfois bénéficier de débits importants pendant des durées plus ou moins longues, il peut avoir pour objectif soit la recharge des nappes soit l'alimentation en eau des cultures. Nous ne parlerons dans cet exposé que de ce dernier cas.

Les eaux de crue peuvent être soit stockées dans des barrages réservoirs pour être utilisées ultérieurement, soit dérivées pendant la crue même et épandues sur des terrains proches.

Cette dernière technique, apparemment simple, est connue depuis des siècles dans le pays. Le technicien en Tunisie a été naturellement conduit à l'utiliser là où il ne serait pas économiquement admissible de réaliser des équipements plus complexes.

En effet dans les régions semi-arides les précipitations sont faibles et se trouvent limitées à certaines périodes de l'année. Elles sont très irrégulières et leur hauteur varie considérablement d'une année à l'autre, prenant parfois une forme torrentielle entraînant d'importantes pertes par ruissellement. Nos ancêtres ont adopté diverses pratiques pour retenir cette eau sur leur parcelles. Ainsi on peut remarquer, en se déplaçant dans ces régions, les rigoles que les cultivateurs creusent au milieu des pistes pour amener, lors des averses, les eaux pluviales dans leurs champs. C'est là un système rudimentaire mais d'une telle importance qu'il provoquait quelques fois des conflits entre voisins.

Les "meskats" du sahel (rigoles descendant des versants incultes vers les vergers) représentent un procédé identique mais plus amélioré, les droits de chacun sont ici définitivement établis.

Plus au sud avec les "Jessours" (Matmata, Dj.ORBATA) où la pluie est plus rare, les rigoles ne fournissent plus un appoint à l'alimentation hydrique mais représentent la condition nécessaire au développement végétal. Ce procédé prend une autre dimension quand les cultures sont pratiquées en plaine au débouché d'un oued. Là les eaux de ruissellement sont abondantes et elles ont attiré l'attention, non plus des familles seulement mais, d'une communauté entière ayant recours à des aménagements qui sont parfois très importants.

Au vu de ces aménagements traditionnels (fragiles, instables, mais très peu coûteux.) et voulant mobiliser les ressources hydrauliques au profit de l'agriculture, le technicien en Tunisie s'est penché sur les problèmes d'utilisation des eaux de ruissellement.

Ainsi de nombreuses réalisations, très coûteuses et concentrées surtout dans la région semi-aride du pays ont vu le jour entre 1950 et 1964.

Les bases techniques et socioéconomiques dont dispose l'ingénieur ne permettent pas toujours d'évaluer le risque, la rentabilité de l'investissement et le choix du type d'équipement ; la plupart de ces aménagements se sont finalement soldés par un échec dont les causes ne sont pas encore clairement définies.

Nous nous proposons dans la présente étude d'étudier deux de ces aménagements hydro-agricoles, Bou Fichta et Enfida ; notre travail porte sur les données hydrologiques caractéristiques des bassins versants choisis, sur l'effet des volumes d'eau ruisselée ainsi gagnée, sur l'économie de l'eau des périmètres irrigués, et les conséquences agronomiques prévisibles.

Ce préliminaire technique nous paraît indispensable à une saine analyse de la situation actuelle, laquelle dépend cependant de facteurs socioéconomiques qui sortent du cadre de cette étude, mais pèsent lourdement sur le comportement des utilisateurs.

PARTIE I

APERCU GENERAL SUR LES PERIMETRES
D'EPANDAGE DES EAUX DE CRUE EN TUNISIE

L'utilisation de l'onde de crue dans l'agriculture tunisienne déjà connue depuis des siècles a été largement développée entre les années 1950 et 1964. Cette technique se caractérise par un déséquilibre entre l'homme et les forces qu'il essaie de contrôler. Les conditions naturelles (pluviométrie, écoulement.) ne favorisent pas une utilisation rationnelle de l'eau avec un coût raisonnable et exigent du bénéficiaire la maîtrise, en un temps très court, de volumes et de débits d'eau considérables, d'autant plus importants qu'ils sont moins fréquents et qu'une faible fraction en est seule utilisée.

D'autre part, outre la brièveté et la violence des crues leurs caractères très aléatoires ne correspondent pas nécessairement aux besoins optimaux des cultures en place.

Il y a là également un problème psychologique pour l'utilisateur qui n'est pas toujours convaincu de l'utilité d'un apport d'eau par ruissellement à une période de pluviosité satisfaisante.

Ces systèmes sont généralement construits pour fonctionner de façon automatique chaque fois que des averses soudaines et torrentielles se produisent. Des variantes où l'agriculteur peut intervenir pour régler le débit dévié sont possibles, elles ne sont pas justifiables dans les régions très arides où on a toujours intérêt à mobiliser le maximum d'eau. Dans la majorité des cas les ouvrages de dérivations sont des barrages déversoirs avec ou sans vannes. Lorsque le lit est large c'est une combinaison de barrages déversoirs et des levées de terre non déversantes. Nous donnerons dans les pages qui suivent un aperçu

général sur les périmètres d'épandage, existants ou qui ont existé en Tunisie.

1 - GENERALITES

1.1. Localisation des périmètres

Nous n'envisagerons l'épandage des eaux de crue que sous la forme de grands aménagements collectifs laissant de côté les aménagements familiaux, tel qu'aménagements de talwegs ou prises individuelles dans les oueds qui nécessitent une enquête spéciale pour leur localisation.

Sur la carte de la figure I.1 sont indiqués tous les périmètres d'épandage naturels et récents. Ces aménagements qui ne se justifient que dans les zones climatiques où une utilisation intensive de l'eau n'est pas possible sont nombreux dans le centre et le sud du pays; vaste région naturelle de plaines et de collines, limitée au nord et à l'ouest par des chaînes montagneuses de la Dorsale culminant à 1500 m, à l'ouest par les collines du sahel côtier, au sud par les Séguis et les chotts. Cette région qui couvre environ 30.000 km² se divise en plusieurs régions naturelles représentant des unités distinctes tant sur le plan humain que sur le plan physique.

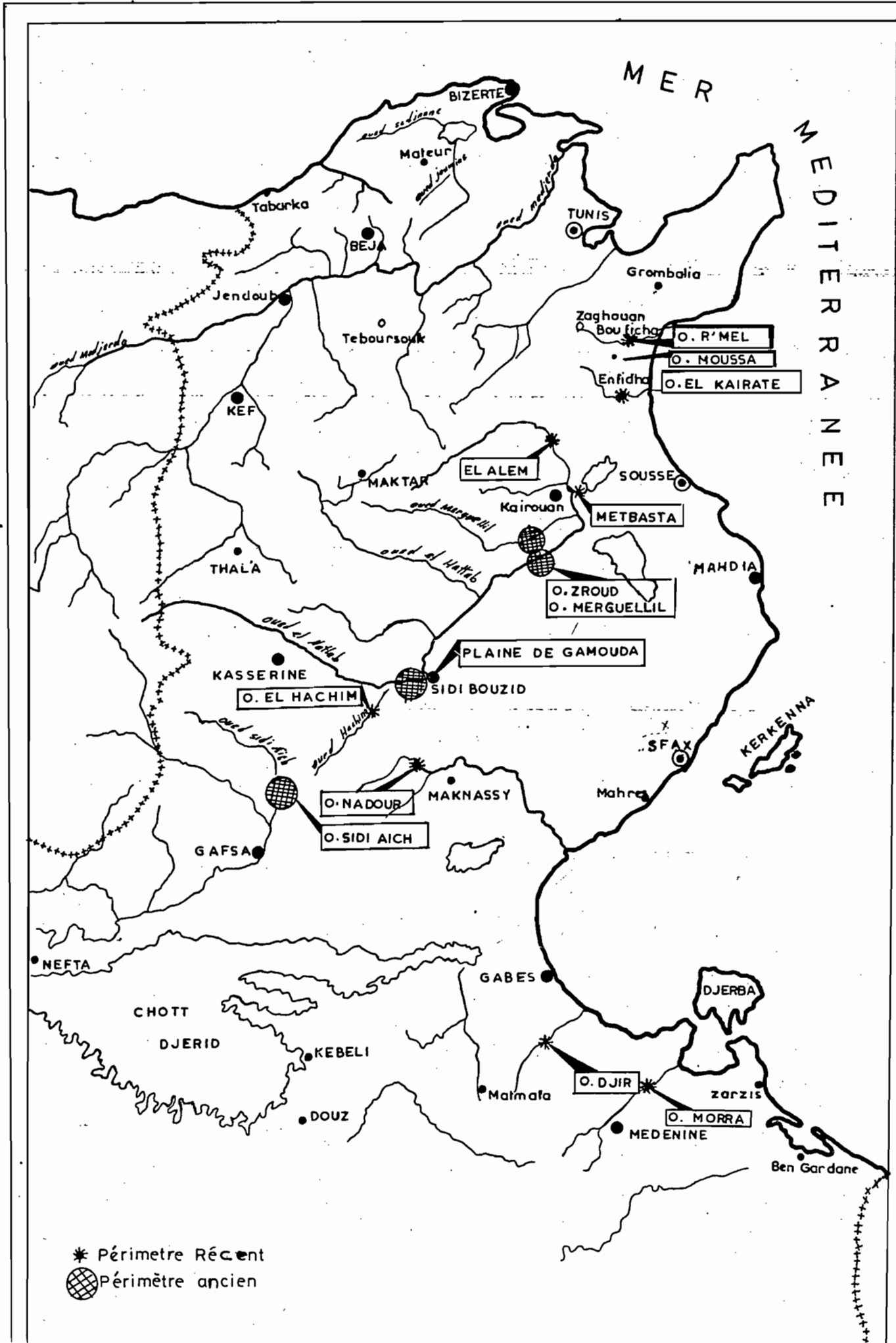
1.2. Caractéristiques climatiques

L'ensemble est ouvert à l'influence de la méditerranée orientale cependant les premiers chaînons montagneux orientés nord-sud forment une première barrière, d'autre part les masses d'air d'origine saharienne en été ou atlantique en hiver peuvent par alternance recouvrir ces régions. La continentalité est le trait le plus marquant de cette zone et elle croit avec l'altitude et l'éloignement de la mer.

Les principaux périmètres se situent dans la basse steppe qui appartient à l'étage méditerranéen aride. ⁽¹⁾

(1) sauf les périmètres des O.Khairat et Bouficha qui se situent dans l'étage semi aride.

Situation des périmètres d'épandage des crues en TUNISIE



Les variations au cours d'année de la température moyenne peuvent être importantes, les amplitudes mensuelles et annuelles sont remarquablement révélatrices de la continentalité du climat

L'irrégularité de la pluviosité est une caractéristique de cette région, en effet l'écart entre la moyenne interannuelle et les valeurs extrêmes est très important. A sidi Bouzid la moyenne sur 63 ans est de 240 mm ; des pluviométries annuelles de 922 et 60,7 mm sont observés à la même station.

1.2.1. Pluviométrie saisonnière et mensuelle

La contribution de chaque saison à l'apport pluviométrique annuel est donné pour quelques stations au tableau N°1.

Tableau N°1

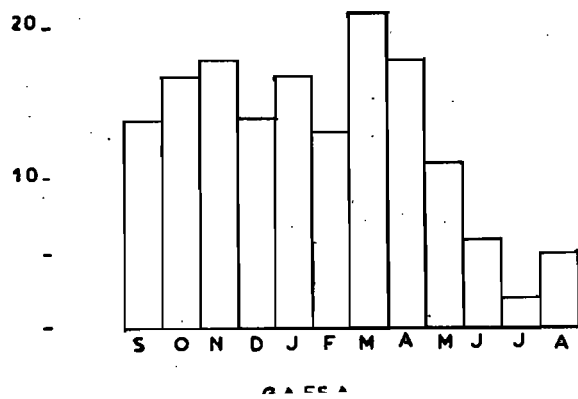
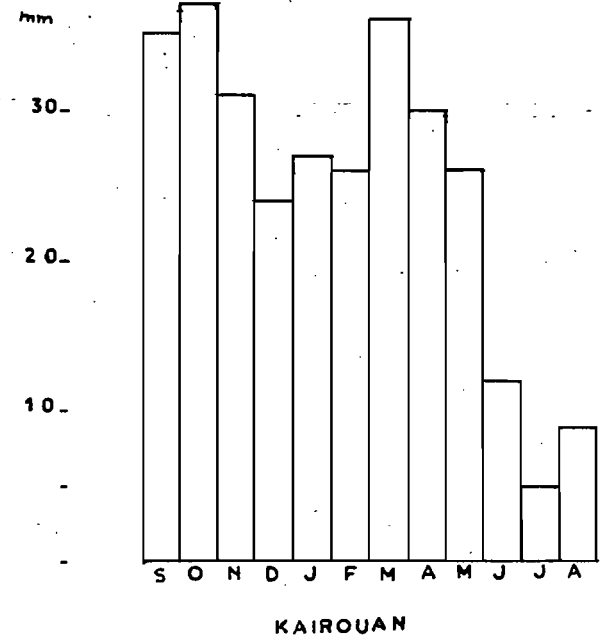
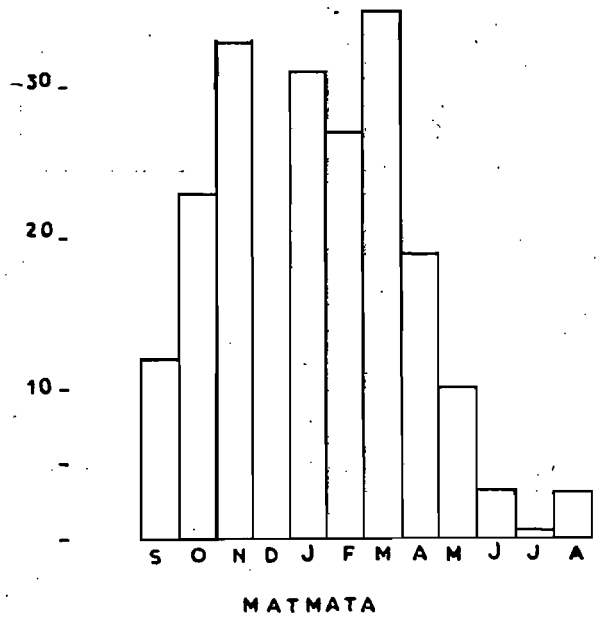
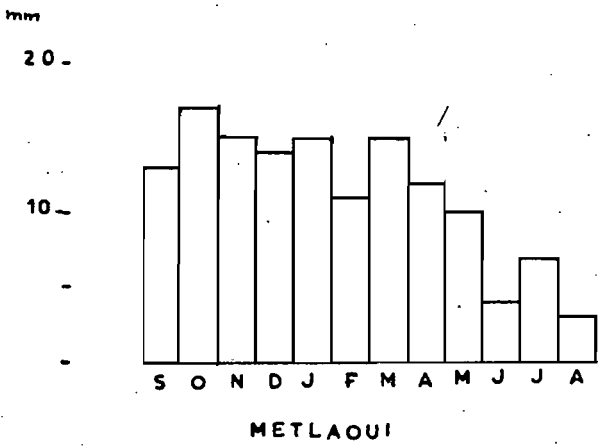
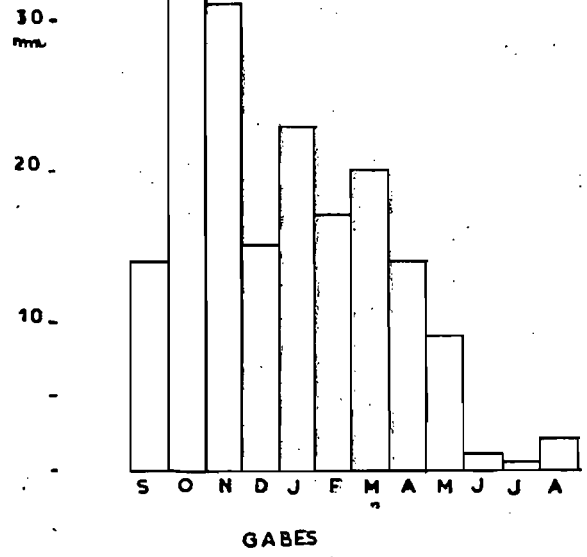
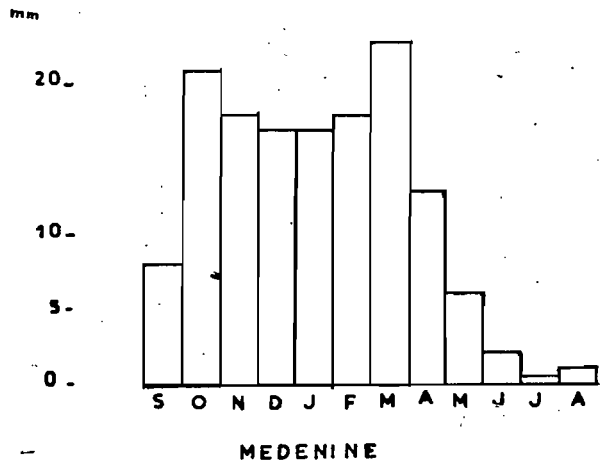
Station	!Automne! ! en% !	Hiver en %	!Printemps ! en %	! été en %	! moyenne annuelle
Kairouan	! 34,6 !	25,8	! 30,9	! 8,7 !	298
Gafsa	! 31,4 !	28,2	! 32	! 8,3 !	156
Metlaoui	! 33,1 !	29,4	! 27,2	! 10,3 !	136
Matmata	! 30,8 !	37,6	! 29	! 2,8 !	221
Mednine	! 32,6 !	36,1	! 29,2	! 2,3 !	144
Gabès	! 43,9 !	30,6	! 23,9	! 1,8 !	180

Les diagrammes de la figure I.2 présentent la pluviosité moyenne mensuelle calculée sur 60 ans. Elles montrent bien l'irrégularité du régime mensuel des pluies dans cette région.

Les mois les plus pluvieux sont généralement octobre et Mars. La diminution des pluies pendant les mois d'hiver devient de moins en moins nette au fur et à mesure qu'on descend vers le sud. Les mois d'été sont pratiquement secs.

La distribution des pluies journalières est irrégulière en effet il peut tomber en une seule journée une pluie dont la valeur est supérieure à la moyenne interannuelle (278 mm le 27/10/69 à El Hajeb).

PLUVIOSITE MOYENNE MENSUELLE



1.2.2. Les vents :

En général les vents dominants sont de direction Nord-Ouest et Est, ^{en hiver} Sud Est en été, le sirocco peut sévir sur de vastes zones, les pourcentages de calme sont faibles presque partout et le vent est en moyenne fort.

1.2.3. Rayonnement Solaire

A Kairouan la durée d'insolation est de 3200 heures par an avec un minimum en Janvier (200 heures) et un maximum en Juillet (370 heures). Les gélés sont fréquentes partout du fait de la continentalité marquée du climat; la neige est rare, par contre la grêle est fréquente et peut arriver à tout moment.

La précarité de l'agriculture dans ces conditions est évidente, ainsi sur 4 années à Kairouan on compte en moyenne 2 récoltes nulles, une médiocre et une seule bonne pour la culture de céréale.

Les plantations d'oliviers, sur sols très légers supportent mieux le climat mais elles ^{sont} improductives les années sèches. Un appoint d'eau est donc aussi indispensable pour assurer les récoltes que pour augmenter leurs rendement.

1.3. Caractéristiques hydrologiques

L'étude des phénomènes hydrologiques est complexe et sort du cadre de cette étude et nous nous contentons de ne mentionner que des remarques d'ordre général..

Les bassins versants ont d'assez fortes pentes. La perméabilité est en général faible, d'où un sol favorable au ruissellement et à l'érosion et ce n'est ni la végétation naturelle rare, ni les cultures assez maigres qui peuvent freiner efficacement la dégradation. L'instabilité des lits d'oueds se traduit par une mise en mouvement du fond et des berges. Les matières transportées comprennent des éléments en suspension (des concentrations de 100 g/l sont très possibles) et des éléments de charriage du fond pouvant atteindre plusieurs centaines de Kilogrammes.

1.3.1. Les petits bassins versants

Ce sont les collines de la haute et de la basse steppe ainsi que la plupart des piémonts montagneux de l'ouest et du Sud, couvrant au plus quelques dizaines de Km², incapables d'apporter un appoint d'eau suffisant pour compenser le déficit pluviométrique de la plaine. D'ailleurs les deux événements, pluviométrie sur le bassin versant, et pluviométrie sur la plaine sont très liés et chaque fois qu'il y a une crue le sol de la plaine se trouve déjà saturé.

Ces oueds aux crues brèves et rares (1 à 3 crues par an) se perdent immédiatement et ne sont utiles qu'aux quelques riverains privilégiés, des "garaa" (dépression naturelle) ou des "Enfida" (élargissement du lit).

Une vingtaine d'ouvrage d'épandage sur ces types de bassins versants ont été réalisés dans la région de Gafsa-Meknassy. Les résultats n'ont pas été tout à fait positifs ce qui laisse penser que de tels aménagements sont inadaptés à ces bassins versants.

1.3.2. Les grands bassins versants

Les bassins versants les plus importants de cette région sont les seuls qui ont intéressé les agriculteurs depuis longtemps.

Ces grands oueds (O.Zéroud, O.Fekka, O. Merguéliil O.Bayech) sont tous entrecoupés de zones dépressionnaires provoquant un semi-endoreïnsme (zone d'épandage) que les riverains ont utilisé pour pratiquer des cultures inondées. Ces oueds sont tous caractérisés par un nombre limité de crues dans l'année(1) (de zéro à quelques crues par an) de durées plus ou moins longues mais toujours violentes et dangereuses.

1.3.3. Conséquences pour l'agriculture

L'utilisation des eaux de crue de ces oueds pour l'agriculture représente un appoint à la pluviosité annuelle elle n'assure cependant pas la sécurité désirable à l'agriculteur.

(1) à l'exception de l'O Zéroud (9000 km²) recevant des affluents d'origine tellienne ou steppique, présente un régime diversifié et amplifié par l'importance de son impluvium.

comme les conditions hydrologiques vont à l'encontre de la préoccupation des utilisateurs, on est obligé de dériver de gros débits (jusqu'à 30 l/s/ha) dans des conditions techniques très défavorables (lit large, sableux et instable, abondance des débits liquides et solides...).

Cette difficulté n'a jamais découragé les fellahs de la région qui depuis longtemps ont utilisé l'eau dans les grandes plaines d'épandage naturel en subissant à peu de frais les risques que la nature leur imposait.

Récemment, avec le changement des structures sociales sur les périmètres et la crue exceptionnelle de 1969, les aménagements existants (traditionnels et récents) sont ou bien, mis hors service ou bien délaissés par les agriculteurs. D'ailleurs le plan quadriennal (69-72) a défini l'épandage d'eau de crue comme une opération à faible rentabilité et ces périmètres ont été inscrits dans le programme de la lutte contre les inondations.

2 - LES DIFFERENTS TYPES D'AMENAGEMENT DES EAUX DE CRUE

2.1. Epandage naturel

C'est une utilisation des eaux, très fréquente au sud surtout qui n'exige aucun effort de la part des agriculteurs, les deux formes des conditions naturelles si particulières sont les "Enfida" zone d'alluvionnements à la partie basse des petits oueds montagneux, et les "garâa" petites dépressions fermées inondées par un ou plusieurs oueds.

Les riverains en bénéficient sans autre effort que celui de la culture traditionnelle des céréales. Les "Garâa" sont cultivées au fur et à mesure qu'elles se dessèchent (cultures maraichères surtout).

2.2. Aménagements traditionnels

Connus sous le nom de "Mgoud", ce sont de petits canaux de dérivation sans barrage. En effet quand l'oued coule dans un lit très large et peu encaissé, il suffit d'ouvrir

une brèche dans la berge et de creuser un fossé dont le fond s'alignera peu à peu sur le terrain naturel. Pour faciliter la déviation de l'eau dans le M'goud celui ci est tracé en général obliquement par rapport aux lignes de courant, une petite levée en terre où une murette en gabion prolonge quelque fois la rive aval du M'goud vers l'intérieur du lit de l'oued. L'efficacité du système dépend beaucoup de son entretien, qui peut être onéreux lorsque l'oued creuse son lit à chaque crue.

Ce mode de dérivation est connu aussi bien des riverains des petits oueds de collines ou de montagnes (dans la région de Gafsa il est connu sous le nom de "Megleb") que de ceux de grands oueds de la steppe (Fekka, Zéroud, Merguellil) Les riverains sont habitués à la maîtrise des crues et savent tirer le meilleur profit des inondations par une multitude de petits aménagements de surface, réglant et facilitant l'épannage.

Ce système était parfaitement adapté aux possibilités locales d'exécutions, les débits dérivés sont faibles et la destruction des terres cultivables par l'érosion n'est pas à craindre. On lui reprochait le fait d'avoir une application très limitée (une centaine d'hectares au maximum et de ne fonctionner qu'au début de la crue). En effet la montée de l'eau provoque des dégâts à l'entrée du M'goud de sorte que le prélèvement devient très partiel, à la décrue il n'y a pratiquement pas d'eau qui passe dans ces saignées.

Les fellahs s'organisaient souvent sous forme de "Syndicat d'inondation" pour entretenir les canaux et réparer les gros dégâts. Les contributions étaient le plus souvent sous forme de travail et de méchia (1)

Actuellement ce mode d'utilisation de l'eau est en voie d'abandon, au profit d'une multiplication du nombre de puits de surface qui s'est amorcé juste après les crues de 69 ; la majorité de ces périmètres ont été détruits.

(1) Méchia : animaux de trait

2.3. Aménagements récents

Ce sont des aménagements à grande échelle, oeuvre de la période 1950-1964. On espérait de cette nouvelle technique très onéreuse une meilleure stabilité, un entretien moins onéreux et surtout une meilleure utilisation des crues même si elles se succédaient à faible intervalle.

L'expérience devait vite s'avérer décevante. En effet les premiers ouvrages furent construits vers 1950, réalisés, avec des moyens qui étaient modestes (Gabion) sur une vingtaine d'oueds à petits bassins versants (dans la région sud-ouest de la Tunisie).

Ils se voulaient économiques, rustiques et à la portée des fellahs qui n'étaient cependant pas associés à ces travaux. Cette expérience a été sanctionnée par un échec presque total.

Dans un deuxième temps ce fût l'ère du béton ; des oueds à bassins versants plus importants (une à plusieurs centaines de Km²) ont été l'objet d'aménagements solidement conçus en essayant de respecter les objectifs suivants :

- efficacité et pérennité des ouvrages
- contrôle des débits déviés
- division poussée de l'eau sur le terrain

2.3.1. Principe des ouvrages de dérivation

Les barrages de dérivation équipant ces nouveaux périmètres (1) fixent rigoureusement la section de passage de l'oued. Ils sont protégés contre les submersions et les contournements et comportent un dispositif de dévasement afin de réduire les dépôts solides dans les canaux. A l'entrée du canal tête morte le débit est rigoureusement contrôlé par des ouvrages limiteurs de débits ou par des vannes.

(1) On trouvera en annexe I une description des ouvrages de quelques aménagements types. Ceux de l'O.Rmel et O.Khairat sont donnés dans le texte.

2.3.2. Principe du réseau

Il comporte généralement un canal tête morte qui arrivant au périmètre se divise en canaux principaux (partiteurs automatiques ou par vannes). Des ouvrages de chute destinés au contrôle de la vitesse de l'eau règlent la pente des canaux. Un fractionnement de l'eau dans le périmètre est fait par un réseau de canaux secondaires assez dense desquels l'eau est libérée par des prises espacées de 100 à 150 m.

3 - Conclusion

Ainsi de la simple dérivation avec digue sommaire on est passé à un réseau d'irrigation classique, avec son barrage de dérivation, ses canaux primaires et secondaires, ses ouvrages de contrôle, partiteurs, prises, ponceaux, aménagement du terrain.

La rareté des crues, le désintéressement ou la mauvaise maîtrise de cette technique par les fellahs(1) ont contribué parmi d'autres facteurs (mauvais entretien, mauvaise répartition de l'eau...) à une mauvaise exploitation de ces aménagements.

Dans la suite de ce texte nous allons essayer de contribuer à l'étude de l'analyse de la situation actuelle des périmètres d'épandage des eaux de crue à partir d'une étude particulière de deux aménagements situés dans la zone semi-aride de la Tunisie : Bouficha et Enfida.

(1) Ces aménagements sont faits en des endroits où l'utilisateur n'est pas habitué au maniement des crues.

PARTIE II

ETUDE DE DEUX AMENAGEMENTS D'EPANDAGE DES
EAUX DE CRUES DANS LA ZONE SEMI-ARIDE
Bouficha & Enfida

La région concernée est bien connue depuis longtemps les innombrables vestiges d'ouvrages hydrauliques qui existent encore montrent qu'une mobilisation générale des ressources en eau a eu lieu dans cette zone.

La pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 355 mm (Bouficha) et 500 mm (Zaghouan) avec une répartition très irrégulière dans l'année et une fréquente forte intensité fait que ces quantités d'eau sont loins d'être suffisantes pour l'agriculture.

Déjà un début d'effort d'utilisation des eaux de crue a été entrepris vers les années 60, malheureusement l'on n'a pas pu continuer cette opération au vu des résultats non encourageants des quelques aménagements implantés.

Les disponibilités en eau de la Tunisie sont très limitées et jusqu'à présent on s'intéresse peu à la "petite hydraulique" sous prétexte de non rentabilité.

Un programme de recherche portant sur l'utilisation des eaux de crue, perdues dans la mer ou dans des dépressions salées, (sebkhas) devrait être entamé le plus tôt possible. Des données nouvelles doivent être apportées concernant :

- la connaissance globale des écoulements des oueds,
- la formation de l'écoulement,
- les mesures à entreprendre pour diminuer le transport de matériaux et le ruissellement,
- les milieux socioéconomiques où seront implantés les aménagements projetés.

Nous nous proposons dans ce qui suit de cerner les causes de l'échec de deux aménagements d'épandage situés dans cette région. Ce travail portant sur les données hydrologiques et les conséquences agronomiques prévisibles paraît nécessaire à une analyse correcte d'une telle situation.

C H A P I T R E I

CARACTERES PHYSIQUES ET CLIMATIQUES DES BASSINS VERSANTS DES OUEDS R'mel & Khairat

1.1. Caractéristiques physiques

1.1.1. Situation et cartographie (fig II-11)

Compris entre 40.11 gr et 40.60 gr de latitude Nord et entre 8.60 gr et 9.00 gr de longitude Est, les bassins versants des oueds R'mel et Khairat sont adossés au flanc Sud Est de la dorsale tunisienne et ont comme exutoires respectifs le Golfe de Hammamet et la sebkha Assa Djiriba. L'orientation générale de ces bassins est: Nord-Ouest Sud-Est et le point le plus élevé dans la région atteint 1295 m (point culminant du Dj Zaghouan). L'aval est constitué par des terrains assez plats désignés sous les noms de plaine de Bouficha (O.R'mel) et d'Enfida (O.Khairat)

Toute la région est d'un accès facile grâce à un réseau de (routes et pistes) assez dense. Quant au réseau de mesure hydro-métrique, il est très récent et peu développé (1 station par bassin).

Les bassins limitrophes les plus importants sont ceux de Miliane et de Nebhana.

1.1.2 Forme surface et relief

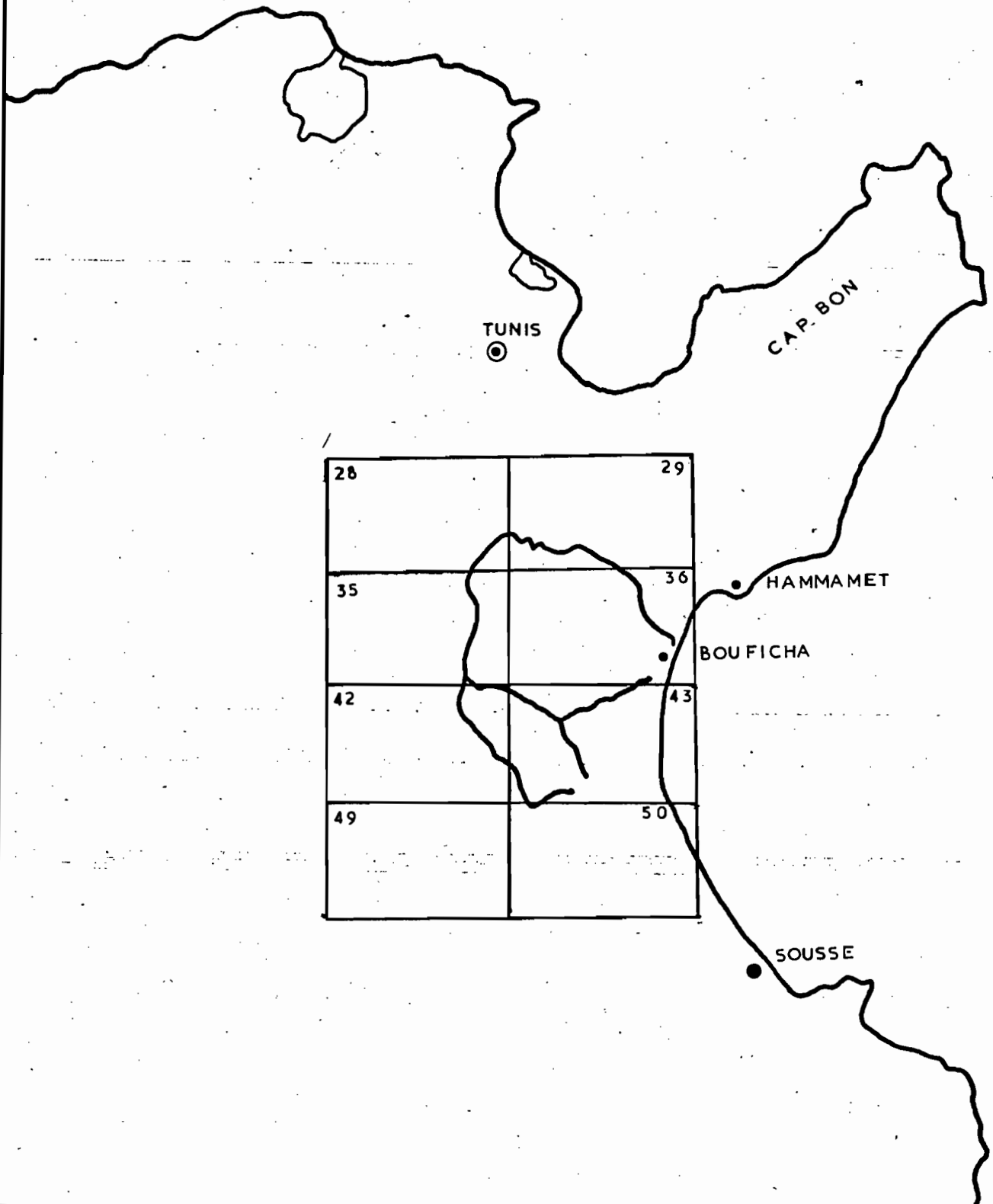
1.1.2.1. Bassin versant de l'O Khairat

De forme assez allongée, ce bassin versant occupe une superficie totale de 240 km² (215 au niveau du barrage et 176 à la station hydro-métrique). Juste en aval de l'ancien barrage, le lit de cet oued n'a plus un tracé stable, une partie de l'eau véhiculée rejoint le lit de l'oued Moussa au Nord et le reste traverse la plaine dans des petits ravins avant de se jeter dans la sebkha.

EPANDAGE DES EAUX DE CRUE

FIG II 11

Plan de Situation de la zone étudiée



Un ensemble de relief relativement mamelonné marque les limites de ce bassin où nous trouvons :

du Nord au Nord-Ouest :

Dj. Garci	412 m
Dj. Medeker	500 m
Dj. Zriba	735 m
Dj. Kef ennama	534 m
Dj. Koubbet el Hamama	596 m
Dj. Chagaga	538 m
Dj. El khol	680 m

et du Sud-Ouest au Sud :

Dj. Derhafla	522 m
Dj. El farch	225 m
Dj. Fadeloun	317 m

A l'intérieur du bassin, des monts assez élevés couvrent une superficie non négligeable. Nous citerons :

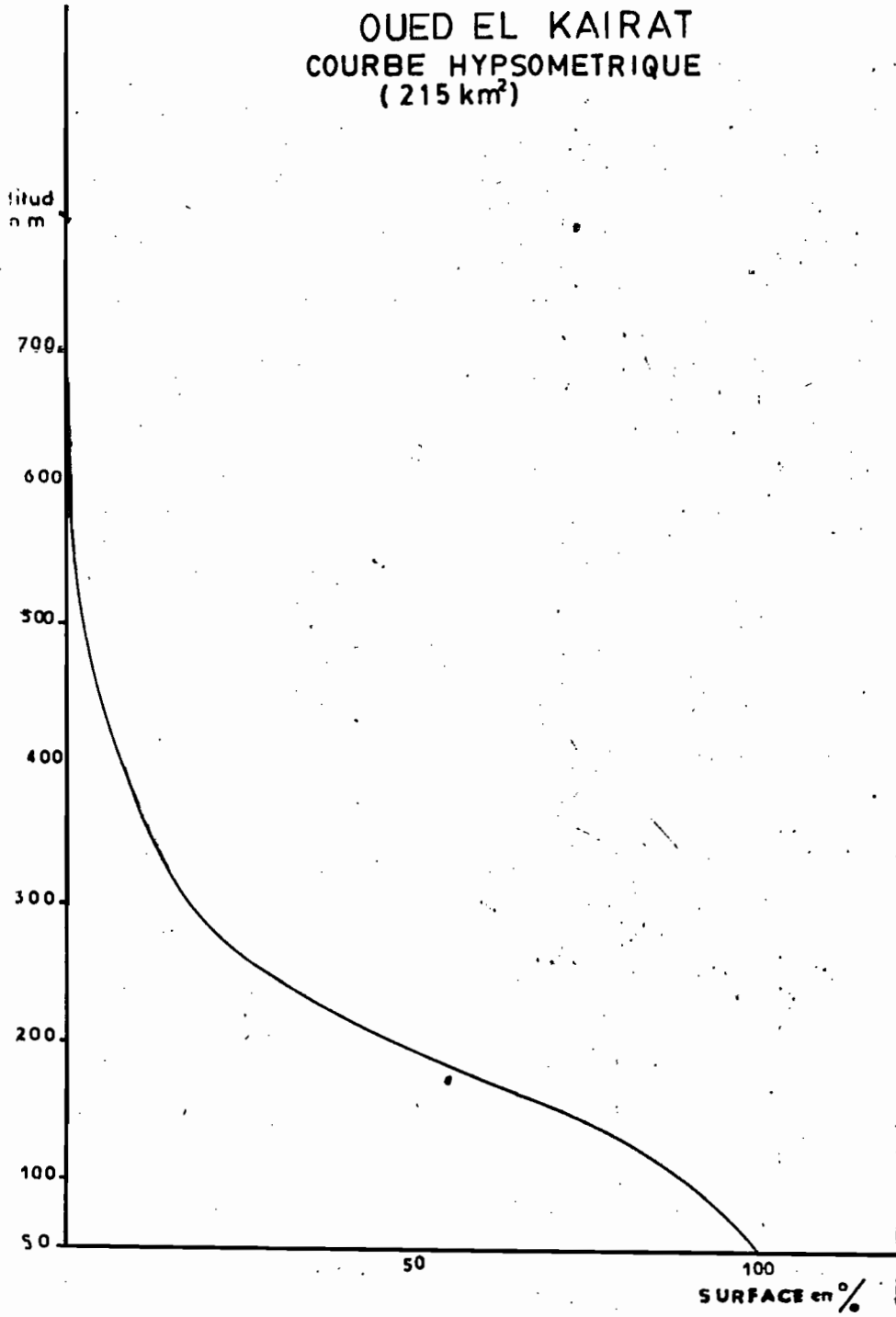
Kef Ennsoura	362 m
Dj. Guessaat Ennoura	543 m
Dj. Sidi khalifa	537 m

Nous donnons au tableau n°2 les éléments suivants :

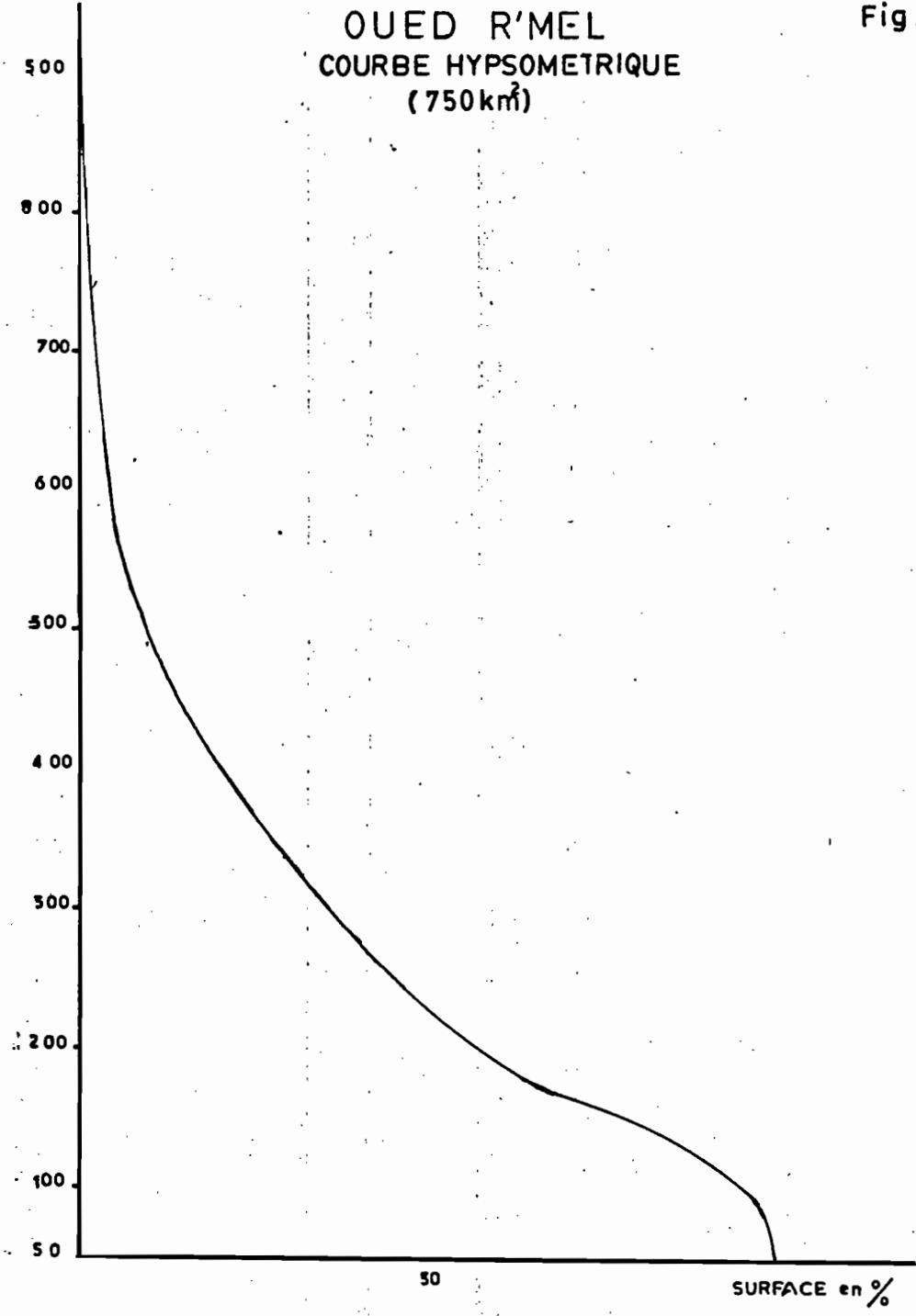
- la surface A en km²
- le périmètre stylisé P en km
- le coefficient de forme de Gravelius C
- la longueur du rectangle équivalent : L en km
- la largeur du rectangle équivalent : l en km
- les altitudes, maximales, minimales et médianes en m
- l'indice de pente de roche : I_p
- l'indice de pente global : I_g
- la dénivellation spécifique : D_s

Sur les figures II - 1.2. et II - 1.3. on a représenté les courbes et les cartes hypsométriques pour chacun des deux bassins versants.

OUED EL KAIRAT
COURBE HYSOMETRIQUE
(215 km²)

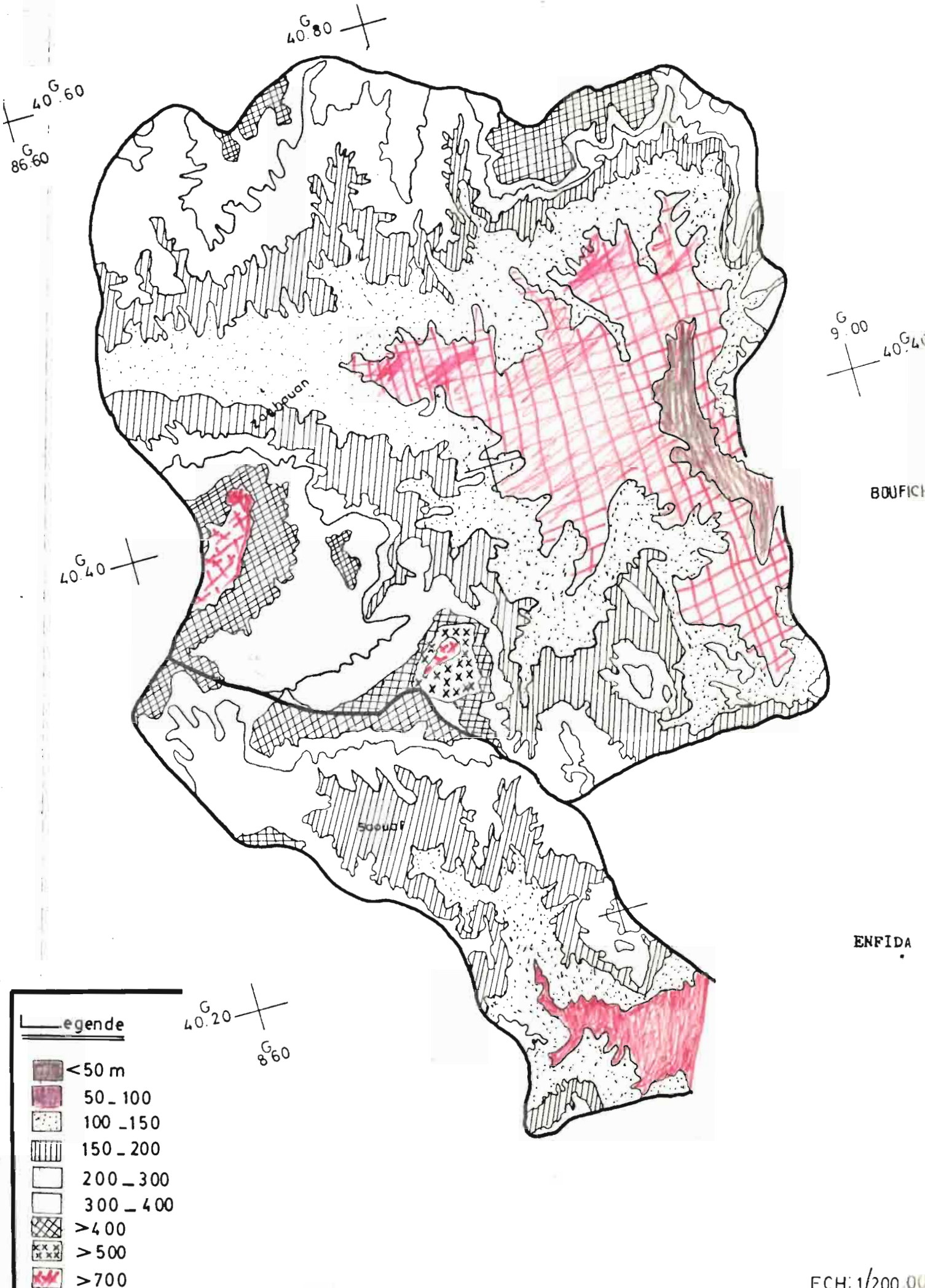


OUED R'MEL
COURBE HYSOMETRIQUE
(750 km²)



CARTE HYSOMETRIQUE DES BASSINS VERSANTS DU R'MEL ET KHAIRAT

fig II 1



Paramètres caractérisants la géométrie et
le relief des deux bassins versants

Tableau -2-

	Oued El Khairat (au niveau du barrage)	!	Oued R'mel- (au niveau du barrage)
Superficie en Km ²	215 Km ²	!	750 Km ²
Périmètre stylisé Km	80 Km	!	116 Km
Coefficient de forme	1.53	!	1.18
L (Km)	33.7	!	37.9
l (Km)	6.3	!	20.1
Altitude maximale	730 m	!	1295 m
Altitude minimale	55 m	!	30 m
Altitude médiane	195 m	!	225 m
Ip	0.121	!	0.136
Ig	10.9 m/Km	!	12.4 m/Km
Ds	159.8	!	339.6
		!	

Ainsi le bassin versant de l'Oued Khairat au barrage de dérivation a une forme allongée (C = 1.53) la moitié de la surface est située au dessus de 200 m, l'autre moitié est entre 55 et 200 m.

La courbe hypsométrique fait apparaitre peu de zones plates alors que la dénivellée spécifique Ds classe (DUBREUIL) ce bassin dans ceux à assez fort relief.

1.1.2.2. Bassin versant de l'O.R'mel

Ayant une forme assez ramassée (C = 1.18) ce bassin versant occupe une superficie, au niveau du barrage, de 750 Km² (686 Km² à la station hydrométrique C₃₁).

La branche Sud est drainée essentiellement par les oueds Hammam, Ramlah et Essahia. Celle du Nord par les oueds Zouarine, Sebahia, Zit et El meleh. Une large plaine de forme triangulaire couvre presque 50% du bassin versant, se communicant avec celle de Mograne, joue un rôle de tampon pour les crues de ce bassin. La limite du bassin est marquée principalement par les reliefs suivants :

du Nord-Est au Nord-Ouest

- Dj. Gamous	236 m
- Dj. El kroun	278 "
- Dj. Djenane	324 "
- Dj. Bounaouara	477 "
- Dj. Merlia	646 "
- Kef Ettihala	668 "
- Dj. Sidi Zid	751 "
- Dj. Ahira	523 "
- Dj. Zouarine	469 "
- Dj. Zaghouan	1295 "

du Nord-Ouest au Sud-Est

- Dj. Kef Ennaama	573 "
- Dj. Zriba	735 "
- Dj. Medeker	501 "
- Dj. Kelb Etouil	336 "
- Dj. Aker	280 "

A l'intérieur du bassin on trouve dans la branche Sud des sommets assez élevés :

- Dj. Errbaia	402 m
- Dj. El guebli	451 "
- Kef Ennsour (Zriba)	692 "
- Dj. Bousafra	401 "

Nous avons donné au tableau N°2 quelques caractéristiques de la géométrie et du relief de ce bassin. Ces valeurs et les figures II -1.2 et II -1.3. montrent que le relief en amont du réseau hydrographique est assez élevé (plus de 35% de la superficie a une altitude comprise entre 1200 et 300 m) En descendant vers l'aval, la pente du terrain diminue (45% du bassin est compris entre 50 et 200 m) neutralisant ainsi l'effet des fortes pentes sur le ruissellement (violence et érosion) et favorisant un rôle tampon et régulateur des crues.

1.1.3. Réseau hydrographique (fig II.1.4.)

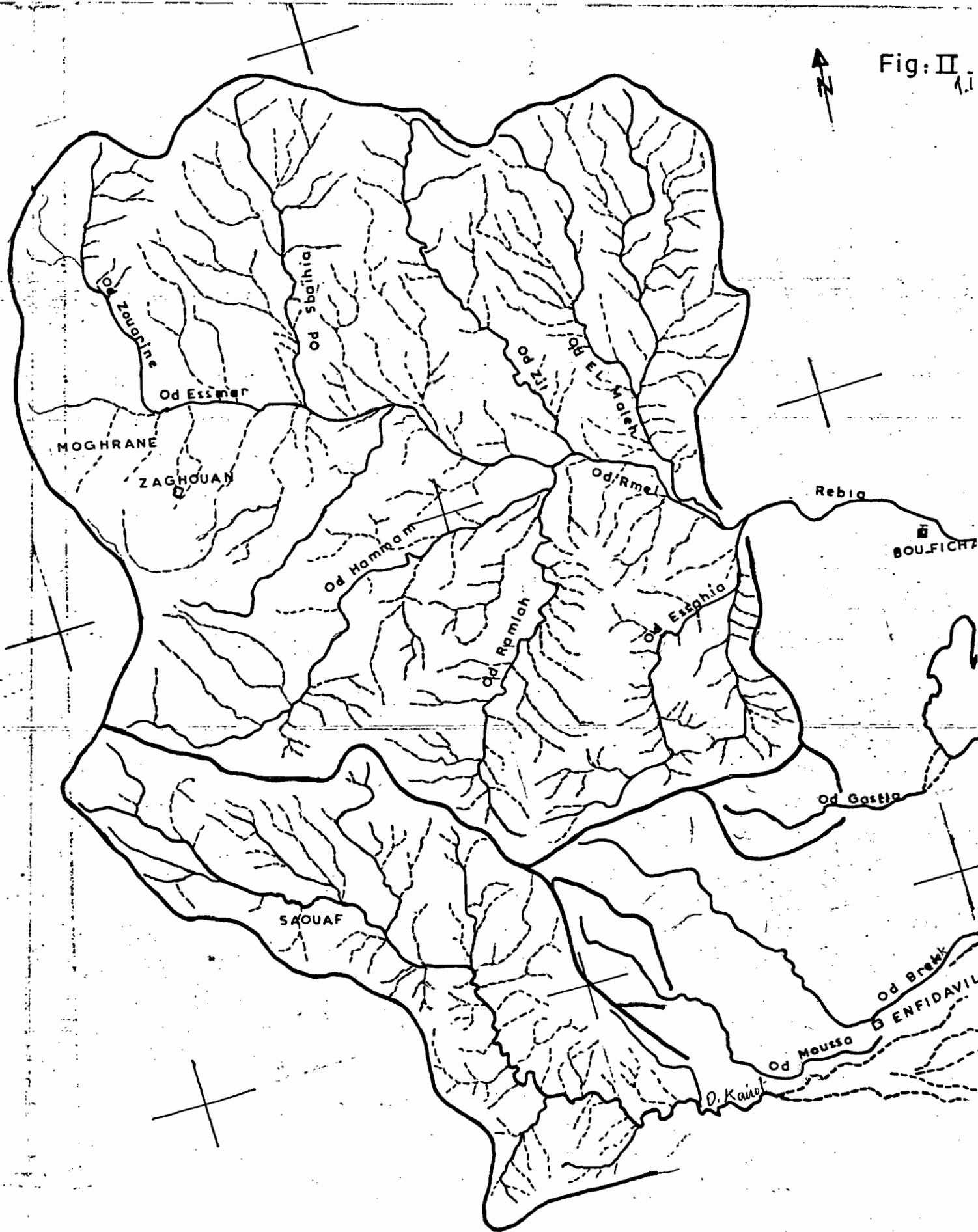
Les collecteurs se distinguent sans ambiguïté du fait de la pente généralement assez élevée. Le réseau est en général dense et assez stable. A l'entrée de la plaine d'Enfida le lit de Oued Khairat est sujet cependant à des divagations et à des changements de topographie pouvant intervenir à chaque crue importante.

1.1.4. Le sol et le sous sol : (fig II.1.5 et II. 1.6)

1.1.4.1. Le sous sol

La plupart des massifs sont formés par l'éocène moyen, marnocalcaires (amont de O.Hammam et O. Khairat) et par le grès de l'oligocène supérieur (Dj.Zid, Dj.Zriba, Dj. Kef Ennaama). Sur la figure II.1.5 nous avons représenté les unités du sous sol les plus importantes qu'on peut classer comme suit :

- a) Les roches massives calcaires ou dolomitiques alternant souvent avec des bancs plus tendres marneux, marnocalcaires. Ce type de formation (crétacé ou éocène) est relativement perméable (perméabilité de fissure).
- b) Les formations essentiellement marneuses ou marnoargileuses : ce sont des couches de passage du crétacé au tertiaire. Cette formation est très peu perméable à imperméable.
- c) Les terrains de l'oligocène au pliocène sont essentiellement à composantes sableuse ou sablogréseuse avec des intercalations marneuses ou argileuses. Ce groupe a une perméabilité moyenne à forte.
- d) Les formations limonosableuses ou argileuses du quaternaire qui sont fréquemment recouvertes d'une croûte carbonatée ou gypseuse, ont une perméabilité moyenne quand ces formations ne sont pas encroûtées



RESEAU HYDROGRAPHIQUE
Od: R'MEL — Od: KHAIRAT

1.1.4.2. Le sol (40)

Nous pouvons distinguer :

a) Les sols peu évolués

Ils occupent les terrasses récentes des oueds, leur texture varie principalement suivant la nature lithologiques des massifs dont ils proviennent

b) Les sols calsimagnésiques

Ils couvrent la plus grande partie des sols de cette région. Les massifs calcaires montrent des sols squelettiques sur les affleurements en juxtaposition avec des sols calcimorphes sur les colluvions. Dans les zones peu érodées ce sont des rendzines dégradées de faible épaisseur et caillouteuses.

c) Les sols bruns forestiers et méditerranéens

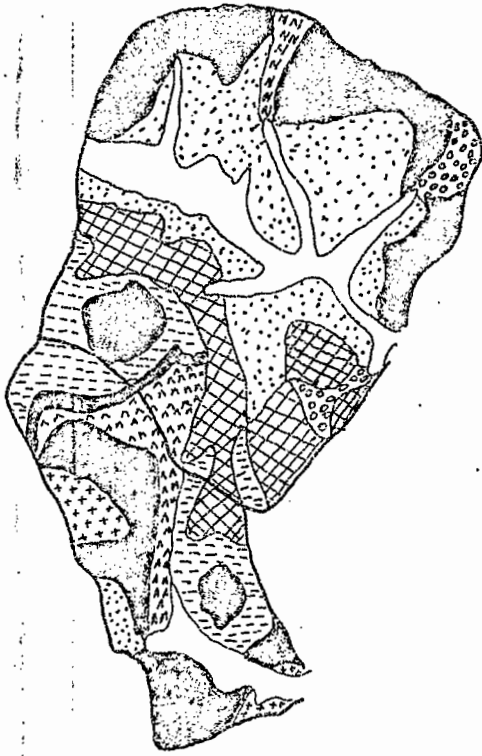
Sur les grès de l'oligocène non calcaire, ce sont des sols acides bruns forestiers et lessivés en juxtaposition avec des sols squelettiques sur les affleurements de grès.

1.1.5. Couverture végétale (40)

Les forêts plus ou moins denses, de pin d'Alep, de Callitris, d'olivier lentisque et de Caroubier occupent les sommets des hauts reliefs amonts alors que des forêts moins denses de formation herbacées recouvrent les glacis des piémonts des Djebels.

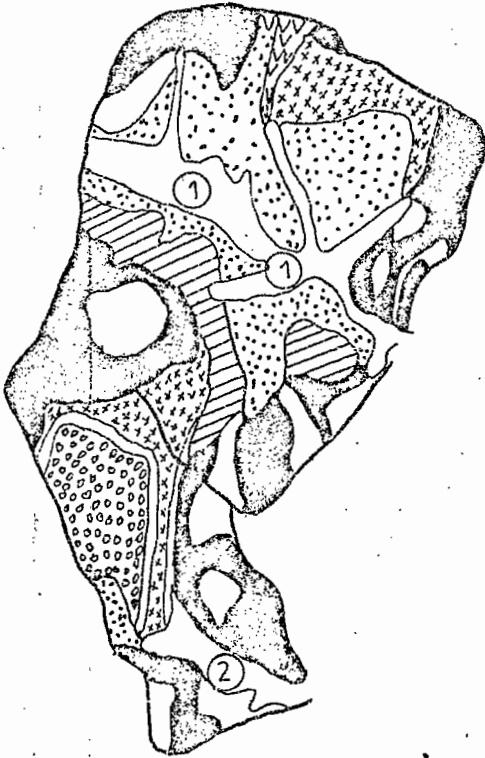
Les zones de cultures (vers 30% de la superficie totale du BV de Khairat et 50% pour celui du Oued R'mel) ont une localisation variable suivant les années les zones d'arboricultures (surtout l'olivier) sont très discontinues et occupent une très faible superficie.

Fig II 16



CARTE DU SOUS-SOL










Fig II.15












CARTE PEDOLOGIQUE

éch: 1/200.000

LEGENDE DE LA FIGURE II-1.6

-  SOLS PEU EVOLUES D'APPORTS HYDROMORPHES
-  SOLS PEU EVOLUES ASSOCIES A DES SOLS A CROUTE OU ENCRUTEMENT GYPSEUX
-  SOLS CALCIMAGNESIMORPHES
-  SOLS CALCIMORPHES
-  VERTISOLS
-  SOLS CALCIMORPHES ET SOLS A MULL EN ASSOCIATION AVEC DES LITHOSOLS ET REGOSOLS (SUR MARNUES)
-  SOLS CALCIMORPHES ET SOLS ROUGES MEDITERRANENNE
-  SOLS ISOHUMIQUE SUR MARNE SABLEUSES ET GRES CALCAIRES (TRIAS)
-  SOLS BRUNS CALCAIRES

LEGENDE DE LA FIGURE II-1.5

-  MARNES - MARNES CALCAIRES, ARGILES
-  CALCAIRE - CALCAIRE DOLOMETIQUE ET DOLOMIES
-  GRES PEU OU NON CALCAIRES
-  MARNE SABLEUSES ET GRES CALCAIRES
-  ROCHE MEUBLES
-  SOLS BRUNS CALCAIRES
-  SOLS D'APPORTS HYDROMORPHES
-  SOLS D'APPORTS VERTIQUES
-  REDZINES ET SOLS BRUNS CALCAIRE

1.2. Caractéristiques climatiques

Le climat intervient dans le bilan hydrologique par les précipitations et le phénomène d'évapotranspiration. Ce dernier est conditionné par la température, le vent, l'humidité atmosphérique et l'insolation. Si l'on se réfère à la carte des bioclimats de la Tunisie, cette région appartient, pour la plus grande partie, à l'étage semi-aride inférieur. Sa limite Nord et Ouest relevant de l'étage supérieur et moyen avec une petite région (Dj.Zaghouan) plus humide (étage- sub-humide).

Nous donnons plus loin, (fig II.1.7) pour quelques stations, les courbes pluviothermiques tracées suivant l'échelle proposée par GAUSEN (45) 2 mm de pluie pour 1°C de température. Cet auteur définissant comme un mois sec, un mois recevant une hauteur d'eau (en mm) inférieure au double de la température moyenne (en °c), sur ces graphiques on considère comme période sèche de l'année toute celle où la courbe thermique se tient au dessus de la courbe pluviométrique, tandisqu'on parlera de saison humide dans le cas inverse.

Pour les observations météorologiques autres que la pluviométrie nous avons utilisé les données publiées par le service de la météorologie nationale

1.2.1. Température de l'air sous abri

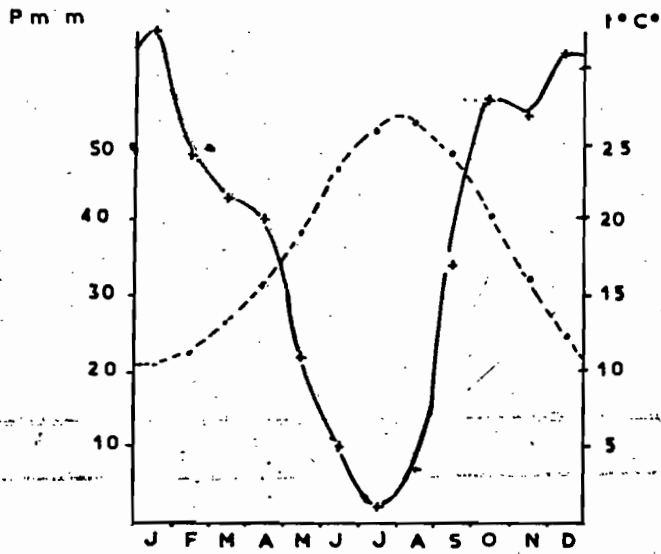
Le tableau N°3 résume les variations des grandeurs suivantes durant l'année pour les périodes d'observations indiquées. Tx : moyennes mensuelles des températures maximales journalières Tn moyennes mensuelles des températures minimales journalières. $\frac{Tx + Tn}{2} = \bar{T}$ températures moyennes mensuelles.

$Tx - Tn = \Delta T$: amplitude moyenne mensuelle

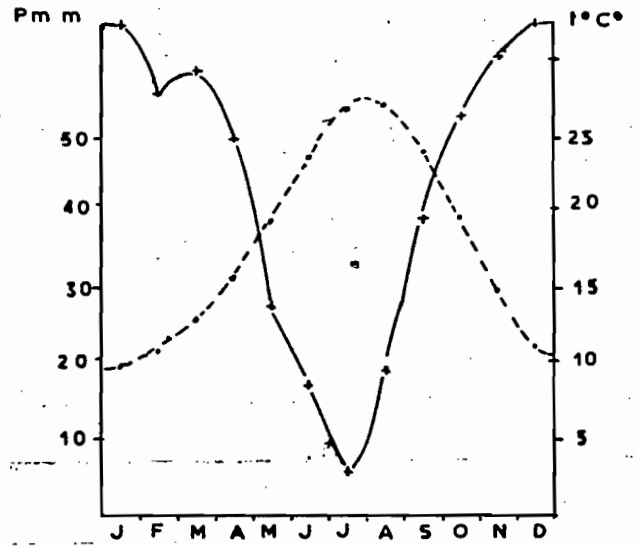
Les figures à la page suivante montrent que les mois les plus chauds sont secs et les plus froids sont humides.

COURBES PLUVIOTHERMIQUES (Période 1901 - 1960)

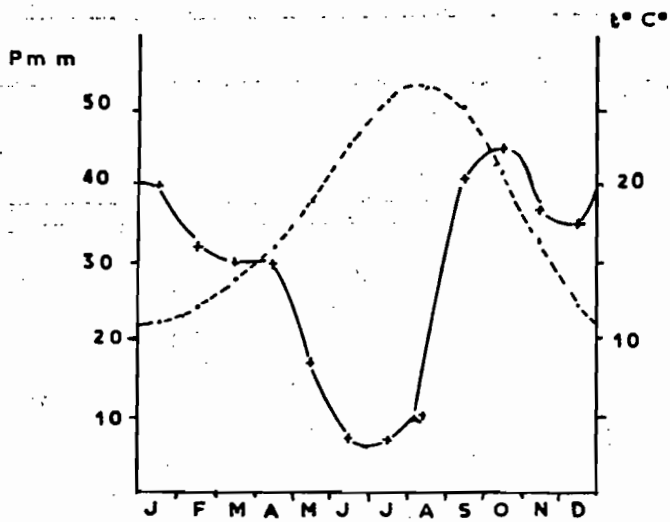
(Fig : II - 1 - 7)



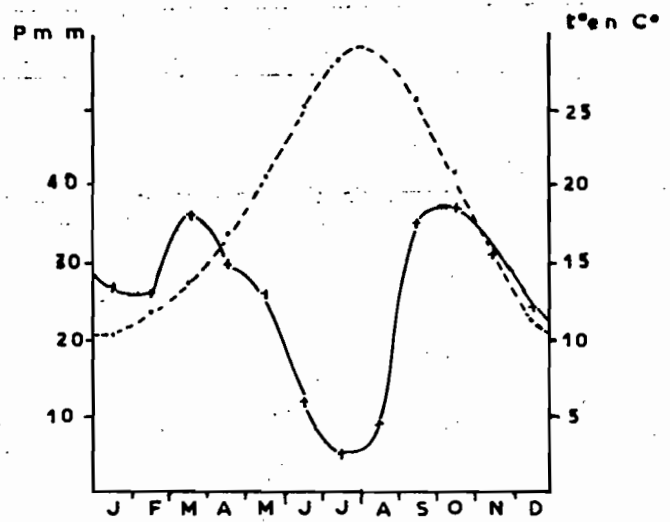
TUNIS MANOUBIA



ZAGHOUAN



SOUSSE



KAIROUAN

Tableau N°3 Variation de Tn, Tx et ΔT durant l'année pour la période (1901-1960)

Sta- tion.		JANV	FEV.	MARS.	AVR.	MAI	JUIN	Juit	AOUT	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
EUNIS-MAOUBIA (1901-1960)	\bar{T}_n	6.4	6.8	8.3	10.4	13.6	17.6	20.0	20.4	18.8	15	10.4	7.0
	\bar{T}_x	14.4	15.9	18.1	20.7	24.5	29.0	32.1	32.5	30.2	24.9	20.0	15.9
	\bar{T}	10.4	11.3	13.2	15.5	19.0	23.3	26.0	26.4	24.5	19.9	15.2	11.4
	ΔT	8.0	9.1	9.8	10.3	10.9	11.4	12.1	12.1	11.4	9.9	9.6	8.9
ZAGHOUAN (1901-1960)	\bar{T}_n	6.6	7.1	8.7	10.9	14.0	17.8	20.4	21.1	19.3	15.7	11.5	8.1
	\bar{T}_x	12.9	13.9	17	20.1	24.6	29.9	33.4	32.9	28.8	23.3	18.0	14.2
	\bar{T}	9.7	10.6	12.9	15.5	19.3	23.8	26.9	27.1	24.1	19.6	14.8	11.2
	ΔT	6.3	6.8	8.3	9.2	10.6	12.1	13	11.8	09.5	7.6	6.5	6.1
SOUSSE (1901-1960)	\bar{T}_n	6.9	7.5	9.3	11.6	14.6	18.5	21.2	21.5	20.3	16.5	11.7	8.1
	\bar{T}_x	15.5	16.5	18.6	20.5	23.0	27.2	30.2	31.2	30.0	25.7	21.1	16.7
	\bar{T}	11.2	12.1	14.0	16.0	19	22.8	25.6	26.3	25.2	21	16.3	12.3
	ΔT	8.6	9.0	9.3	8.9	8.4	8.7	8.9	9.7	9.7	9.2	9.4	8.6
KAIROUAN (1901-1960)	\bar{T}_n	4.6	5.4	7.1	9.6	12.9	16.9	19.3	20	18.4	14.8	9.5	5.6
	\bar{T}_x	16.4	18.3	20.4	24.2	28.4	33.7	37.6	37.3	33.1	27.5	22.2	17.3
	\bar{T}	10.4	11.8	18.7	16.9	20.6	25.3	28.4	28.6	25.8	21.0	15.9	11.3
	ΔT	11.8	12.9	13.3	14.6	15.5	16.8	18.3	17.3	14.7	12.9	12.7	11.7

1.2.2. Psychrométrie ou humidité relative de l'air

Le degré hygrométrique ou humidité relative Hr défini par le rapport entre la tension de vapeur réelle de l'eau dans l'air (e) et la tension de vapeur saturante (ew) à la même température.

$$Hr = 100 \times \frac{e}{ew}$$

Hr est exprimée en pourcentage.

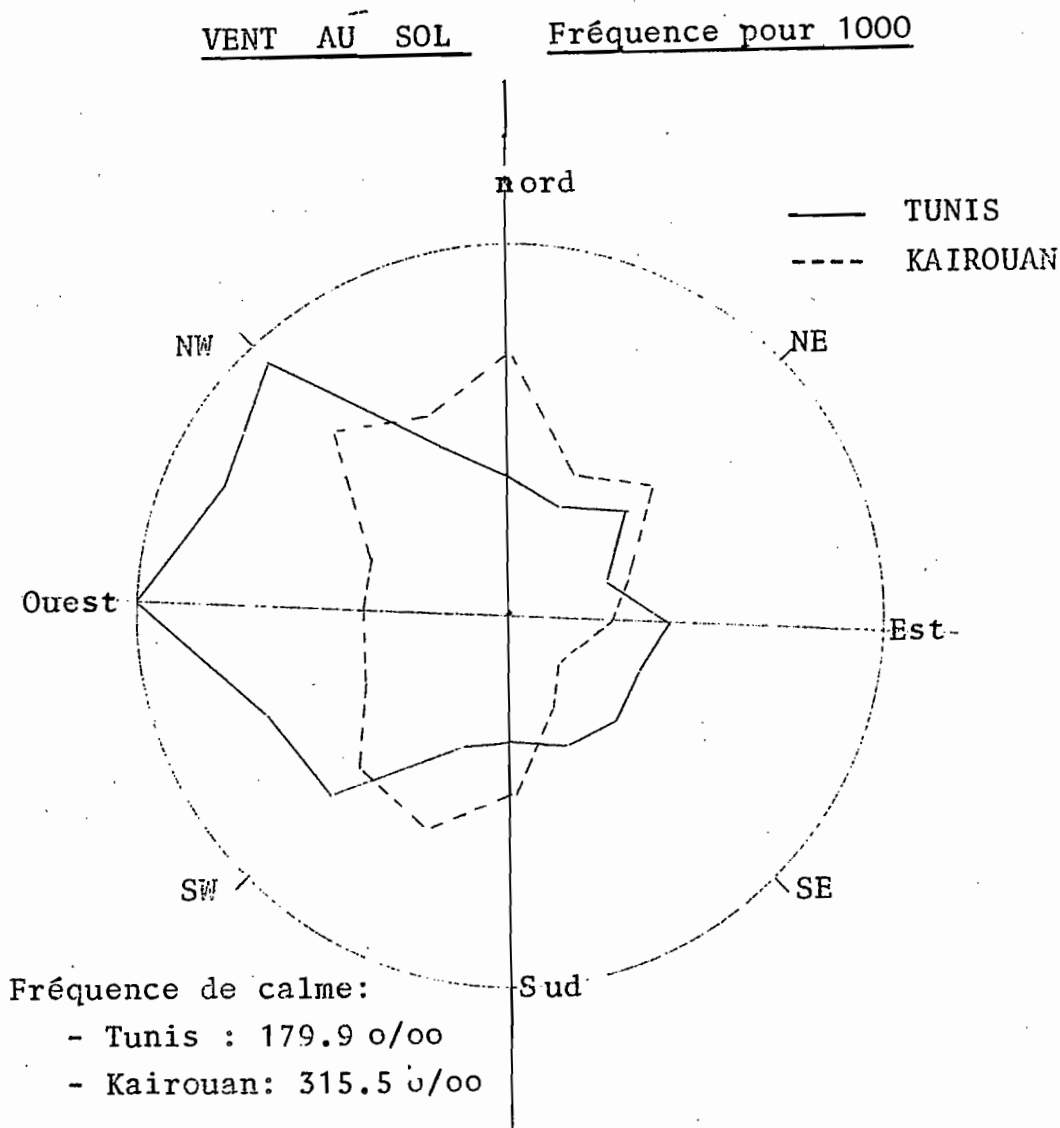
Nous donnons dans le tableau suivant les moyennes des mesures faites à 6, 12 et 18 heures pour Tunis et Kairouan. Le minimum absolu observé au cours de cette période (1946-1960) est donnée pour chaque mois.

Tableau N°4 : humidité relative en % (période 1946-60)

		JAN.	FEV.	MAR.	AVR.	MAI	JUIN	Ju ^t	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	AN-NEE
TUNIS	06	86	86	86	87	82	78	72	80	85	88	88	86	84
	12	68	64	61	61	55	51	46	48	54	60	65	67	58
	18	83	78	76	73	68	63	60	64	72	74	81	82	73
	min.abs	28	18	20	27	19	19	19	14	21	22	22	34	14
KAIROUAN	06	78	77	80	75	81	77	71	74	81	84	81	78	78
	12	52	47	46	46	41	34	30	35	43	50	51	52	44
	18	64	60	59	57	51	47	42	45	59	66	64	65	57
	min.abs	13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12	10	10

1.2.3. Les vents

Le schéma de la figure II.1.8 et le tableau N°5 donnent respectivement la direction et la force des vents pour Tunis et Kairouan.



VENT AU SOL Vitesse en m/s fréquence pour 1000

Tableau N° 5

vites se m/s	Calme	2	3à4	5à6	7à8	9à11	12 à 14	15 à 17	18 à 20	21 à 24	25 à 28	To- tal
TUNIS	179.9	117.9	255.2	221.1	123.3	77.6	19.4	4.4	0.7	0.4	0.1	1000
KAI- ROUAN	315.5	126.7	224.4	166.0	104.4	50.0	10.1	2.1	0.5	0.2	0.1	1000

Les vents les plus fréquents et en même temps les plus violents sont ceux du Nord-Ouest, ces vents sont souvent secs.

Les vents d'Est sont moins fréquents mais plus humides,

Le sirocco se manifeste à tout moment et plus fréquemment en été.

1.2.4. La durée d'insolation

L'énergie fournie par le soleil (46) et reçue au sol représente 0.73 à 1.4. millions de calories par m² et par an, soit une quantité suffisante pour évaporer une lame d'eau de 1300 à 2600 mm. Ces valeurs globales concrétisent l'importance du rayonnement solaire dans toutes les phases du cycle hydrologique pour ne pas parler de son importance pour la vie végétale et animale. Le tableau N°6 présente les durées, moyennes, maximales et minimales de l'insolation pour deux stations assez proche de la région.

Le rayonnement global moyen (en calorie x Cm⁻²x jour⁻¹) est donné pour ces deux stations au tableau N°6 bis.

Tableau N°6 Durée de l'insolation en jour heures.

		JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	Juit.	AOUT	SEP.	OCTO.	NOV.	DEC.
TUNIS 1951- 1960	Moyen	175	187	223	234	305	319	374	351	258	218	184	164
	Maxim	204	256	277	273	347	363	407	367	313	262	214	181
	Minim	155	145	199	208	264	267	335	325	166	169	164	147
KAIROU AN 1951- 58	Moyen	184	200	230	232	288	288	372	344	261	221	188	181
	Max	208	267	273	284	329	327	390	366	281	251	206	196
	Min	159	172	175	192	270	253	349	309	235	193	156	167

Tableau 6 bis (1) Rayonnement global : Cal/cm²/jour (moyennes)

	JANV	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	Juil	AOUT	SEPT	OCT.	NOV.	DEC.	ANNEE
TUNIS 964- 978	211	272	376	468	572	626	631	571	455	339	252	192	415
KAIROU 970- 75	255	298	389	459	587	629	625	567	472	369	308	245	433

(1) Ch.RIOU Communication personnelle.

Les mois les moins ensoleillés sont Décembre et Janvier
Juillet et Août sont les plus ensoleillés.

Les variations interannuelles du rayonnement global (11) sont peu importantes (toujours inférieure à 10% par rapport à la moyenne), à l'échelle mensuelle ces variations sont plus accentuées.

1.2.5. Evaporation-évapotranspiration

Le phénomène d'évaporation intervient dans le cycle hydrologique dès le moment où les précipitations atteignent la surface du sol. L'intensité de ce phénomène dépend : - des facteurs caractérisant l'état de l'atmosphère au voisinage de la surface évaporante et son aptitude à provoquer l'évaporation, ces paramètres régissent le pouvoir évaporant de l'atmosphère (évaporation potentielle).

- des facteurs caractérisant la nature et l'état de la surface évaporante ainsi que son aptitude à alimenter l'évaporation et à répondre aux variations du pouvoir évaporant de l'atmosphère (évaporation réelle).

L'évaporation dans la nature appelée aussi " ETR" est un phénomène différent de l'ETP mais, en fait, le seul qui soit d'un réel intérêt (RIOU) en effet le sol est rarement alimenté régulièrement en eau.

Dans la zone étudiée les premières pluies d'automne (Sept et Oct) arrivent sur un sol nu et complètement desséché et sont en général complètement évaporées.

L'ETP peut être soit calculée soit mesurée, l'utilisation d'une formule nécessite toujours un minimum de mesures pour en déterminer les paramètres.

Nous disposons, pour certaines stations plus ou moins proches de la zone étudiée, de séries de mesures relatives à l'évaporation mesurée par différents types d'appareils :

- Evaporimètre Piche
Tunis (1901 - 1960)
Kairouan (1946-1960)

(11) ~~Les valeurs mensuelles pour toute la période d'observation sont données en annexe.~~

- Bac colorado :

Tunis manoubia (1952-57)

- Bac classe A Oued Kébir (1927-59)

- Bac enterré (3 m x 3 m)
Oued Kébir (1927-50)

Comme nous disposons aussi des relevés faits sur le lac kélbia entre 1932 et 1942.

Les moyennes mensuelles de ces séries de relevés sont présentées dans le tableau N° 7.

Les observations de l'évaporation exécutées aux différentes stations
(valeurs en mm)

Tableau N°7

Mois	O.Kébir(55) bac enterré 9m2(3mx3m) (1927-1950)	O.Kébir(53) bac classe A(1927-1959)	Tunis-Manou (42)bac colo rado(1952- 1957)	Tunis Piche (28)	Kairouan(39) (1946-1960) Piche
SEPT.	164	193	180	193	186
OCTO.	111	100	117	148	127
NOV.	61	44	74	116	114
DECE.	53	26	65	94	112
JANV.	50	24	74	87	109
FEV.	42	60	84	99	125
MARS	61	90	111	132	153
AVRIL	82	103	132	150	154
MAI	129	110	179	193	193
JUIN	201	237	245	243	241
JUIL	232	324	286	280	294
AOUT	206	275	248	255	249
ANNEE	1392	1594	1795	1990	2057

C H A P I T R E I I

ETUDE D E L A P L U V I O M E T R I E

2.1. Généralités

2.1.1. Données existantes:

Les premières données pluviométriques pour cette région remontent à la fin du dernier siècle (1889 pour Zaghouan, 1883 pour Enfidha et 1891 pour Bouficha) mais les séries les plus complètes ont commencé vers la fin de la première décennie de ce siècle.

D'autres stations ont ensuite été créées, d'autres interrompues et nous nous retrouvons avec une masse de données importante à chronologie discontinue ou interrompue définitivement. Ceci s'est accentué ces dernières années et plusieurs stations ont cessé de fonctionner soit définitivement soit temporairement.

Dans le tableau N°8 nous donnons pour toutes les stations qui existent ou bien qui existaient dans la région les informations suivantes.

- numéro de la station (classification de la DRE)
- nom de la station
- coordonnées
- période d'observation
- bassin versant correspondant

La carte de la figure II. 2.1. en donne l'emplacement. Toutes les données utilisées dans ce texte ont été relevées sur les bulletins pluviométriques de la DRE qui sont établis à partir des documents originaux et n'ont subi aucun contrôle.

2.1.2. Valeurs des observations

Les précipitations sont essentiellement des pluies et sont mesurées à l'aide d'un réseau de pluviomètres; ces précipitations qui constituent le facteur le plus important du bilan

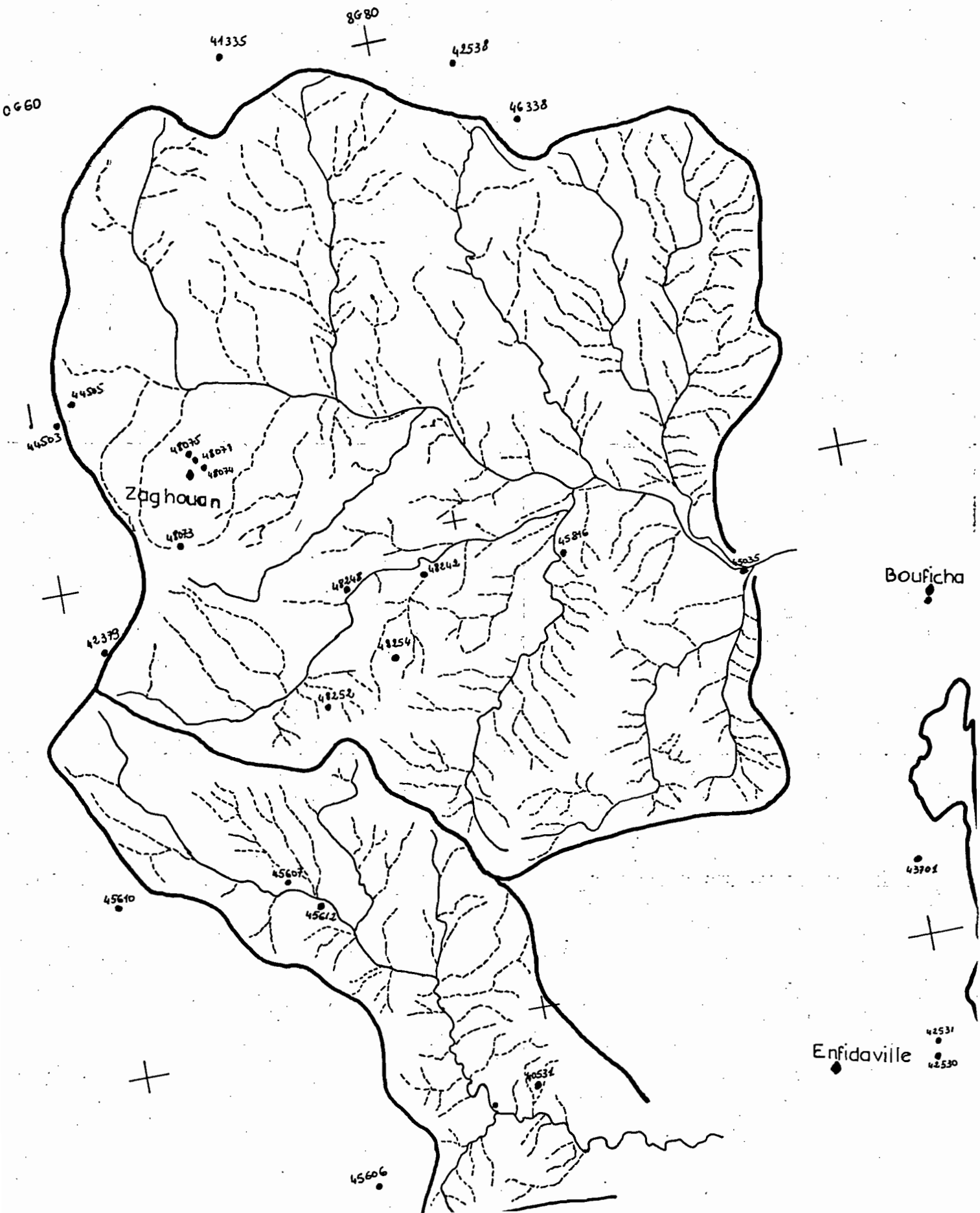
Tableau N° 8

Stations pluviométriques existantes ou qui
ont existé

N°	Nom de la station	Coordonnées			Période d'obs.	Bassin vers. corresp.
		Longitude E en grades	Latitude N en grades	Altit. en m.		
48254	Zriba village	8.76.00	40.35.00	140	depuis 1920	O. R'mel
48252	Zriba Tunisienne	8.72.00	40.35.00	132	1920 (16)	O.R'mel
48242	Zriba Ain Saboum	8.78.00	40.38.00	170	1927 -1934	O.R'mel
48077	Zaghouan SM	8.67.70	40.44.30	230	à partir 1960- 1961	O.R'mel
48075	Zaghouan PF	8.67.50	40.44.80	184	à partir 1908	O.R'mel
48074	Zaghouan contrôle	8.68.00	40.44.00	194	1884-1951	O.R'mel
46338	Sidi Chaabane	8.86.70	40.55.80	250	1962	O.R'mel *
45816	Segermes	8.85.00	40.38.00	77	1927	O.R'mel
45612	Saouaf Zeguidane	8.69.99	40.25.48		1926	O.Khairat
45607	Saouaf SA	8.68.50	40.26.90		1964-1965	O.Khairat
45606	Saouaf Ain Zektoum	8.70.00	40.14.00		1924-1949	
45610	Saouaf Grottes gouttes	8.60.00	40.27.00		1924-1928	
45035	O. Rebia Barrage	8.94.52	40.36.00		Dec 1962	O.R'mel
44505	Mograne CSA/SM	8.62.10	40.47.60	150	depuis 1953	O.R'mel *
44503	Mograne SE	8.61.60	40.47.20	160	1912	O.R'mel
43701	El Kheley	9.00.00	40.23.00	15	1911	
	Bouficha	9.03.00	40.33.00	60	1910	O.R'mel
42531	Enfida SE	8.93.10	40.15.50		1957	O.Khairat
42530	Enfida SM	8.92.30	40.15.00		1910	O.Khairat
42538	O. Hamma amont	8.86.80	40.58.50	180	1969	O.R'mel *
42379	Sidi Medyen	8.61.70	40.37.30	500	1962	O.R'mel *
41923	Dj. Djouggar CFFPA	8.45.30	40.29.80	330	1903	O.Khairat *
41833	Depienne	8.54.50	40.51.00	136	1953	O.R'mel
41335	Bouchlaka	8.72.50	40.60.60	250	1962	O.R'mel
40531	Ain Garsi	8.79.25	40.16.72		1957	O.Khairat

* stations se trouvant à l'extérieur du B.V. mais très proche.

Bassin Versant des Oueds KHAIRAT et R'MEL
Emplacement des postes Pluviométriques



hydrologique n'ont pas pu être mesurées avec un degré de précision suffisant (1) . Les erreurs systématiques (déplacement de la station, changement de l'environnement, éprouvette non conforme au seuil...) sont décelables mais exigent un effort considérable et parfois pénible si le nombre de stations est élevé.

Les stations ayant fonctionné assez- longtemps sont comparées entre eux et à une station de référence (TUNIS MANOUBIA) présentent les mêmes variations dans le temps ; les années de fortes et de faibles pluviométries se retrouvent à peu près partout.

Malheureusement le nombre de stations qui ont fonctionné sans interruption de 1910 à 1978 est très faible. Il y en a trois dont nous allons utiliser les relevés pour l' étude statistique de la pluviosité de la région.

Les trous d'information les plus remarquables pour ces 3 stations sont donnés au tableau suivant.

Tableau N°9 Absence de relevés pour les trois stations ayant la plus longue chronologie d'observations.

BOUFICHA	!	ENFIDAVILLE	!	ZAGHOUAN
- toute l'année civile 1942	!	- du 1.4.43 au 30.9.43	!	- toute l'année civile de 1956
	!	- du 1.11.58 au 31.8.59	!	
- du 1.12.47 au 31.8.1948	!		!	
	!	- du 1.1.58 au 31.3.58	!	
- du 1.9.62 au 30.9.65	!		!	- du 1.6.63 au 31.3.66
	!	- Juillet et Aout 1958	!	

Nous avons procédé pour combler ce manque de renseignement à la détermination des données manquantes à partir des stations voisines. Cette extrapolation est utilisée pour les valeurs annuelles et mensuelles mais jamais pour les pluies journalières.

(1) Le phénomène de la turbulence provoqué par le vent au dessus des pluviomètres peut être l'origine d'une sous estimation de la pluie, d'autant plus forte que le vent est violent.

2.2. Pluviosité annuelle

2.2.1. Etude générale

2.2.1.1. Critique des valeurs moyennes

On a l'habitude d'utiliser en pluviométrie les moyennes mensuelles ou annuelles, or même si on dispose d'une longue série de mesure (ce qui est déjà très rare) ce paramètre reste peu représentatif en raison de la très grande variabilité de la pluviosité d'une année à l'autre. Nous donnons, chaque fois qu'il s'agit d'une moyenne, le maximum et le minimum extrême pour montrer l'amplitude de la variation de la pluie autour de cette moyenne.

2.2.1.2. Répartition spatiale

2.2.1.2.1. Influence de l'altitude

Par manque de données adéquates, c'est à dire de stations à différentes altitudes et ayant une durée de fonctionnement assez longue, nous nous bornerons à des constatations tirées des observations en quelques stations :

- A Zriba on a 33 mm de différence sur la moyenne annuelle de la pluviométrie pour deux stations ayant 50 mètres de différence d'altitude.

MONTMARIN (1952) a utilisé un gradient de 70 mm pour la Kroumérie, zone au relief plus accentué et mieux exposé au vent humide.

Nous sommes loin de donner des chiffres précis pour l'influence de l'altitude sur la pluviométrie mais nous pouvons quand même remarquer une différence de pluviométrie plus ou moins nette entre les stations situées à des niveaux différents. Cette variation croit généralement avec celle de la différence d'altitude.

2.2.1.2.2. Influence de la situation

L'influence générale de la situation est remarquable pour cette région, la cote au vent humide est toujours plus arrosée que la cote sous le vent. On peut signaler que pour Zaghouan (ville) 184 m exposé au Nord-Ouest et Henchir Kasbatt 185 m

exposé au Sud-Ouest il y a une différence de pluviosité moyenne annuelle de 110 mm.

2.2.1.3. Répartition chronologique des précipitations

Une étude statistique, portant sur trois stations à assez longue période d'observation, sera donné au paragraphe suivant. Toutefois à partir des données recueillies sur l'ensemble des stations on remarque une irrégularité des précipitations très importante aussi bien à l'échelle annuelle que saisonnière ou mensuelle et constitue une des caractéristiques principales du climat.

Le nombre de jours de pluie, pour une station donnée, a tendance à suivre la hauteur annuelle des précipitations correspondantes mais ceci n'est pas toujours vrai du fait que la variation interannuelle de la pluviosité est due pour la plus grande partie aux pluies orageuses qui donnent des hauteurs d'eau importantes pour un nombre de jours très faible.

2.2.2. Etude statistique des pluies annuelles.

Nous avons retenu pour cette étude trois stations ayant chacune une série de relevés assez complètes(1) et une masse de données assez nombreuses pour se prêter aux calculs statistiques.

L'étude a été effectuée sur une période continue d'années agricoles de 67 ans (1910-1911 au 1976-77) pour ENFIDA et BOUFICHA, et 68 ans (1909-1910 au 1976-77) pour Zaghouan.

2.2.2.1. Fréquences observées.

Sur les tableaux de l'annexe A₂ nous donnons, les hauteurs de pluies annuelles classées par ordre décroissant pour chacune de ces trois stations, le rang n de chaque valeur et la fréquence au dépassement calculée par la formule $\frac{n - 0.5}{N}$

N étant le nombre total d'années d'observation pour une station. Le tableau suivant donne les caractéristiques empiriques de ces échantillons.

(1) Les blancs sont comblés par comparaison à une station voisine où à défaut, par la méthode de double cumul entre stations peu éloignées les unes des autres.

Tableau N°11 Caractéristiques de la pluviosité annuelle en quelques stations.

Station	Moyenne P mm	Median Pm mm	Ecart type mm σ	Coeff de varia- tion Cv = $\frac{\sigma}{P}$	Pluie max. obser- vée mm	Pluie min. observée mm
BOUFICHA	356	345	136	0.382	718 (58.59)	142 (46-47)
ENFIDAVILLE	377	371	146	0.387	774 (58.59)	120 (13-14)
ZAGHOUAN	507	485	162	0.319	973 (53-54)	239 (26-27)

L'irrégularité de la pluviosité annuelle se remarque très bien sur la fig. de la page suivante qui donne la variation des précipitations annuelles pour la période d'observation pour ENFIDA et BOUFICHA. L'écart entre la moyenne interannuelle et les valeurs extrêmes est très important et matérialise cette irrégularité qui diminue relativement à ZAGHOUAN du fait d'une pluie moyenne nettement supérieure aux deux autres stations (plus de 130 mm pour ENFIDA et plus de 150 mm pour BOUEICHA)

Cette station étant dans une situation (184 m et exposé au vent du Nord-Ouest) qui peut expliquer cette pluviosité supérieure. Rappelons pour la signification du coefficient de variation Cv, rapport de l'écart type à la moyenne, qu'il caractérise la variabilité d'un échantillon. Le tableau ci dessous donne pour quelques valeurs du Cv les intervalles encadrants 90% et 50% de la distribution théorique (loi normale)

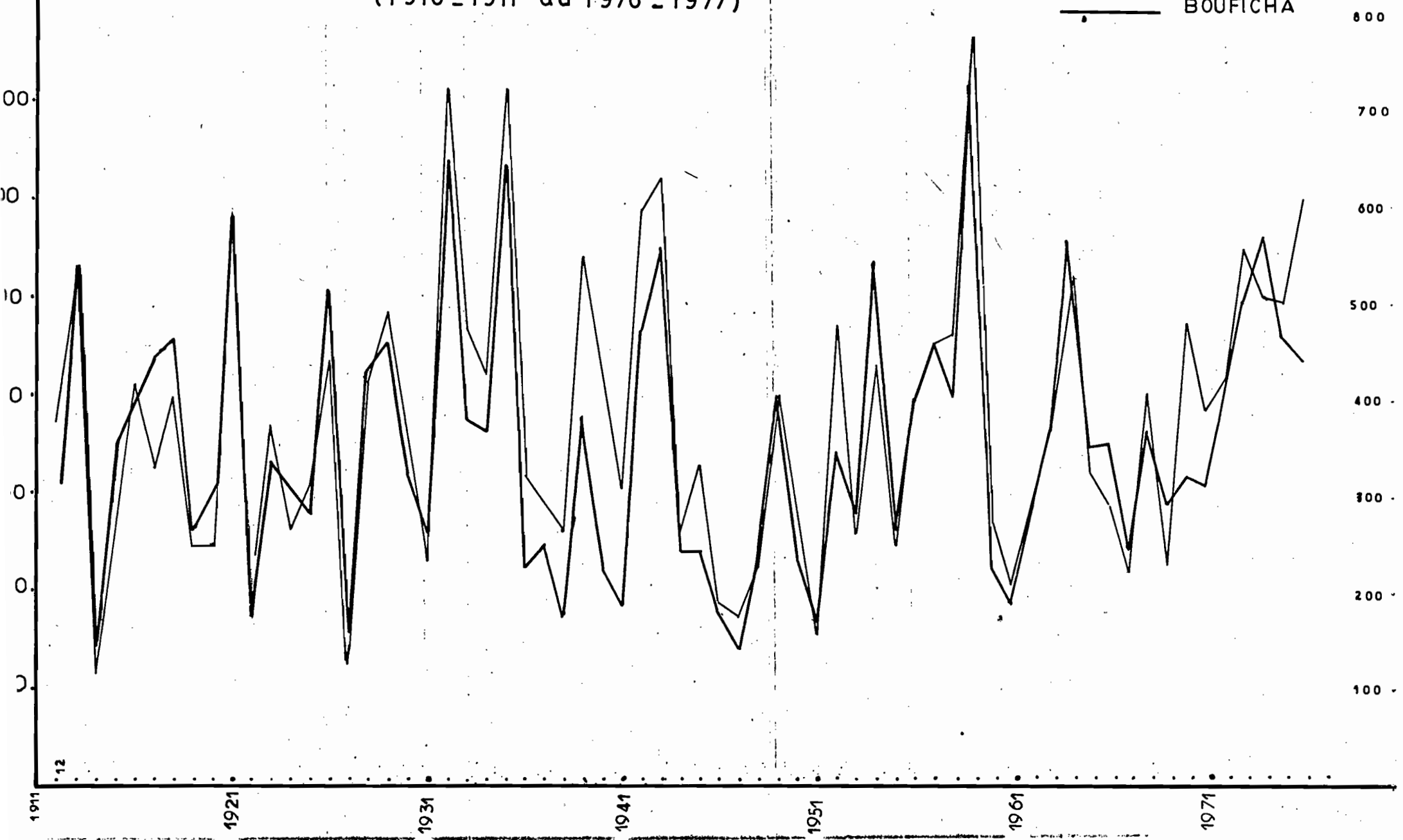
Tableau N°12 Valeurs calculées pour une moyenne égale à l'unité

Valeurs de Cv	Intervalle de fréquen- ce 90%	Intervallè de fréquen ce 50%
0.1	0.84 - 1.16	0.93 - 1.07
0.2	0.67 - 1.33	0.87 - 1.13
0.3	0.51 - 1.49	0.80 - 1.20
0.4	0.34 - 1.66	0.73 - 1.27
0.5	0.18 - 1.82	0.66 - 1.34
0.6	0.01 - 1.99	0.60 - 1.40

Variation des précipitations annuelles
pour la période :
(1910 - 1911 au 1976 - 1977)

— ENFIDA
— BOUFICHA

mm



2.2.2.2. Estimation de la loi de distribution

Les trois séries de données classées (Cf paragraphe ci-dessus), nous avons cherché une loi de probabilité susceptible de s'ajuster à ces échantillons. Une fois les paramètres de cette loi estimés il est ensuite facile d'évaluer les différentes probabilités. En se basant sur le fait que dans une région climatique donnée (22), une variable hydropluviométrique déterminée suit généralement la même loi en tout site d'observation, nous avons essayé la loi de GALTON, utilisée déjà pour les bassins versants du miliane et du Cap bon.

Les graphiques (II.2.3. a, b et c) donnent le tracé de la loi choisie. Les paramètres sont estimés par la méthode des moments, et le test de χ^2 ne s'oppose pas à l'hypothèse que cette loi est correcte.

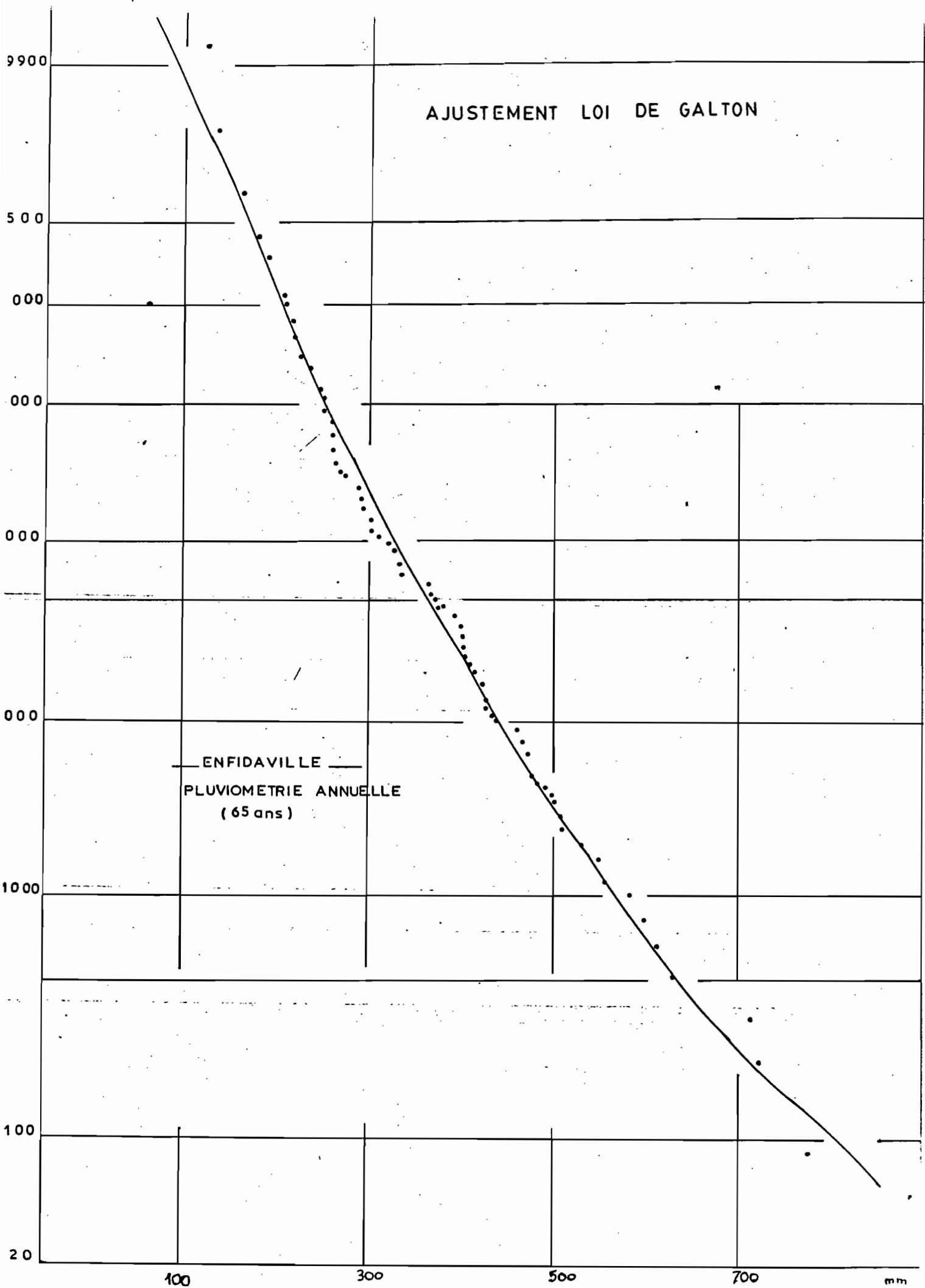
Dans le tableau ci dessous il est indiqué une série de valeurs de pluies annuelles calculées pour des fréquences données

Tableau n°13 Pluviosité annuelle pour différentes périodes de retour.

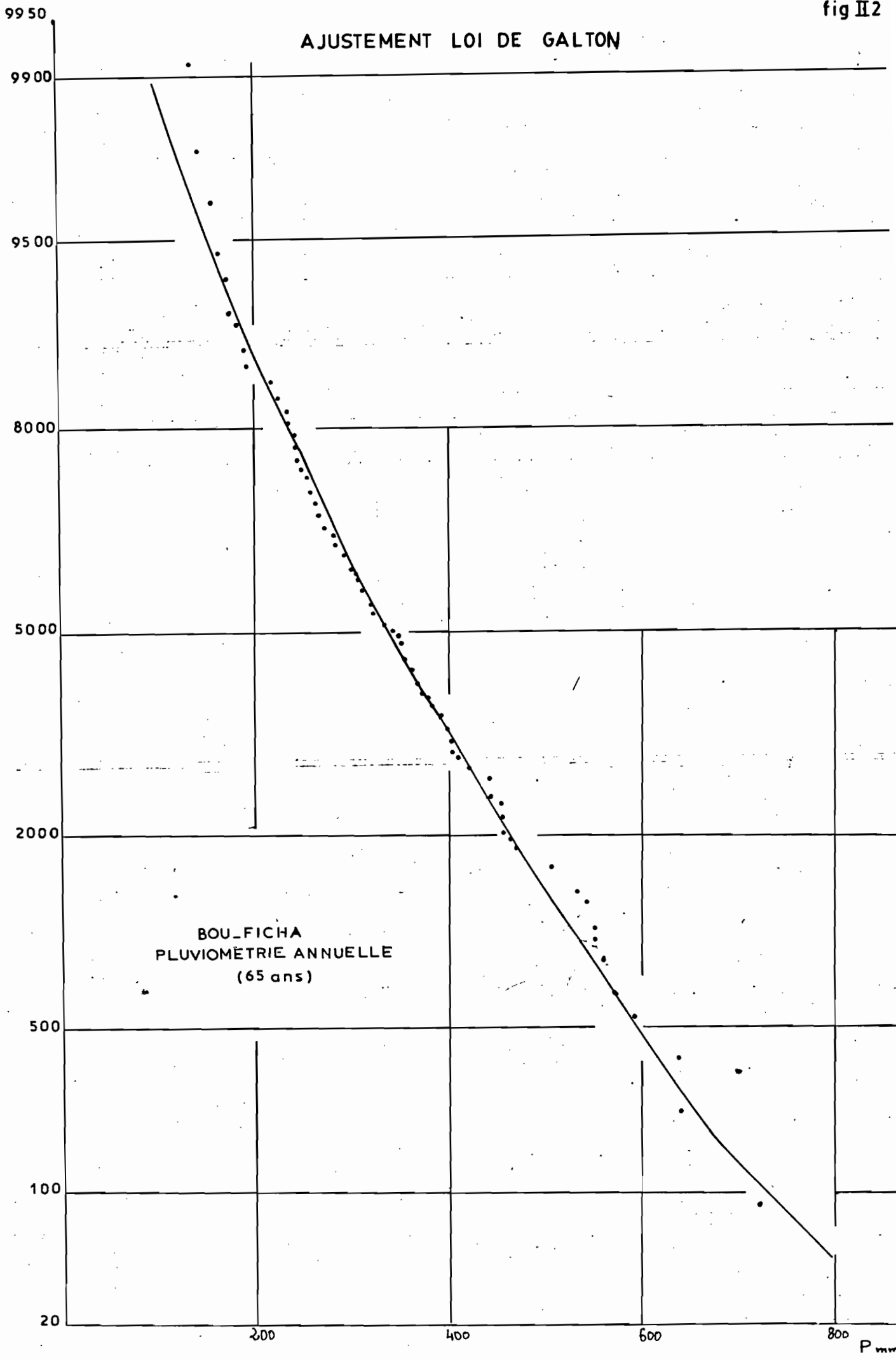
Fréquence au dépassement	0.01	0.02	0.05	0.10	0.20	0.50	0.80	0.90	0.95
Période de retour ans	100	50	20	10	5	2	5	10	20
BOUFICHA	745	658	589	530	461	342	234	182	142
ENFIDA	822	719	638	572	494	365	254	201	162
ZAGHOUAN	1044	910	808	726	634	488	369	315	276

2.3. Contribution des pluies saisonnières à l'apport pluviométrique annuel moyen.

Comme nous l'avons déjà signalé ci dessus, les valeurs moyennes ne représentent pas la réalité même si l'on dispose d'une chronologie d'observations assez longue le tableau suivant illustre la part des pluies saisonnières dans le total pluviométrique annuel pour quelques stations.



AJUSTEMENT LOI DE GALTON



AJUSTEMENT LOI DE GALTON

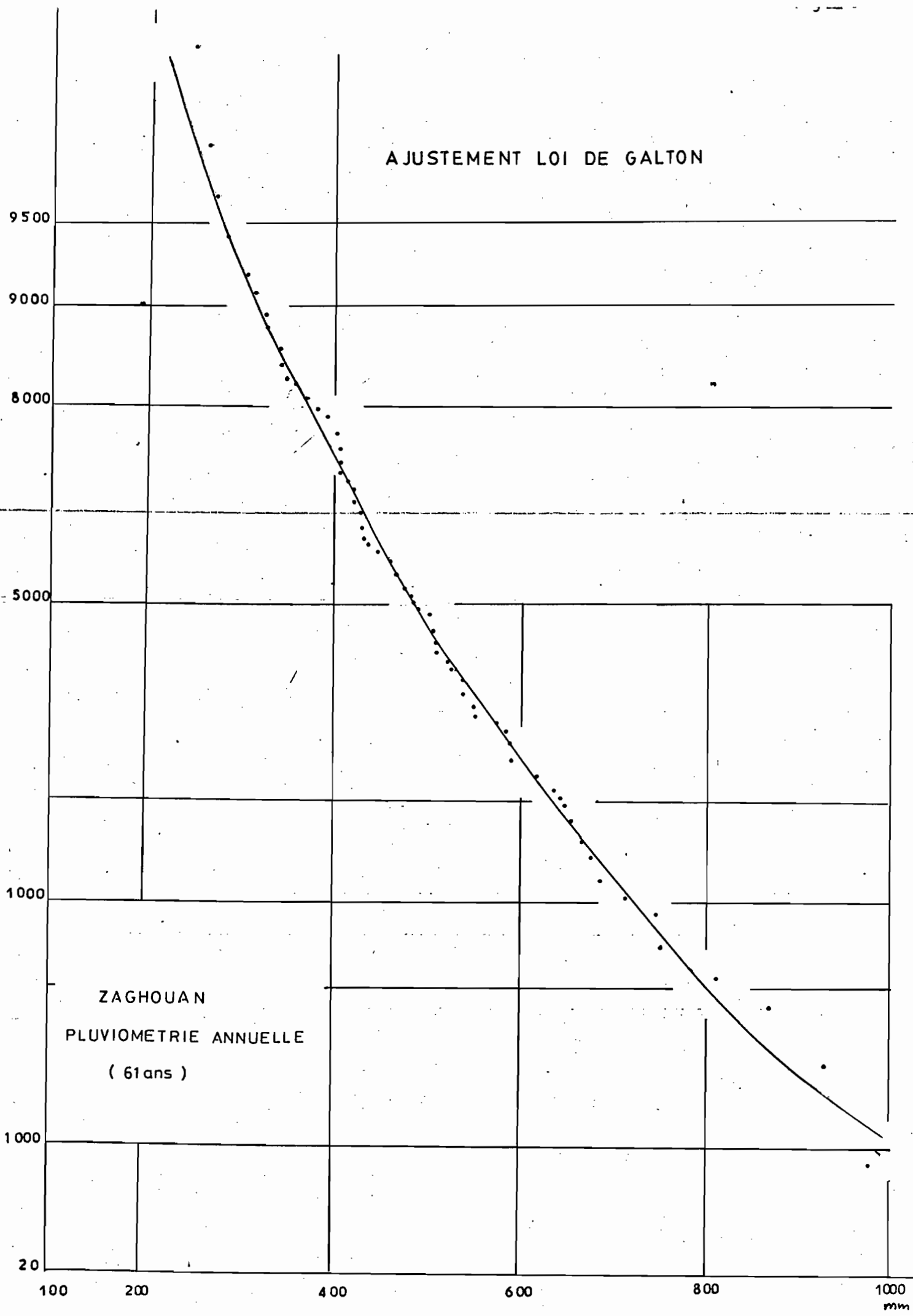


Tableau N°14 Pluviosité saisonnière

Stations	!Altitude! ! en m	Pluie saisonnière en %				!Pluviosité annuel le totale ! mm
		Hiver	!Printem! ps.	Eté	!Automne!	
BOUFICHA	! 14	! 33.1	! 23.5	! 6.4	! 37	! 355
ENFIDA	! 15	! 31.9	! 23.3	! 7.2	! 37.6	! 377
TUNIS MANOUBA	66	! 39.8	! 23.6	! 4.2	! 32.6	! 444
SAOUAF (Ain Zektoun)	! 200	! 35.6	! 27	! 7	! 30.4	! 410
ZAGHOUAN	! 184	! 35.9	! 25.9	! 6	! 32.2	! 507

Il est difficile de définir une saison pluvieuse sans une certaine ambiguïté. En effet cette saison peut durer 9 mois (Sept. à Mai) comme elle peut durer beaucoup moins, la contribution des pluies saisonnières à la valeur annuelle est aléatoire et très influencée par un petit nombre de jours de pluies orageuses. Néanmoins nous pouvons remarquer que plus de 70% du total de la précipitation annuelle moyenne a une forte probabilité de se produire entre septembre et février.

Les mois d'été presque toujours secs et les rares pluies observées sont du type orageux.

Nous donnons en annexe un report des valeurs saisonnières sur papier gaussien logarithmique.

2.4. Les précipitations mensuelles

Nous avons utilisé les valeurs observées pour tous les mois depuis l'existence de ces stations. Dans le tableau N°15 figurent les caractéristiques suivantes :

- moyenne estimée à partir de l'échantillon : \bar{P}
- la médiane P_m
- l'écart type de l'échantillon σ_{n-1}
- nombre des valeurs utilisées n
- le coefficient de variation C_v
- le maximum observé P_{Max}
- le minimum observé P_{min}
- le nombre moyen de jours de pluie N_j

Tableau N°15

PLUVIOSITE MENSUELLE

	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEV.	MARS.	AVR.	MAI	JUIN	Juit	AOUT	
S.M ENFIDAVILLE	\bar{P}	38.4	59.4	44.2	41.6	37.9	38.5	43	31.6	19.7	12.0	2.0	13.1
	Pm	24.0	46.4	26.0	20.3	27.0	31.0	33.3	23.3	15.4	4.5	0	3.5
	Pmax	141.5	314.6	252.5	301	195.9	182.6	147.7	113.7	113.5	64.0	19.0	118.0
	Pmin	0	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0
	n	66	66	66	66	67	67	66	66	66	66	66	66
	σ_{n-1}	38.3	58.1	52.4	58.5	34.9	37.3	34.0	28.8	16.1	17.0	4.3	21.8
	Nj	3.61	4.38	3.80	4.06	4.65	4.45	4.75	3.87	3.41	1.71	0.55	1.02
	G _r	1.0	0.98	1.19	1.41	0.92	0.97	0.84	0.91	0.82	1.42	2.15	1.66
	<hr/>												
	BOUFICHA	\bar{P}	34.1	55.3	42.8	39.3	41.9	38.4	36.7	29.7	17.1	9.8	3.2
Pm		19.5	41.1	25.7	21.1	34.3	33.1	31.3	22.9	14.2	5.0	0	1.8
Pmax		190.4	188.4	223.2	280	208	201.9	129.2	103.4	86	61	80	60
Pmin		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n		65	66	66	66	67	67	67	67	67	67	67	67
σ_{n-1}		37.6	38.4	49.6	51.6	36.4	35.3	30.5	24.6	16.8	13.8	10.8	14.1
Nj		298	422	375	3.86	4.82	4.42	5.08	4.24	2.64	1.4	0.24	0.88
G _r		1.1	0.88	1.16	1.31	0.87	0.92	0.83	0.83	0.98	1.41	3.38	1.58
<hr/>													
S.M ZAGHOUAN	\bar{P}	35.5	66.6	57.9	64.2	62.4	57.4	51.8	38.2	27.9	16.2	5	15.1
	Pm	26.4	49.8	39.5	42.0	51.9	51.7	43.6	38.0	22.2	7.0	0	6.5
	Pmax	175.3	409.5	226.4	338.5	194.1	208.4	174.0	212.1	143.3	83.6	45.6	97
	Pmin	0	0	0	222	888	0	2.4	0.5	0	0	0	0
	n	64	63	63	62	63	64	63	67	66	63	62	60
	σ_{n-1}	32.8	68.6	51.0	67.0	41.0	46.2	38.0	47.5	25.5	21.4	9.6	22.7
	Nj												
	G _r	0.92	1.03	0.88	1.04	0.66	0.80	0.73	0.99	0.91	1.32	1.92	1.50

L'examen du tableau N°15 et de la figure II.2.3. nous conduit aux remarques suivantes :

- Il existe une certaine similitude entre les hauteurs moyennes mensuelles des précipitations pour chacune de ces trois stations.
- Le mois d'octobre est le plus pluvieux dans toute la région ; la contribution au total annuel varie entre 13% à ZAGHOUAN et 16% à ENFIDA. Juillet est le mois le plus sec (moyenne varie de 2 à 5 mm, la médiane étant nulle pour toutes les stations)
- Si les hauteurs pluviométriques mensuelles à la station de Bouficha et Enfida sont presque semblables, il n'en est pas de même pour celle de Zaghouan. En effet cette dernière station laisse apparaître un net surplus de précipitations, au cours de toute l'année à l'exception des mois d'été, ceci pourrait s'expliquer par l'influence de l'altitude et par l'exposition au vent du Nord-Ouest (vent humide).
- Un deuxième maximum apparaît, en Janvier pour Zaghouan et Bouficha, et en Mars pour Enfida.
- La médiane, plus significative que la moyenne (la distribution étant irrégulière) est nettement inférieure à cette dernière.
- En ce qui concerne le nombre de jours de pluie, la répartition mensuelle n'est pas toujours proportionnelle aux hauteurs pluviométriques correspondantes. Ainsi aux mois de septembre et octobre les pluies prennent la forme d'averses intenses (le nombre de jours de pluies est alors relativement faible), tandis que pendant les autres mois (aussi pluvieux) les précipitations sont sous forme de pluies continues.

Les mois d'été sont secs et les pluies occasionnelles sont toujours des averses orageuses.

Si on compare les pluies annuelles aux pluies mensuelles correspondantes il faut noter une contribution mensuelle au total annuel très déséquilibrée surtout pour les années à forte pluviosité.

Entre les stations les différences régionales se manifestent également par une distribution différente, des pluies mensuelles et du nombre de jours de pluies par mois.

241 - Loi de distribution des pluies pour quelques mois :

Les hauteurs de précipitations des mois de novembre, décembre, mars et avril pour chacune des trois stations sont

classées par ordre décroissant. Ces valeurs sont portées sur papier gauss- logarithmique avec leur fréquence au dépassement calculés par la formule $\frac{n - 0.5}{N}$

Si pour un mois donné il y a des valeurs nulles, on est obligé d'éliminer ces valeurs en passant par la fréquence de troncature.

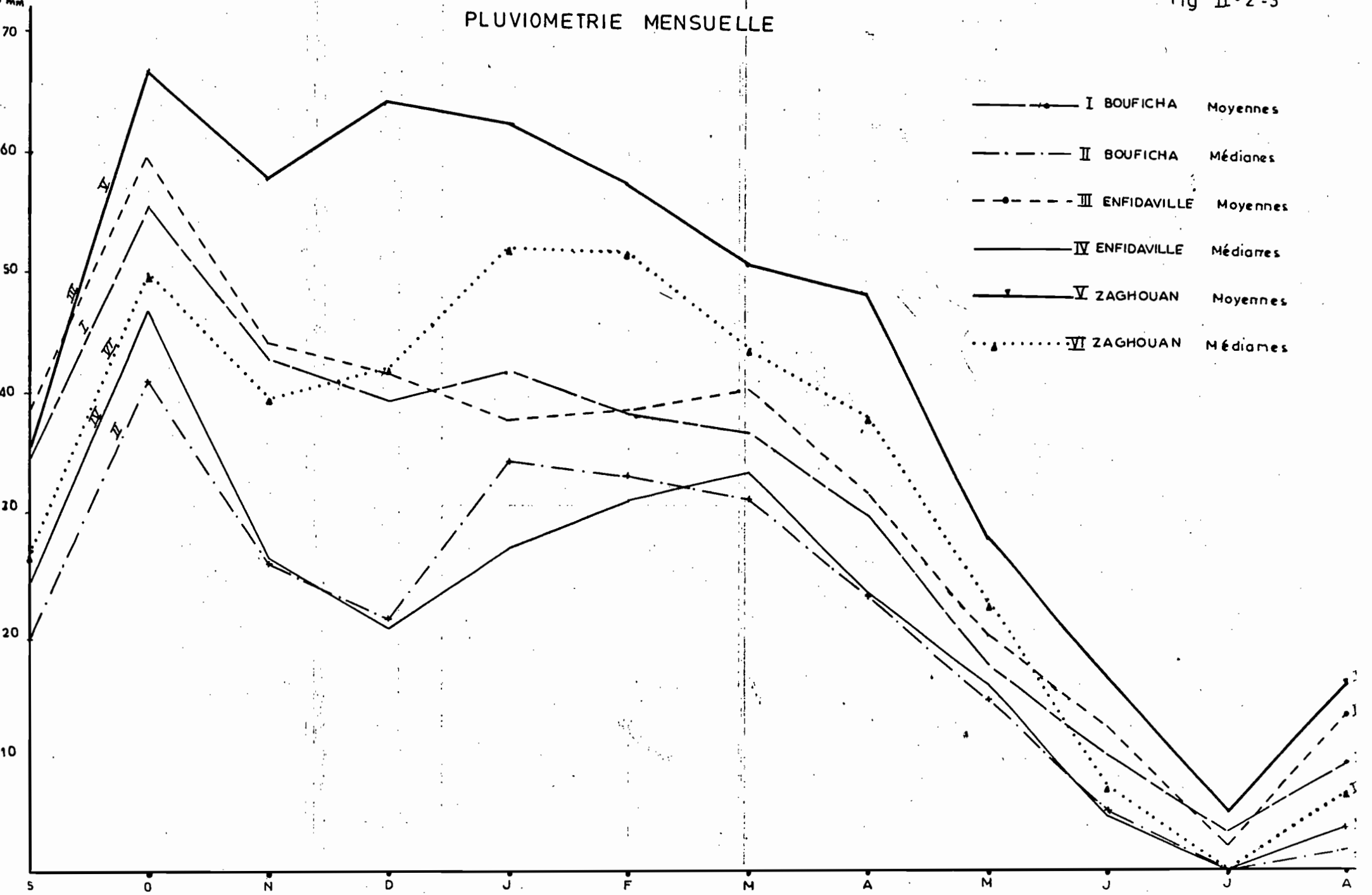
Les hauteurs de pluies pour différentes probabilités d'apparition extrapolées à partir de ces graphiques sont données au tableau N°16.

Nous insisterons sur le caractère "très irrégulier" de la distribution des précipitations mensuelles pour cette région (Cf tableau N°15).

Tableau N°16 Hauteurs de pluies pour différentes probabilités d'apparition.

Fréquence		0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	0.75	0.8
BOUFICHA	Novembre	240	215	160	110	64	24	8.2	6
	Decembre	290	220	138	88	54	19.4	9.5	7.4
	Mars	158	140	112	88	57	32	15.2	7.4
	Avril	140	132	94	70	46	21	10	7.6
ENFIDA	Novembre	200	185	160	108	64	25	10	8
	Decembre	235	172	108	74	47	22	16	10.0
	Mars	136	118	96	78	61	33	16.4	12.8
	Avril	120	100	80	60	43	23	13.2	11.0
ZAGHOUAN	Novembre	220	205	170	140	85	39	25	21.0
	Decembre	320	250	178	135	90	43	23	19.6
	Mars	168	152	131	106	82	44	22	19.2
	Avril	230	190	136	104	74	38	21	19

PLUVIOMETRIE MENSUELLE



2.5. Pluviométrie journalière

La précipitation en 24 heures pour un jour J, est théoriquement la hauteur de pluie tombée entre 8 heures le jour J et 8 heures le jour J+1, ce choix conventionnel étant basé sur le fait qu'en ce moment de la journée les températures sont les plus faibles de la journée et comme les phénomènes de convection représentent une des causes des précipitations il est apparu logique qu'en ce moment la probabilité de voir une averse est faible.

Nous allons appliquer l'analyse statistique à deux échantillons différents :

- On considère d'abord tous les jours de pluies de chaque année en attribuant la valeur zéro pour les jours où il n'a pas plu (pluie < 0.1 mm)
- On ne s'intéresse ensuite qu'aux plus fortes valeurs de pluies soit à un échantillon de N valeurs, chacune d'elle représente la pluie maximale de l'année.

2.5.1. Analyse statistique du nombre total des jours de pluies

2.5.1.1. Hauteur des précipitations

Le classement de 365 N jours de pluies, en tranche de hauteurs d'eau nous donne N' jours de pluies nulles. La fonction de répartition sera constituée au départ par une droite confondue avec l'axe des abscisses (pluie = 0) l'étude ne serait alors possible qu'en éliminant cette fréquence (loi tronquée).

On introduit alors une nouvelle fonction de répartition $F_1(P)$ définie par $F_1(P) = \frac{F(P)}{F(0)}$

avec : P : variable aléatoire représentant les pluies journalières

$F(P)$: fonction de répartition de P

$F(0)$: fréquence expérimentale des pluies nulles.

Etant donné que nous ne connaissons pas exactement le nombre de pluies nulles (qui dépend de la définition d'une pluie nulle) nous déterminerons une fréquence $F(0)$ fictive qui permet le meilleur alignement des points. La procédure d'ajustement graphique à une loi gaussologarithmique tronquée est donnée en annexe A₃.

L'application a été faite pour ENFIDA (45 ans), BOUFICHA (46 ans) et ZAGHOUAN (48 ans). Les graphiques suivantes montrent l'ajustement obtenus pour ces 3 stations

2.5.1.2. Estimations des valeurs journalières correspondantes à diverses fréquences

Dans le tableau N°17 nous donnons pour quelques fréquences choisies la hauteur de la pluie journalière correspondante calculée à partir de l'équation de la loi ajustée (voir détail en Annexe).

Tableau N°17 Estimation des valeurs de pluies journalières correspondantes à diverses fréquences.

n	6foi en 1an	5foi en 1an	4foi en 1an	3foi en 1an	2foi en 1an	1foi en 1an	1foi en 20an	1foi en 5an	1foi en 10an	1foi en 20an	1foi en 50an	1foi en 100an
Fréquence F ¹	.01643	.013689	.010951	.008214	.005476	.002738	.001369	.000548	.000274	.000137	.000055	.000027
ENFIDA	18.2	20.6	23.7	27.8	33.9	46.0	59.3	80.2	98.4	119.	150.1	177.8
BOUFICHA	14.8	16.8	19.4	23.1	28.7	39.9	53.3	74.8	94.5	117	152	184
ZAGHOUAN	21.9	24.4	27.4	31.6	37.7	49.2	61.9	81	97.4	110	142	166

Toutefois pour situer ces valeurs ^{par rapport} à celles observées nous remarquerons que pour :

ZAGHOUAN : on a observé en 48 ans.

- un maximum égal à 135 mm en octobre 1961
- 5 ans une pluie journalière supérieure à 100 mm
- 5 ans une pluie journalière maximale inférieure à 30mm

Les fortes pluies journalières sont plus fréquentes aux mois d'octobre, novembre et decembre. En effet il y a 40% de chance de voir le maximum de pluie journalière de l'année se produire à cette période.

Pour le mois de mars il y a eu 50% des pluies journalières maximales inférieure à 20 mm avec un maximum de 64,3 mm (1929).

ENFIDA : en 45 ans on a observé

- un maximum égal à 126,5 mm/jour en octobre 1912
- six ans une pluie journalière supérieure à 100 mm/j
- cinq ans une pluie journalière maximale inférieure à 30 mm/jour
- plus de 5 fois sur 10 la pluie maximale journalière se produit au cours de la période septembre-décembre

Pour le mois de mars on a eu 32 fois sur 45 une pluie journalière inférieure à 20 mm/jour et 15 fois inférieure à 10 mm avec un maximum égal à 51,5 mm/jour (1929)

BOUFICHA: sur 46 années d'observation nous avons vu arriver ;

- un maximum égal à 126.1 mm/jour en octobre 1958
- quatre fois une pluie journalière supérieure à 100mm par jour
- neuf fois une pluie journalière inférieure à 30mm/j
- 40% des maximums annuels se produisent en octobre novembre et décembre.
- pour le mois de mars on a eu sur 46 ans 35 ans où une pluie journalière est inférieure à 20 mm/jour (15 fois inférieure à 10 mm/jour).

2.5.1.3. Nombre de jours de pluie (quantité et répartition) :

Nous donnons (fig II.2.7.) la distribution du nombre total des jours de pluies pour les 3 stations : Enfida, Bouficha et Zaghouan.

Les caractéristiques de la répartition interannuelle sont les suivantes :

Tableau n°18

	! Moyenne ! ! Jour	! écart ! ! type	! $\bar{P}_{10}(1)$! ! jour	! maximum ! ! jour	! minimum ! ! jour	! durée ! ! d'obser- ! ! vation ! ! (ans)
ENBIDA	! 40,2 !	! 10,8 !	! 10,8 !	! 63 !	! 21 !	! 45 !
BOUFICHA	! 38,6 !	! 9,8 !	! 9,8 !	! 70 !	! 22 !	! 46 !
ZAGHOUAN	! 72,7 !	! 16,1 !	! 16,1 !	! 100 !	! 38 !	! 48 !

(1) \bar{P}_{10} : Nbre moyen de jours où en a une pluie journalière supérieure à 10 mm .

PRECIPITATIONS JOURNALIERES
à Bouficha
($F_0 = 0,93$)

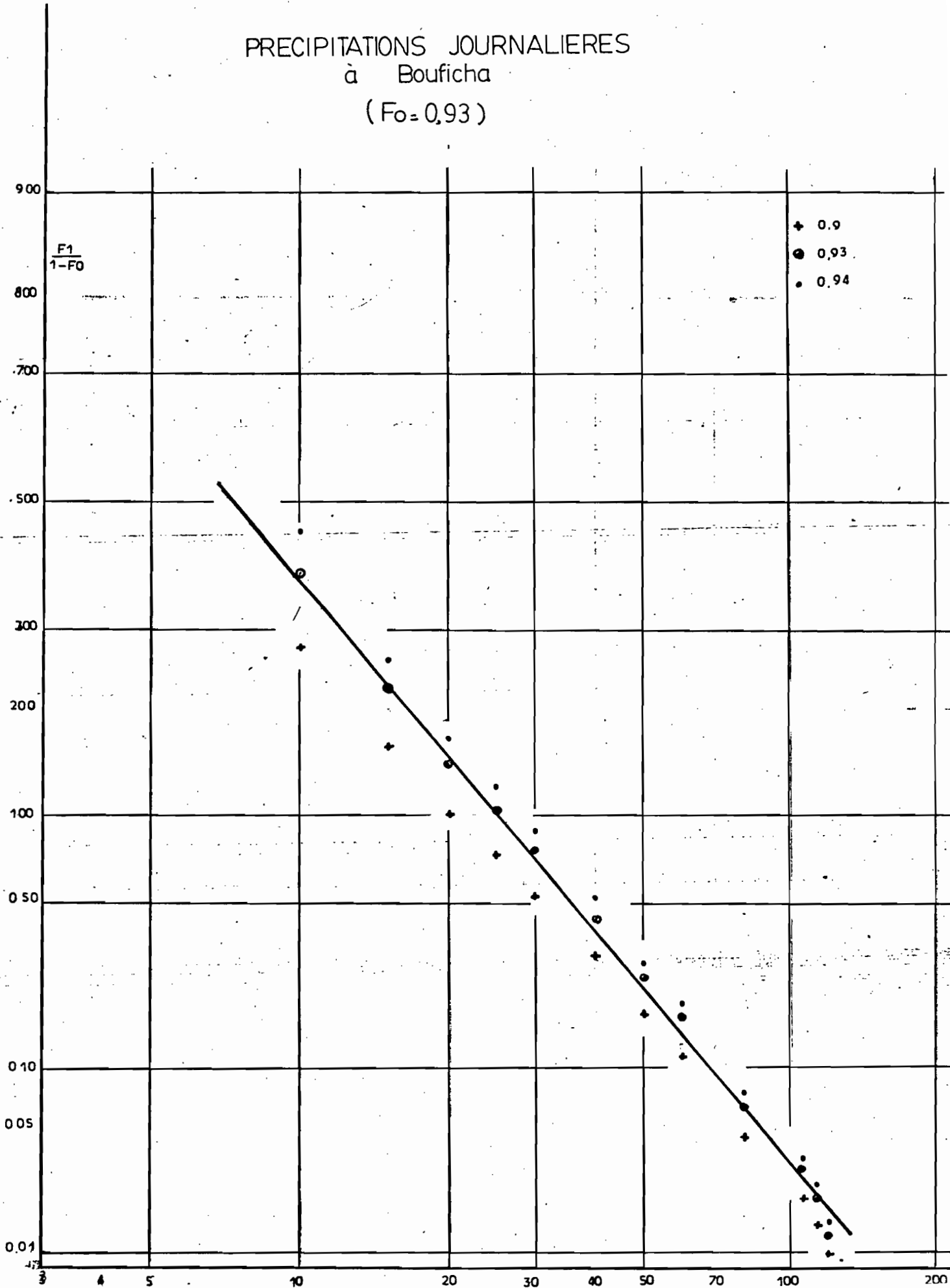
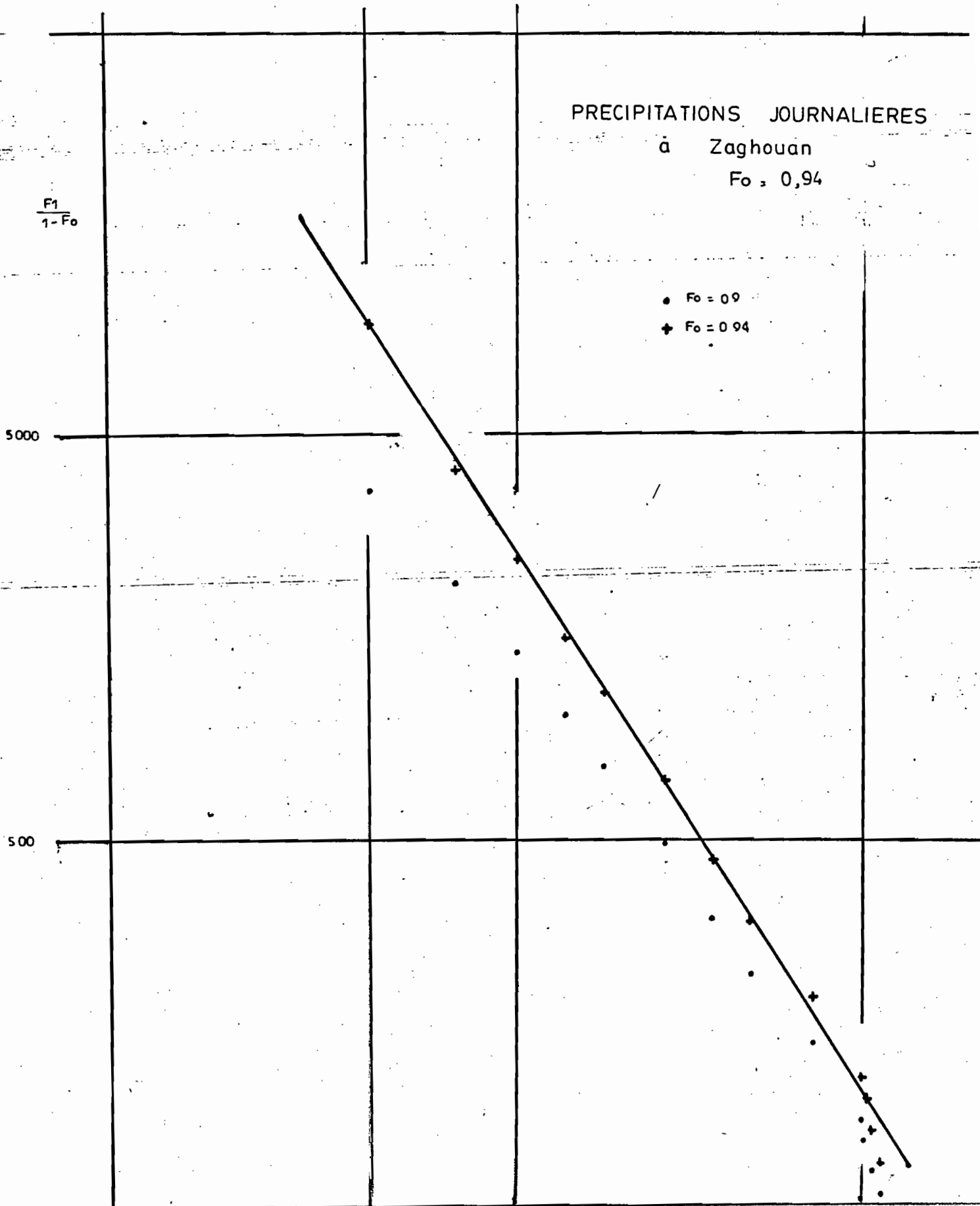
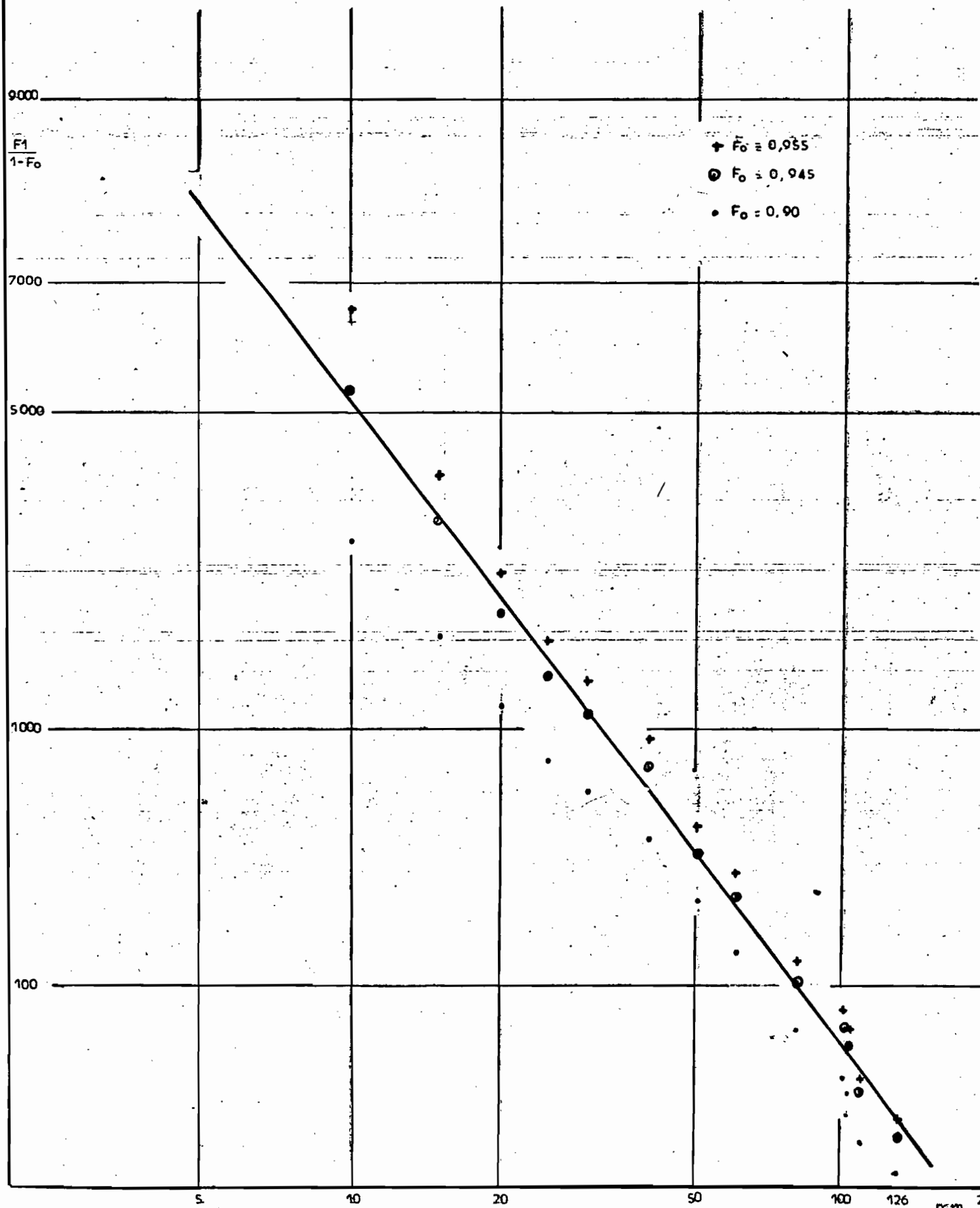


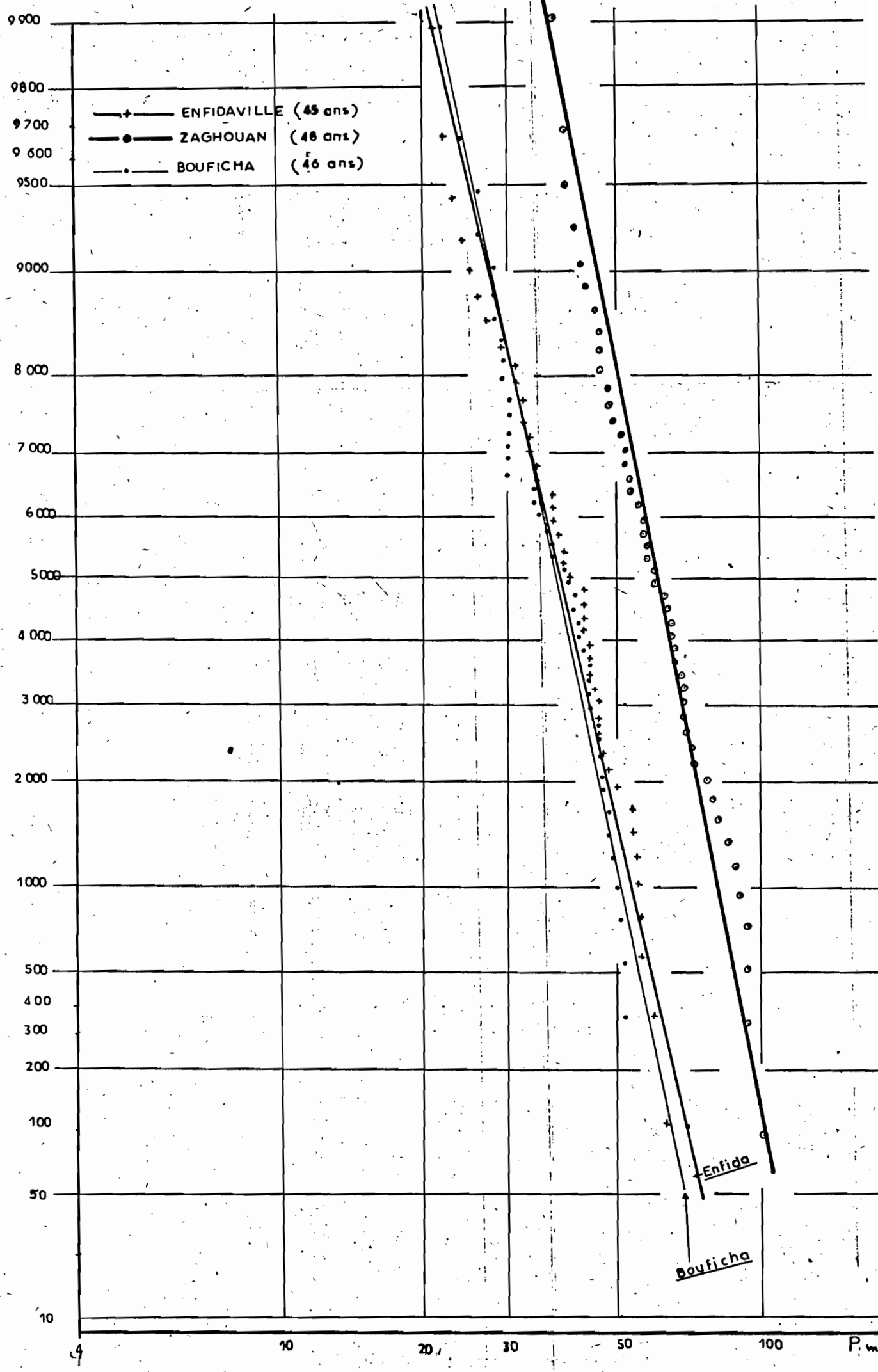
Fig II.2



PRECIPITATIONS JOURNALIERES
à Enfidaville
($F_0 = 0.945$)



NOMBRE DE JOURS DE PLUIE



En moyenne 1 jour de pluie sur 4 reçoit plus de 10 mm. La répartition mensuelle des jours de pluie montrent que les plus fortes pluies (pluies > 10 mm) se rencontrent plus en automne que les autres saisons. Quant aux pluies très fortes et exceptionnelles leur nombre est très rare.

2.5.2. Etude statistique des maximums annuels

L'ajustement d'une loi de répartition des pluies maximales permet d'estimer la pluie correspondant à une faible fréquence de dépassement choisie.

Les échantillons analysés ont les caractéristiques empiriques suivante :

Tableau N°21

Station	Nbre d'années d'observation N	Moyenne	Médiane	écart type	Cv. Coeff. variation
ENFIDAVILLE	45	55.8	45.5	28.0	0.502
BOUFICHA	46	53.5	44.6	27.0	0.505
ZAGHOUAN	48	60.8	54	26.4	0.435

Nous avons essayé la distribution de GUMBEL aux trois échantillons cidessus. (fig II.2.8., 9 et 10). Le test de χ^2 ne s'oppose pas à ce que cet ajustement soit correcte. Toutefois à la question pourquoi choisir une telle loi plutôt qu'une autre (Pearson III par exemple)? Nous remarquerons que sans ordinateur ce choix reste très limité et on a recours au bon sens de l'hydrologue et aux travaux du même type faites dans la région concernée. D'ailleurs les lois dissymétriques positives (22) sont presque confondues dans l'intervalle central de probabilité et ne commencent à s'individualiser que pour les probabilités extrêmes auxquelles ne correspondent que très peu de points observés. Ce qui limite

considérablement l'intérêt de ces points pour choisir telle loi plutôt que telle autre.

L'équation de la droite sur papier Gumbel déduite de la fonction de répartition $F(P) = e^{-e^{-a}(P-P_0)}$

est la suivante :

$$y = -\log (-\log F(P)) = a (P - P_0)$$

a et P_0 respectivement paramètre d'échelle ($S = \frac{1}{a}$) et paramètre de forme (P_0) sont estimés à partir des relations suivantes :

$$\frac{1}{a} = 0.780 \sigma$$

$$P_0 = \bar{P} - \frac{1}{a} \times 0.577$$

\bar{P} étant la moyenne de l'échantillon et σ son écart type

Les pluies maximales pour diverses récurrences sont présentées ci dessous (en mm)

Tableau N°22 Pluies maximales pour différentes périodes de retour

Période de retour (année)	Période humide				médiane	Période sèche			
	50	20	10	5		2	5	10	20
Pluie journalière maximale ENFIDA	129.2	108.7	93.0	76.4	52.4	33.4	25.5	19.6	13.7
BOUFICHA	124.3	104.5	89.4	73.4	50.2	31.9	24.3	18.6	12.9
ZAGHOUAN	130	110.7	95.9	80.2	57.6	39.6	32.2	26.7	21.1

Cet ajustement accordant un même poids aux faibles et fortes valeurs semble sous estimer les valeurs de faibles fréquences pour la période sèche (surtout pour BOUFICHA).

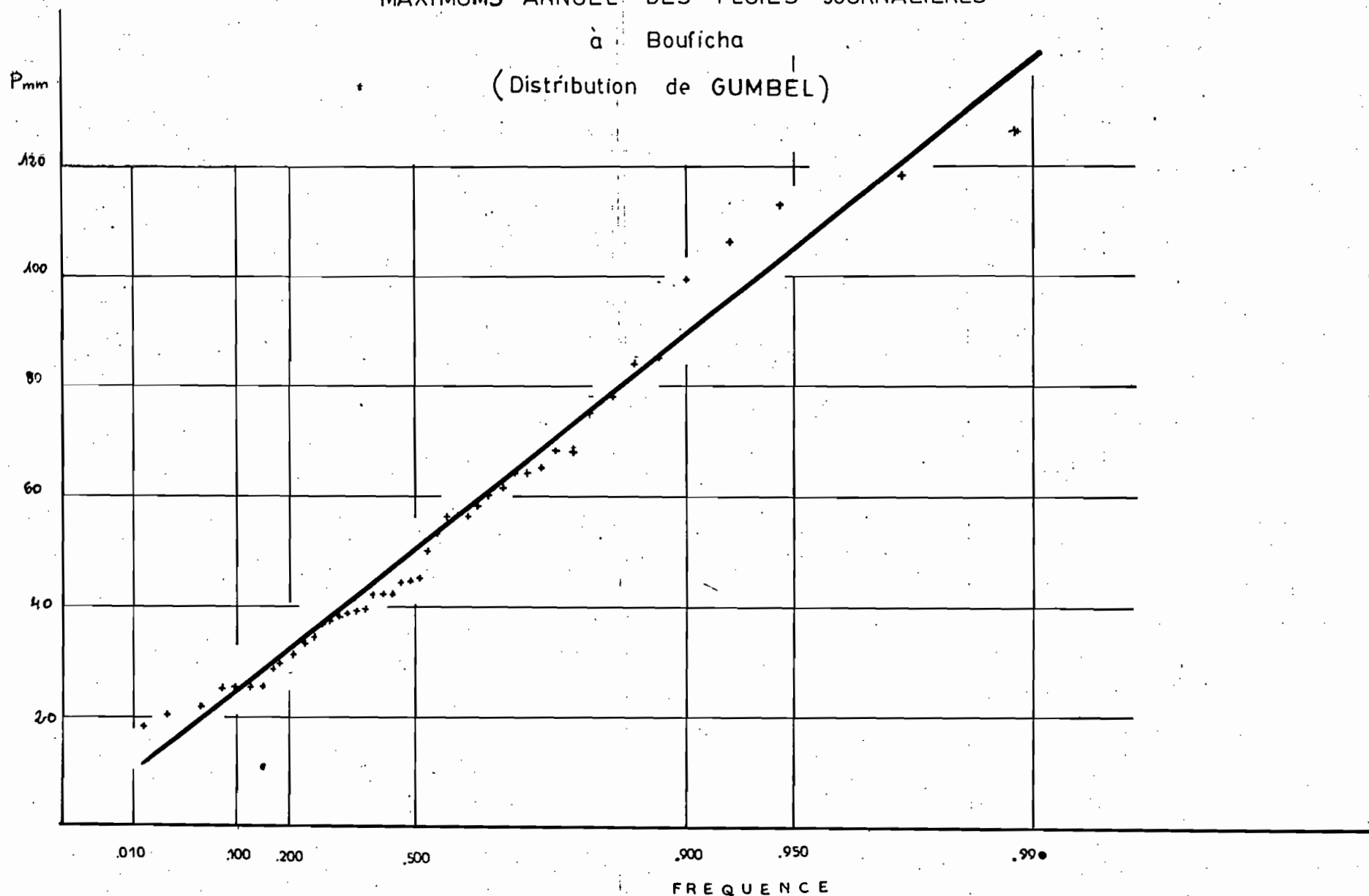
2.6. Les Averses

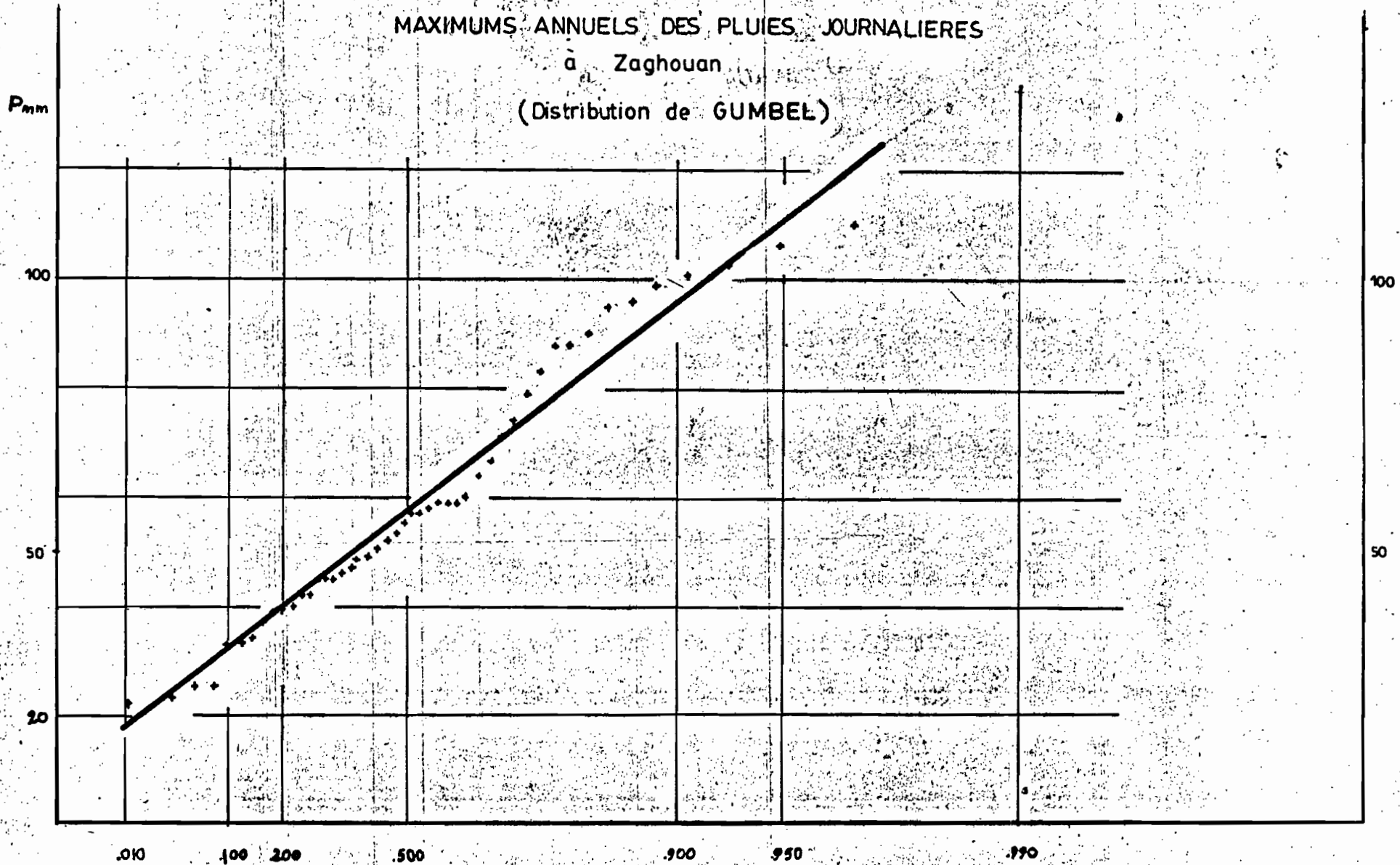
Les données relatives à l'intensité des pluies sont récentes. La station la plus proche et la plus longuement observée est celle du Djebel Djougar (28). On s'est basé, pour le dépouillement des enregistrements, sur des intervalles de 30 minutes

MAXIMUMS ANNUEL DES PLUIES JOURNALIERES

à Bouficha

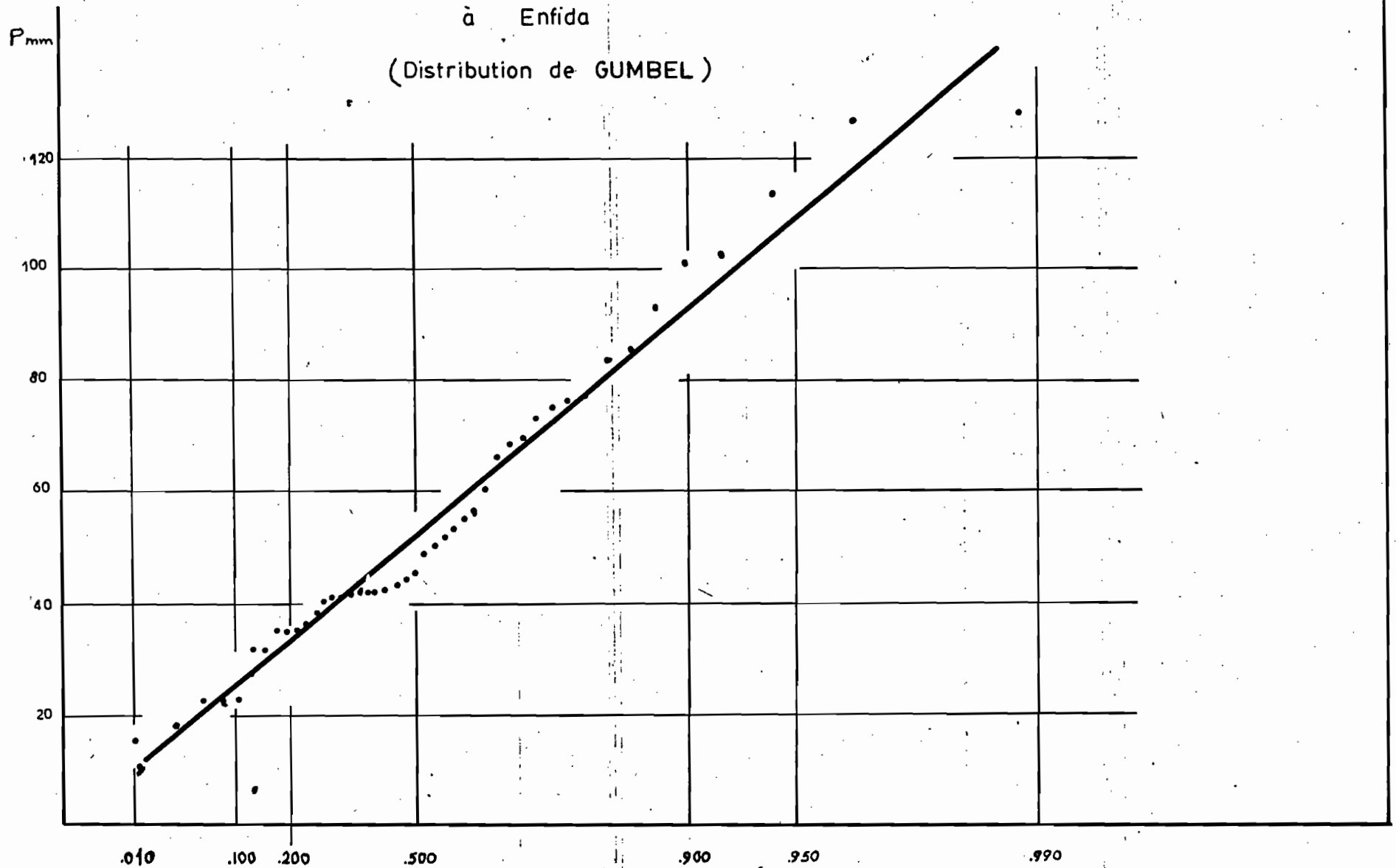
(Distribution de GUMBEL)





MAXIMUMS ANNUELS DES PLUIES JOURNALIERES
à Enfida

(Distribution de GUMBEL)



tout en tenant compte des intervalles chevauchants afin d'inclure les plus grandes intensités dans le calcul. Le résultat est présenté dans le diagramme de la fig.II.2.11 qui donne la hauteur-durée-fréquence des averses.

Dans la régions de Sousse on dispose de 6 années de pluviographie.

La durée de temps de référence de dépouillement est de 6,15,30,45 et 60 minutes.

deux averses sont considérées distincts si

$$\Delta t > 90 \text{ mn}$$

$$\text{et } \Delta h < 2 \text{ mm}$$

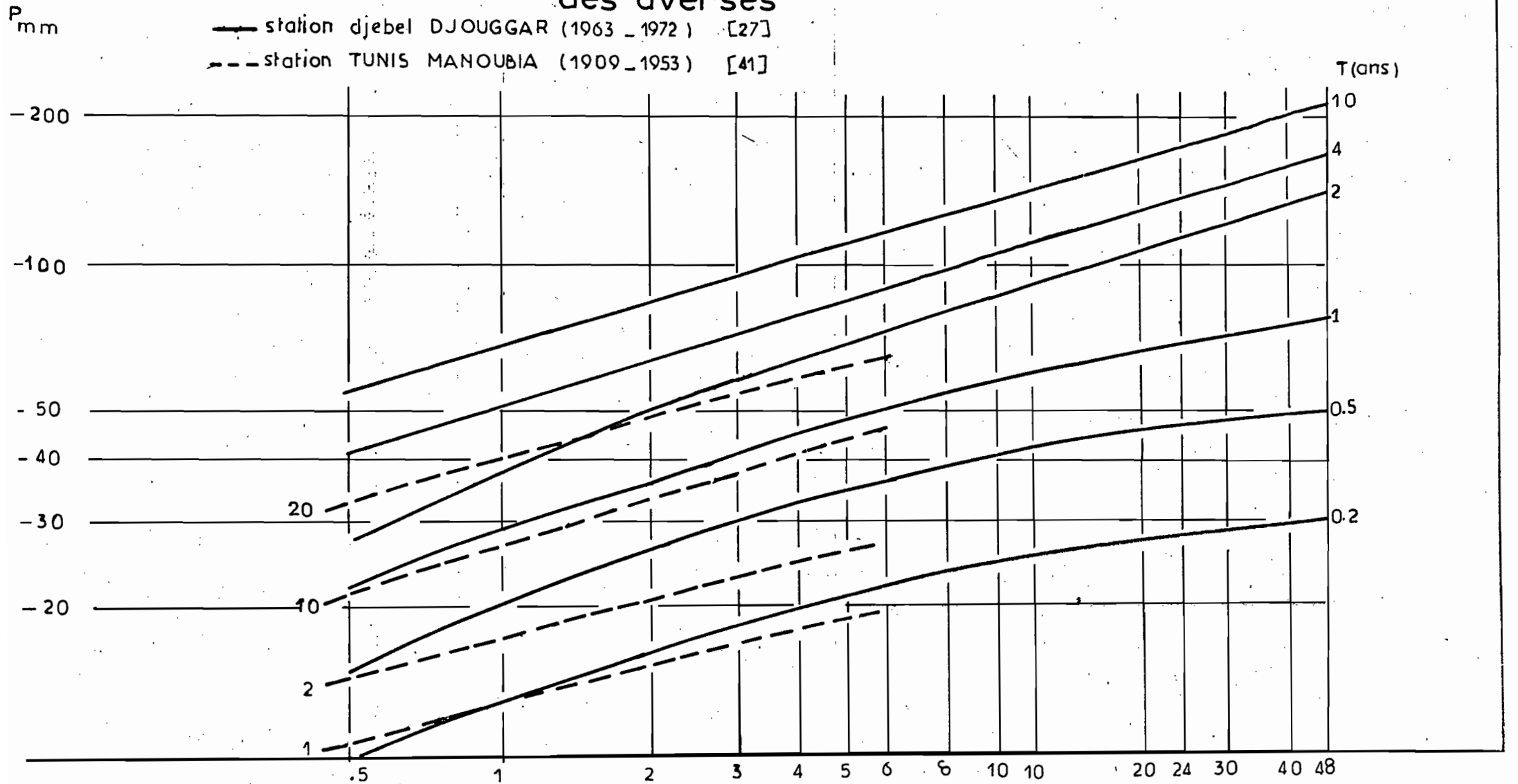
Le resultat est présenté dans le tableau suivant :

Tableau N° 23 Sahel de Sousse : intensité en mm/h en fonction de t et de T

t durée de l'Averse en mm	Période récurrence T					
	0.5	1	2	3	6	
5 - 6	67	92	108	120	120	
15	33	54	80	93	120	
30	25	36	57	70	70	
45	18	26	39	49	67	
60	13	20	33	40	55	

La comparaison des résultats de ce tableau à ceux obtenus pour Tunis (M.A. MONTMARIN) fait sortir que les chiffres du sahel de Sousse sont supérieurs à ceux de Tunis (il est possible que les deux périodes de 3 ans considérées aient été spécialement pluvieuses).

Fonction: hauteur_ duree_ fréquence
des averse



C H A P I T R E I I I

HYDROLOGIE

3.1. DONNEES HYDROMETRIQUES

3.1.1. Equipement hydrométrique

3.1.1.1. Organisation des observations

La région concernée fait partie, selon la répartition hydrographique de la DRE, du secteur miliane - cap bon-Nebhana. Une équipe installée à Zaghouan est responsable du secteur Milian supérieur Nebhana -Sahel Nord. Cette équipe est chargée de vérifier tous les 15 jours les stations limnimétriques, d'effectuer les jaugeages, de prélever des échantillons d'eau et d'entretenir les stations. Le dépouillement des jaugeages et des enregistrements limnimétriques est également fait par cette équipe. Un ingénieur responsable de tout le secteur assume la coordination des activités.

Les stations hydrométriques principales sont liées par radio avec la DRE à Tunis. Dès menace d'une crue l'observateur est chargé de transmettre les informations concernant les précipitations et les hauteurs d'eau.

3.1.1.2. Historique des stations hydrométriques

3.1.1.2.1. Oued Khairat C15

La station limnimétrique de Oued Khairat fût installée au début de 1974, environ 100 m à l'aval du Cassis Nadour. L'équipement de la station comprenait un jeu d'échelles, un limnigraphe OTT à flotteur et un téléphérique. Un observateur relevait journalièrement les données de la station.

La série des observations enregistrées est de qualité moyenne en raison du blocage du flotteur du limnigraphe. Le début et la fin d'une crue sont rarement enregistrés correctement du fait des apports solides qui forment un barrage devant le canal de communication du limnigraphe. Les données manquantes ont été reconstituées à l'aide des observations faites par le lecteur d'échelles.

Le débit d'étiage est mesuré au micromoulinet dans un canal aménagé à chaque jaugeage par l'équipe de la zone considérée.

La section de la station est peu stable et le jaugeage n'est pas toujours fait à chaque crue; des courbes de tarage ont pu cependant être établies. Malheureusement la plus grosse crue, (NOV75) depuis la création de la station, n'a été ni enregistrée, ni relevée.

3.1.1.2.2. Oued R'mel

Le réseau hydrométrique de ce bassin est contrôlé par trois stations.

- une station hydrométrique principale
- deux points de mesures permanents où sont fait uniquement les jaugeages d'étiage.

Les premières mesures de hauteur d'eau que nous avons ici à notre disposition remontent à 1950, concernent une station située à 200 m à l'aval du barrage, les relevés sont ceux des basses eaux. Les crues sont très rarement mesurées.

En 1975 une station limnimétrique fût installée (C31) en amont du barrage, équipée d'un limnigraphe à flotteur, d'un jeu d'échelles ainsi que d'un téléphérique.

Après le rétablissement du barrage en 1976, cette station donnait des valeurs pratiquement inexploitable. L'eau en s'accumulant derrière le barrage remonte rapidement vers la station, les mesures de hauteurs d'eau réelles sont inconnues et il est impossible de trouver une corrélation entre les hauteurs du plan d'eau et les débits correspondants.

En 1911, on envisageait une possibilité de construction d'un barrage sur l'O.Hamam Zriba et on a organisé à cet effet une campagne de mesure sur cet oued qui a duré quelques mois. Actuellement sur cette station on ne dispose que d'une batterie d'échelles, utilisée pour les jaugeages d'étiage.

3.1.2. Jaugeage et étalonnage des stations

3.1.2.1. Jaugeage des étiages

Les mesures des débits d'étiage sont exécutées à toute les stations, en général tous les 15 jours. Les mesures se font à l'aide de micromoulinet on détermine sur n verticales les vitesses d'écoulements à p points différents mais répartis de façon régulière. Les débits sont calculées par planimétrie.

3.1.2.2. Jaugeage des crues

Les rares mesures qui existent avant 1975 pour le bassin du R'mel sont obtenues à partir des jaugeages aux flotteurs ces valeurs sont à considérer avec beaucoup de réserve parce qu'en crue, la vitesse de la surface n'est nullement représentative de la vitesse moyenne dans la section mouillée.

Après la création des nouvelles stations, les jaugeages des crues sont effectués au moyen de moulinet suspendu à partir d'un téléphérique. L'opération du jaugeage des crues est confiée aux agents permanents à la station (2 à C31 et 1 à C15) Le dépouillement des jaugeages est fait par le soins de l'équipe de Zaghuan.

3.1.2.3. Courbes d'étalonnage des stations

Les résultats de jaugeages depuis la création des deux stations limnimétriques ont été vérifiés puis présentés dans les tableaux 24 & 25, à partir de ces valeurs nous avons essayé d'établir des courbe d'étalonnage pour chaque station.

3.1.2.3.1. Oued Khairat (figure II.4.1.)

De façon générale on peut dire qu'il y a un détarage périodique relativement important dans la partie basse de la courbe d'étalonnage; ceci se voit bien dans le déplacement tantôt à droite tantôt à gauche de la courbe en raison des mouvements d'ensablement et de déssablement de la section.

Quant aux hautes eaux nous avons considéré la courbe obtenue lors des jaugeages entrepris en 1975 comme valable pour toute la période.

3.1.2.3.2. Oued R'mel

Pour la station hydrométrique sur cet oued se pose le problème suivant : la station est à 1300 mètres en amont du barrage et la pente entre le barrage et la section de mesure est faible. En crue l'eau s'accumule derrière le barrage et les valeurs de hauteur d'eau au niveau de la station devient de ce fait peu liées aux débits correspondants qui y passent.

Un affluent drainant une cinquantaine de Km² déverse ses eaux juste en amont du barrage et aggrave le problème.

Tableau N°24 Liste des jaugeages effectuées à C15 (O.K)

(Q > 1m³/s)

Dtae	hauteurs à l'échel- le cm	Debits en m ³ /s	Date	Hauteurs à l'échel- le cm	Q m ³ /s
23.2.74	128-120	20.0	26.9.77	135	14.3
" "	119-112	11.18	" "	130	11.5
5.2.1975	128	20.67	" "	125	8.9
" "	125	17.56	" "	120	6.8
" "	120	16.03	" "	115	5.4
" "	110	10.16	" "	105	3.3
" "	105	8.30	8.10.1977	105	2.86
" ""	100	5.43	" "	110	4.46
" "	97	3.62	" "	120	8.55
" "	95	3.35	" "	125	10.96
" "	92	3.06	" "	130	13.66
6.2.1975	79	1.03	" "	135	17.2
18.2.1975	101	5.54	" "	137	19.02
" "	98	4.16	10.11.1978	149-169	24.8
" "	89	2.45	" "	168-145	29.0
" "	86	2.25	11/11.1978	160-146	27.56
8.3.1975	96	3.62	" "	142-133	10.22
23.4.1975	125	17.55	" "		
" "	115	12.22	20.5.1976	95	6.0
" "	110	9.87	" "	88	3.85
" "	100	5.89	" "	82	3.82
" "	95	4	17.11.1976	101	3.6
" "	85	1.95	" "	95	1.57
" "	86	2.70	26.9.1977	165	51.2
" "	76	1.11	" "	160	41.7
4.11.1975	140	33.5	" "	155	34.7
" "	150	43.9	" "	150	28.1
" "	160	54.0	" "	145	22.4
" "	170	65.0	" "	140	17.6
" "	180	77.0			
" "	190	90.0			
" "	210	117.8			
" "	220	135			
" "	230	156.4			

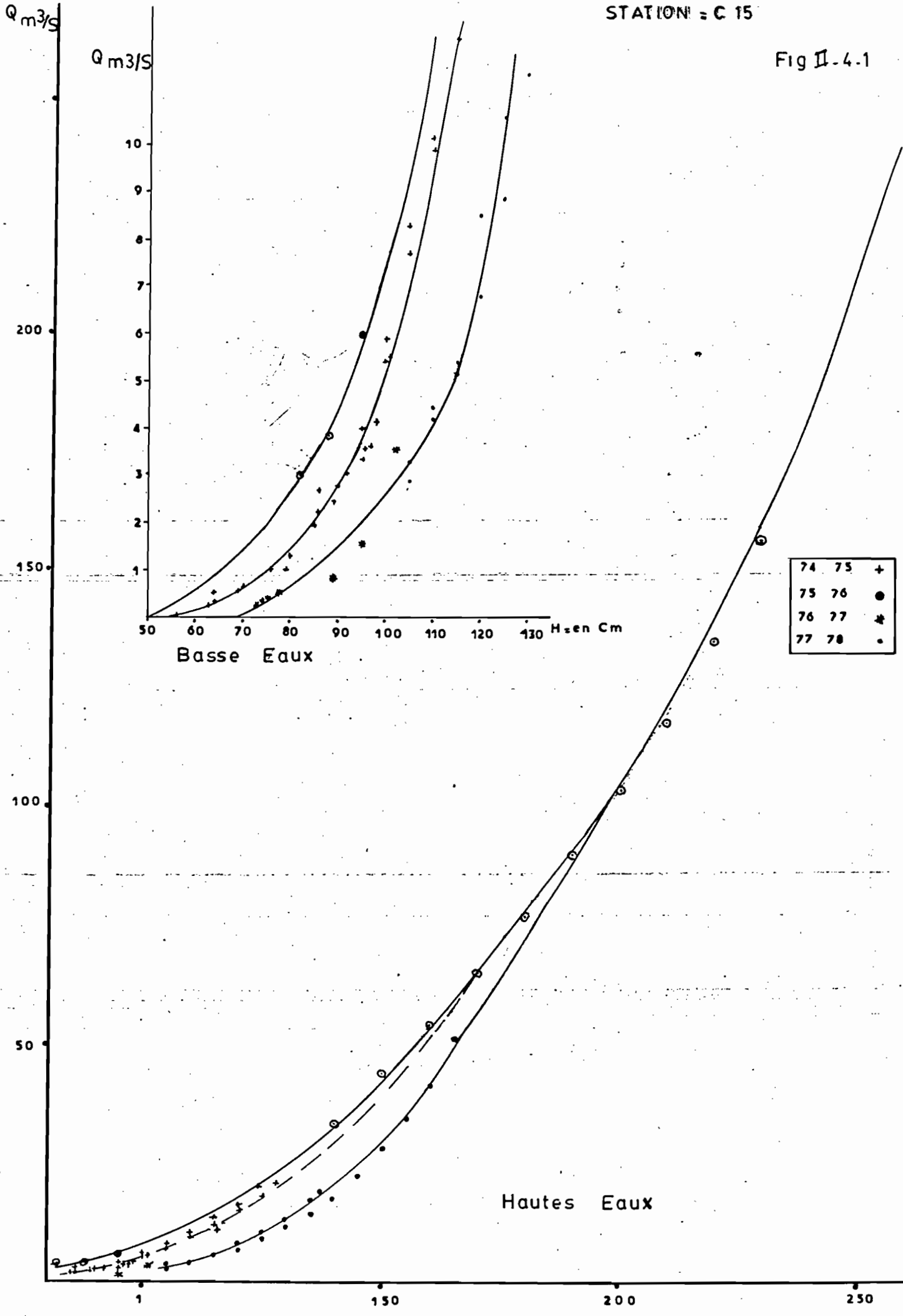
Tableau 25 Liste des jaugeages effectués à C31 (D.R'mel)

Date	Hauteur à l'échelle en cm	Débits en m3/s	Date	Hauteur à l'échelle en cm	Débits en m3/s
4.11.1975	750	752	2.10.1978	327-315	0.48
26.10.1976	265-250	654	" "	315-290	2.11
" "	245-230	604	13.10.1978	217-218	4.78
" "	220-207	501	" "	239-255	4.88
17.10.1976	235-261	1886	" "	264-270	291
" "	275-296	1734	" "	274-277	2.76
" "	307-320	16.44	18.10.1978	325-302	2.40
" "	323-326	13.52	" "	328-325	1.92
" "	317-307	9.14	" "	324-301	3.65
" "	275-255	6.20	" "	311-287	0.7
" "	251-225	5;32	" "	284-283	0.88
19.11.1976	300-340	19.7	17.10.1978	255-230	462
" "	358-383	18.86	" "	240	3.63
" "	298-395	19.86	" "	252-256	2.54
" "	386-381	15.16	" "	2 260	1.86
" "	371-367	11.76	10.11.1978	360-470	12.6
" "	365-362	10.05	" "	495-522	47.1
" "	355-351	9.13	" "	480-460	40.4
" "	343-339	7.81	" "	450-440	17.92
" "	337-329	7.35	13.11.1978	258-257	2.44
" "	314-307	6.38	" "	240-230	1.44
" "	292-284	5.98	25.2.1979	260-262	3.18
" "	280-270	5.35	18.3.1979	359	0.94
" "	266-255	5.40	" "	337-328	0.81
" "	243-231	5.11	" "		
8.1.1977	217-230	18.24			
" "	233-250	17.96			
" "	260-297	15.84			
" "	336-364	16.44			
" "	374-380	11.92			
" "	380-383	11.18			
" "	383-382	11.23			
" "	382-381	10.29			
" "	382-322	13.58			
9.1.1977	230-235	10.39			
" "	276-282	10.0			

COURBE D'ETALONNAGE - Oued KHAIRAT

STATION = C 15

Fig II-4.1



COURBE D'ETALONNAGE AVANT
LA CONSTRUCTION DU BARRAGE
(AOUT 1976)

Q m³/S

50

40

30

20

10

100

200

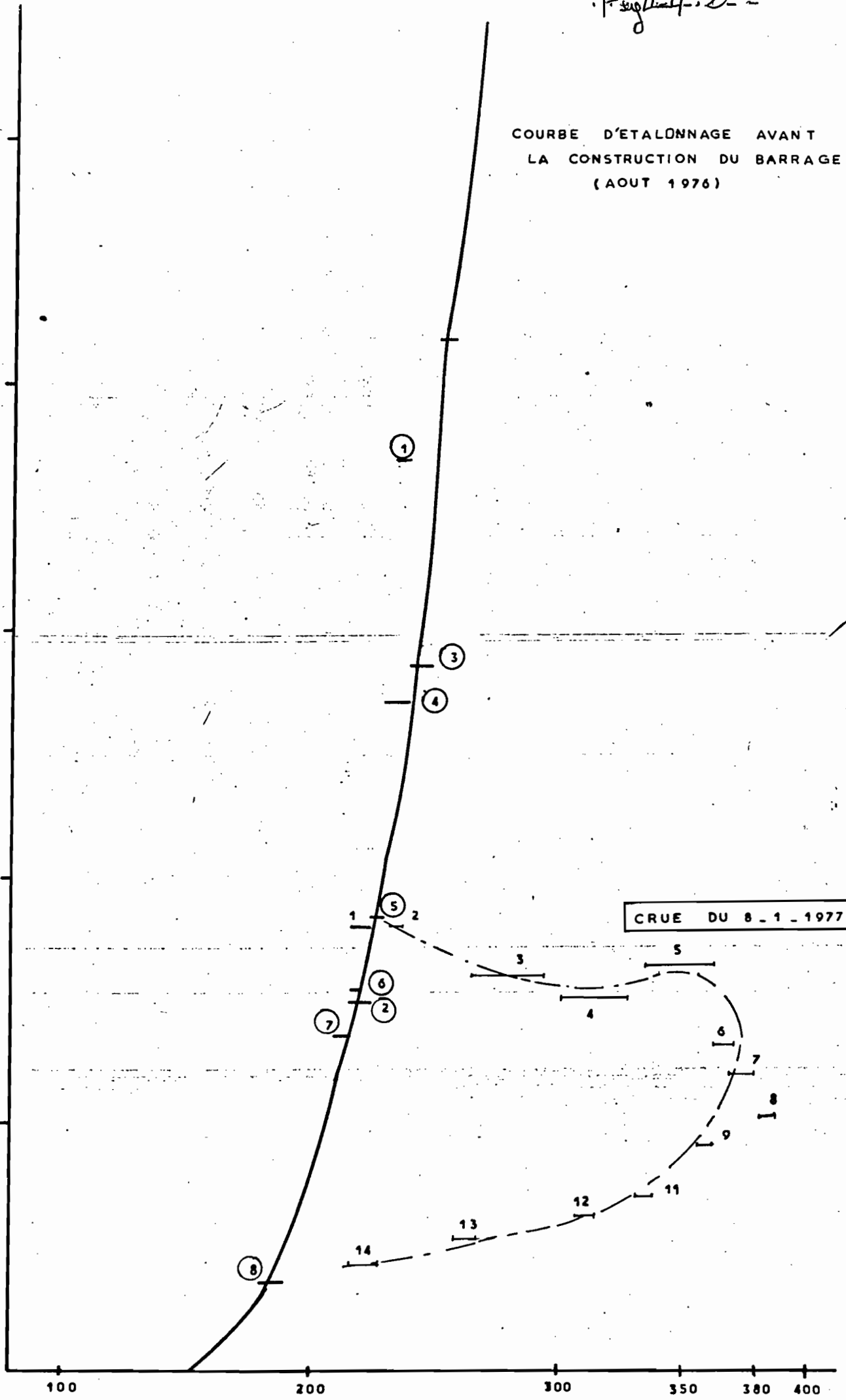
300

350

380

400

CRUE DU 8-1-1977



Pour notre étude nous nous contenterons d'établir une courbe d'étalonnage pour chaque crue. Les crues dont on a pas fait des jaugeages ne sont pas prises en considération. Les formes des courbes de tarage obtenues ont des allures anormales et peu semblables entre elles (fig II.4.2.).

3.1.3. Salinité :

Les prélèvements d'échantillons d'eau pour l'analyse se font en même temps que les jaugeages qui ont lieu tous les 15 jours pendant les jaugeages des crues des échantillons sont prélevés avec les hauteurs à l'échelles correspondantes.

Les échantillons d'eau prélevés sont analysés au laboratoire de la DRE.

Les résultats sont exprimés en résidu sec (en g/l). Pour la composition du résidu sec, nous disposons à des intervalles irréguliers d'une analyse complète.

3.1.4. Transports solides :

Pour les deux bassins versants (Rmel et Khairat) des mesures de transports de matières en suspension ont été faites pendant les crues.

Pour déterminer la teneur en suspension d'une eau, on laisse reposer pendant 48 heures l'échantillon d'eau, ce qui permet de mesurer le volume d'eau et celui des matières déposées. On filtre ensuite l'eau à travers une filtre taré, le tout est séché à l'étuve pendant 24 heures à 105°C. Par pesage on détermine le poids du résidu sec.

Les valeurs obtenues doivent être utilisées avec une certaine réserve, l'échantillon étant prélevé à partir de la berge d'un Oued n'est pas toujours représentatif de toute la section. Ainsi il peut arriver souvent que lors du prélèvement, l'agent remue avec ses pieds le lieu du prélèvement et fausse le résultat.

Nous avons aussi à notre disposition les résultats de mesure de l'envasement dans les retenues de deux barrages assez proches de la région (Masri et Nebhana).

3.2. INTERPRETATION DES DONNEES ET ANALYSE DU RUISSELLEMENT

L'étude du ruissellement a été effectuée à partir de toutes les crues enregistrées depuis la création des stations hydrométriques sur les oueds. Nous disposons d'une vingtaine de crues à la station C 15 sur oued Khairat et une dizaine à C31 sur oued R'mel. Le nombre réduit des crues utilisées pour l'étude de ce dernier est dû essentiellement à un problème d'étalonnage de la station (cf.parag.31232) Certaines de ces crues correspondent à une réponse partielle de la surface du bassin versant, d'autres à des crues complexes.

Une partie de ce Chapitre sera réservée à un essai pour établir une relation entre les volumes ruisselés et les pluies journalières. En raison des données relativement peu nombreuses sur ces deux bassins versants nous nous sommes trouvés dans l'obligation d'utiliser parfois, des formules empiriques, ainsi que les résultats obtenus sur des bassins versants limitrophes afin de donner des ordres de grandeurs pour quelques caractéristiques

2.1. CARACTERISTIQUES DES CRUES

2.1.1. Oued Elkairat

2.1.1.1. Description de quelques crues (fig.annexe 4)

EN 1974 : Crue du 22 février 1974

L'hydrogramme présente deux pointes séparées de 7 heures30 ($Q_1 = 51 \text{ m}^3/\text{s}$ et $Q_2 = 15.7 \text{ m}^3/\text{s}$) observées respectivement à 8h et 15h30 avec un temps de montée pour le premier maximum de 1h30.

En 1975 : Crue du 8 mars 1975

Cet hydrogramme présente un palier à la montée et une forme assez molle; le temps de montée est de 8 heures et le maximum ($Q = 97.5 \text{ m}^3/\text{s}$) est atteint à 5h20. Le temps de base de cette crue est de 20 heures.

En 1976 : Crue du 18 et 29 juin

Cet hydrogramme ayant un temps de base de 21 h présente deux pointes séparées de 2h30 ($Q_1 = 37 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2 = 29 \text{ m}^3/\text{s}$). La montée est lente au début (de 0 à 16 m^3/s en 9 heures) puis assez rapide à la fin (de 16 à 37 m^3/s en 30 minutes).

En 1977 : Crue du 8 octobre

L'hydrogramme de forme à peu près symétrique présente au début de la montée deux petites pointes dues au ruissellement sur la partie proche de la station. Il a un débit maximal de 45 m³/s avec un temps de montée (2h30) et un temps de base (11h).

En 1978 : Crue du 1 octobre

En réalité ce sont deux crues bien séparées la première peu importante (16.4 m³/s et un temps de montée 50 min) et simple, la seconde plus grande et plus complexe (2 pointes). La première montée présente deux paliers et une forme assez molle ($Q_{1max} = 30$ m³/s et temps de montée = 2 h). Le débit maximum de la crue est de 38 m³/s à partir duquel la descente est rapide (de 38 m³/s à 3 m³/s en 1h30).

Crues du 10 et 12 Novembre :

Les deux crues les plus importantes de l'année agricole 1978 79. La forme est complexe avec des pointes à la montée (crue du 10) ou des pointes à la décrue (crue, du 12).

Les débits maximums sont respectivement 60 m³/s (le 10) et 146 m³/s (le 12) avec des temps de montée de 4h30 et 1h. Le ruissellement a duré 7 heures (le 10) et 11h (le 12).

3.2.1.1.2. Caractéristiques des hydrogrammes

Nous avons à notre disposition une vingtaine de couples hyéto-grammes hydrogrammes. Les diagrammes intensité en fonction du temps sont obtenues en faisant la moyenne des hyétogrammes à Halg Ennab et celle du Cassis Nadour (près de la station hydrométrique).

Le tableau suivant présente les caractéristiques principales des événements averse crues pour le bassin de l'oued khairat à la station C15 et pour toute la période observée. Les définitions de ces caractéristiques et quelques observations utilisées pour établir ce tableau sont les suivantes :

- Colonne 1 : Numéro de la crue depuis le début de la période d'observation hydrométrique.
- Colonne 2 : Date du début de la crue
- Colonne 3 : Pm, hauteur moyenne de l'averse responsable de la crue, en mm.

- Colonne 4 : ta, temps sans précipitation précédant l'averse, en jour.
 Colonne 5 : Qm, débit maximum de la crue, en m³/s
 Colonne 6 : tm, temps de montée de la crue (partie ascendante de l'hydrogramme).
 Colonne 7 : tb, temps de base de la crue (durée totale de la crue)
 Colonne 8 : tp, temps de réponse du bassin mesuré entre le moment où 50% de la pluie utile sont tombés et le maximum de ruissellement.
 Colonne 9 : Vr, volume ruisselé en 10³.m³
 Colonne 10 : lr, lame ruisselée, $lr = \frac{\text{volume ruisselé}}{\text{surface du bassin versant}}$
 Colonne 11 : Kr, coefficient du ruissellement moyen de la crue

$$Kr = \frac{lr}{Pm} \times 100$$

Tableau 26 Caractéristiques des crues de O.Khairat

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	date	Pm	ta	Qm	tm	tb	tp	Vr	lr	Kr
1	5/2/75	30	0	33.2	1h40	22h	1h20	1021	5.8	20.0
2	17/2/75	17	0	28.4	0h50	17h30	-	333	1.9	11.2
3	7/3/75	44	6	98.0	8h0	22h	-	1384	7.9	17.9
4	23/4/75	13	0	18.2	1h15	10h	1h45	120.3	0.7	5.4
5	25/5/75	10	0	16.5	2h30	6h30	-	69.6	0.4	4.0
6	26/8/75	18.5	2	22.5	0h30	7h30	-	116.4	0.7	3.8
7	20/5/76	18.5	4	9.6	1h30	9h	3h20	192.0	1.1	6.1
8	10/6/76	19.5	4	34.0	0h35	9h	2h50	384	2.2	11.3
9	26/9/77	27.7	0	59.0	0h55	11h	2h10	565.5	3.2	11.6
10	8/10/77	26.8	9	45.0	2h30	13h	1h35	462	2.6	9.7
11	7/11/77	7.5	20	7.5	0h35	19h30	2h25	13.3	0.1	1.3
12	19/11/77	23	11	80.0	0h40	15h30	-	400	2.3	10.0
13	24/11/77	14.1	3	12.5	1h05	21h	1h55	168.3	1.0	6.8
14	10/5/78	6.1	0	9.8	0h35	9h	4h20	100.2	0.6	7.5
15	22/5/78	8.5	0	3.0	2h00	4h45	4h00	24.7	0.1	1.2
16	1/6/78	11.5	0	3.1	3h15	18h0	2h00	50.0	0.3	2.5
17	1/10/78	21.4	0	38	-	-	-	458.4	2.6	12.1
18	10/11/78	27/4	20	60	5h00	7h30	3h30	511.5	2.9	10.6
19	12/11/78	27.7	0	143	0h45	11h30	1h15	10278	7.3	26.4

Nous n'avons pas séparé les crues simples des crues complexes, ce qui pour de tel bassins versants n'est pas toujours aisé et n'a pas surtout une signification très précise. Nous pouvons malgré tout définir un hydrogramme type ayant les caractéristiques suivantes :

- temps de montée : 1 h à 2 heures
- temps de base : 10 à 16 heures.

3.2.1.1.3. Estimation des débits de Oued El khairat

Les débits maximaux observés au cours de ces cinq années de mesure sont :

1974-75	: Q_{\max}	= 98 m ³ /s	soit : 557 l/s/Km ²
1975-76	: Q_{\max}	> 300 m ³ /s	-
1976-77	: Q_{\max}	= 34 m ³ /s	soit: 193 l/s/Km ²
1977-78	: Q_{\max}	= 80 m ³ /s	soit: 454 l/s/Km ²
1978-79	: Q_{\max}	= 143 m ³ /s	soit: 812 l/s/Km ²

Etant donné le petit nombre d'années d'observations et surtout les fortes irrégularités interannuelles il nous semble délicat d'évaluer les crues de fréquences rares.

Nous avons tenu compte lors de cette estimation de la distribution des débits maximaux annuels sur l'O. Kebir (228 Km² monographie du Miliane) et de l'application des formules empiriques suivant :

- formule de Turazza (rationnelle)
- formule de Mallet Gautier (algérienne)

Les valeurs trouvées sont :

- période de retour 2 ans : 104 m³/s
- période de retour 5 ans : 210 m³/s
- période de retour 10 ans : 300 m³/s

Notons que les crues de fréquences rares surviennent généralement au cours des mois d'automne (surtout en octobre et novembre).

3.2.1.1.4. OCCURENCE DES CRUES

Les 20 crues observées au cours de ces 5 années de mesure sont insuffisantes pour une étude de répartition des crues dans le temps.

Nous nous baserons cependant sur les valeurs qui seront données dans le paragraphe (333) et sur celles qui suivent pour proposer les chiffres présentés au tableau 28.

Oued Kébit (B.V. Miliane)

Tableau N°27 Occurrence des crues (1933/34 - 1972/73)

Q en m ³ /s	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Année
5-10	5	2	2	5	6		5	5	4	3	4	4	48
10-50	11	12	5	5	2	3	4	6	6	5	2	7	68
50-100	2	0	0	1	1	2	1	1	0	0	0	2	10
100-300	3	3	2	1	2	1	1	1	0	1	0	4	19
> 300	0	3	1	0	2	1	1	0	0	0	0	0	8
Total =	21	20	10	12	13	13	12	13	10	6	6	17	153

Les données constituant ce tableau sont tirées de la monographie de l'O.Miliane.

Tableau N°28

	SEP	OCT.	NOV.	DEC.	JANV.	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUIN	JUIN	AOUT
Crue en %	11.2	13.2	10.0	9.6	9.9	10.8	10.4	8.2	4.6	3.1	2.1	6.9	

Si nous considérerons comme crue celle où le débit moyen journalier est supérieur à 1m³/s, le nombre moyen des crues dans une année hydrologique sera compris entre 3 et 6 crues par an avec une forte probabilité que cela se produise entre Octobre et Mars.

3.2.2. ETUDE HYDROLOGIQUE DE L'O.R'MEL

Comme nous l'avons déjà précisé au paragraphe (31.2), les relevés de hauteurs d'eau disponibles pour ce bassin sont inexploitablement par la méthode habituelle de courbe détalonnage.

Les crues de ce bassin versant se présentent en général sous forme de gonflements brutaux, avec des temps de montée relativement courts en regard de la superficie du bassin versant.

2.2.1. DESCRIPTION DE QUELQUES CRUES

Crue du 14 et 15 Mai 1975

L'hydrogramme a deux pointes séparées de deux heures ($Q_{1\max} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$) et $Q_{2\max} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$). Les temps de montée et de base sont respectivement 2 h 50 minutes et 25 heures.

Crue du 26 Octobre 1976

Cet hydrogramme a comme débit maximum $20 \text{ m}^3/\text{s}$, mais un débit de plus de $15 \text{ m}^3/\text{s}$ a été maintenu pendant 3 h 40'. Les temps de montée et de base sont : 1h45 et 13h.

Crue du 17 et 18 Novembre 1976

La crue ayant une pointe unique ($Q_{\max} = 19 \text{ m}^3/\text{s}$), présente un palier à la montée et une forme assez molle (temps de montée = 12 h). Le temps de base est de 26 heures.

Crue du 19-11-1976

L'hydrogramme présente deux pointes séparées de trois heures. Le premier maximum du débit ($21 \text{ m}^3/\text{s}$) arrive après un temps de montée égal à deux heures. Pendant 5 heures il y a eu un débit supérieur à $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Le temps de base de la crue est égal à 21 heures.

3.2.2.2. ESTIMATION SOMMAIRE DES CRUES EXCEPTIONNELLES

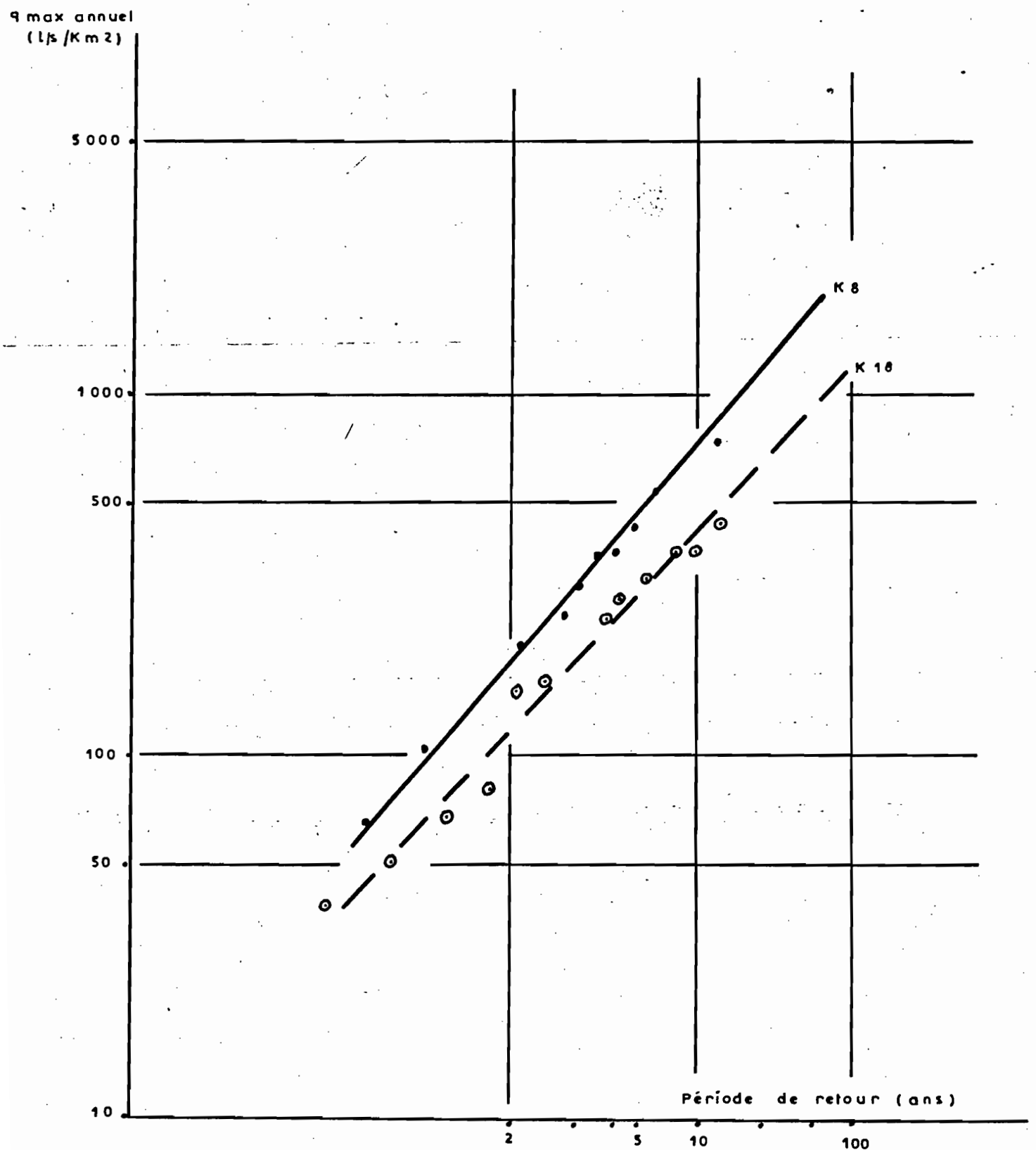
Avec le petit nombre de mesures utilisables et peu sûres, et surtout, avec les fortes irrégularités interannuelles, l'estimation des débits maximaux annuels pour un tel bassin versant est délicate.

Une étude faite sur des bassins limitrophes (20), la comparaison des fréquences de leurs débits spécifiques ($1/\text{s}/\text{Km}^2$) montre que les valeurs trouvées sur les bassins versants assez étendus, sont proches les unes des autres quoique les superficies varient considérablement.

Nous donnons (fig II.44) la distribution des débits spécifiques maximums aux deux affluents suivants de l'O.Miliane.

K_8 : station sur l'O.Hamma, 222 Km^2 , région en majeure partie montagneuse, 50% boisées et 50% des terres cultivées.

Période de retour des débits spécifiques maximaux
 annuels pour les stations
 K8 (222km²) et K18 (1019km²) sur l'Oued MILIANE



K_{18} : station Thuburb-Majus, 1019 Km², 748 Km² sans bassin versant du barrage Kébir.

Les autres bassins versants ont des courbes situées au dessus de celle de K_8 pour les BV les plus petits et au dessous de celle de K_{18} pour les BV les plus grands.

Le débit maximal observé au cours de ces 6 dernières années est voisin de 700 m³/s (crue du 4.11.75 jaugeage au flotteur) soit en débit spécifique 930 l/s/Km² toutes les autres années les débits spécifiques maximaux obtenus sont inférieures à 150 l/s/Km². Nous supposons donc que la distribution des débits maximum à C31 (O.R'mel) serait entre les courbes K_8 et K_{18} . Cet ajustement semble plus réaliste que d'avoir recours aux formules empiriques.

Les débits de base ou d'étiage durent toute l'année mais ils constituent une faible partie des volumes écoulés (10 à 20%). Ces débits constants au cours d'une même saison sont très variables d'une année à l'autre.

La forme ramassée et l'altitude assez élevée avec un terrain peu perméable des versants devrait se manifester par une concentration très rapide des eaux, mais l'existence des zones assez perméables et de faible pente dans les basses altitudes confère à ces derniers un rôle d'amortisseur des crues se traduisant au niveau du barrage par des hydrogrammes peu aigus avec des temps de base assez longs.

3.2.3. CALCUL DES VOLUMES RUISSELES A PARTIR DES PLUIES

JOURNALIERES

3.2.3.1. Généralités

Dans ce paragraphe qui traite des volumes ruisselés sur les bassins des Oueds R'mel et Khairat, il sera donné un bref rappel des facteurs de l'écoulement et des conditions de transformation des précipitations en écoulement pour un bassin versant. La maximisation de l'information sur le ruissellement (débit et volume) est nécessaire dans la majorité des cas puisqu'on ne dispose que de peu de mesures hydrométriques (quelques années ou rien) alors que la masse des observations pluviométriques est généralement importante.

Ainsi pour ces deux bassins on a 70 années de relevés pluviométriques pour 3 stations et un nombre non négligeable de stations à une dizaine d'années d'observations (Cf-chap. pluviométrie) alors qu'on ne dispose que d'une seule station hydrométrique par bassin, depuis peu de temps : 1975 pour O.R'mel et 1974 pour O.Khairat.

Si on ajoute les difficultés que posent l'exploitation d'une station hydrométrique surtout en pays semi-aride, On comprend le grand effort fourni par les hydrologues à la recherche des méthodes susceptibles d'améliorer cette information insuffisante.

3.2.3.1.1. Facteurs de l'écoulement

Le tableau suivant résume les principaux facteurs intervenant pour la genèse des crues avec l'indication de leur degré d'influence (29)

Tableau N° 29 : Facteurs influants sur le ruissellement

Désignation du facteur	épisode pluvi- eux	averses excu- tionnel	struc- ture du BV. surf. pente	réseau de drai- nage. forme densité	orienta- tion et exposi- tion.	nature du sol	couver- ture du sol	na- ture sou
Influence su les crues	XX	XX	X	X	X	XX	X	X

XX : influence importante

X : influence secondaire

Sous ses diverses formes les précipitations jouent le rôle principal dans la formation du ruissellement (condition nécessaire), leur influence est donc génératrice. En second lieu viennent les paramètres physiques en modifiant l'influence du facteur précipitation, leur influence est donc relative et incidente.

Les paramètres climatiques (température, évaporation) peuvent aussi intervenir mais à un degré moindre (état de saturation du sol mis à part). D'autre part les précipitations sont des variables aléatoires dans le temps et dans l'espace de même nature que le ruissellement qu'elles provoquent, alors que les paramètres physiques ne sont que des variables dans l'espace.

Nous noterons que l'état hydrique du sol est fortement lié aux pluies antécédentes à celle qui a donné lieu à un ruissellement.

3.2.3.1.2. Objectif et méthodes

Notre objectif est le suivant : sachant que l'on dispose en une station S d'une chronique de volume de crue V_i sur K années, comment peut-on améliorer cette information en utilisant la chronique des précipitations journalières P_j observées sur le même bassin sur une période $N > K$. Les méthodes employées pour la résolution de tels problèmes peuvent être :

- Stochastique chronologique (DUBREUIL) en considérant la non indépendance des événements journaliers successifs.
- Déterministe constitué par un système : entrée-transformation-sortie

Nous allons développer la première méthode utilisable à cette échelle.

3.2. RAPPEL DE LA METHODE DES DEVIATIONS RESIDUELLES

Comme nous l'avons signalé au paragraphe cidessus, le volume d'une crue V_d est fonction de plusieurs variables.

Pour un bassin donné on peut écrire

$$V_j = f_1 (P_j) + f_2 (P_{j-1}^b, P_{j-2}^c, P_{j-3}^d \dots) + \dots \quad (1)$$

La résolution graphique d'une telle équation est possible si l'on adopte dans chaque polynôme des valeurs simples pour les paramètres après les avoir classés par ordre d'importance décroissante. Le volume de crue que nous allons exprimer en fonction du coefficient du ruissellement K_r , dépend pour un bassin versant déterminé (les paramètres physique sont supposés constants dans le temps).

- de la hauteur totale de la pluie X_1
- de l'intensité de l'averse X_2
- de l'humidité du sol (ou des pluies antécédentes) X_3

L'influence de chacun de ces facteurs est différente selon les cas : - Pour les petites averses l'influence de l'intensité sur le coefficient de ruissellement est plus grande que dans le cas de précipitations élevées.

- Pour des pluies de plus en plus élevées l'influence de l'intensité diminue au profit de celle de l'humidité du sol .

- La hauteur totale de la pluie reste toujours le facteur de première importance

L'équation (1) peut s'écrire alors :

$$V_j = f (X_{1j}) + f (X_{2j}) + f (X_{3j}) + \Delta V_j \quad (2)$$

V_j appelé déviation résiduelle, est du essentiellement à :

- la négligence des autres facteurs
- des erreurs de mesures
- des écarts aléatoires

Le déroulement de la résolution graphique d'une telle équation est le suivant :

a) On porte sur un graphique les couples (V_j, X_{1j}) et on trace une courbe de liaison $f (X_{1j})$ en tenant compte de l'influence de X_{2j} et X_{3j} .

b) Sur un deuxième graphique on porte $\Delta_1 V_j = V_j - f (X_{1j})$ en fonction de X_{2j} , et de la même manière on trace la courbe de liaison entre $\Delta_1 V_j$ et X_{2j} , les écarts sont appelés $\Delta_2 V_j$.

c) Les écarts $\Delta_2 V_j$ seront portés sur un troisième graphique en face de X_{3j} , les écarts résiduels sont celles de l'équation (2). Pour éliminer l'éventualité d'erreur causée par le tracé des courbes on procède à une ou plusieurs autres approximations. Le résultat sera décomposé en 3 courbes.

$$\begin{aligned} V_j &= f (X_{1j}) + \Delta_1 V_j \\ \Delta_1 V_j &= f (X_{2j}) + \Delta_2 V_j \\ \Delta_2 V_j &= f (X_{3j}) + \Delta V_j \end{aligned}$$

La connaissance des variables X_1 , X_2 et X_3 sur une période $n > k$, k étant la période d'observations de V_j , permet l'extension de la série de ces dernières.

Il faut insister sur le caractère fictif des valeurs obtenues. elles ne sont sensées être que des ordres de grandeurs, leur utilisation ne devrait pas donc dépasser cette limite.

3.3.3. Cas 1 : OUED EL KHAIRAT

Nous disposons à une station couvrant 176 Km² d'une vingtaine de couples hyétogramme-hydrogramme obtenues au cours de ces cinq dernières années. Certaines de ces crues correspondent, à une réponse partielle de la surface de bassin versant et d'autres à des crues complexes. Comme nous l'avons déjà remarqué, pour un bassin versant déterminé les facteurs variables (précipitations, humidité du sol, évaporation, ...), ont un effet direct sur le ruissellement, tandis que les facteurs fixes (géomorphologie, hydrographie, géologie, pédologie..) interviennent indirectement.

Les informations pluviographiques sont de même ordre d'importance que les relevés hydrométriques ce qui nous a obligé à ne pas prendre en compte l'intensité malgré son influence très marquée, surtout pour les faibles pluies. Ainsi au cours de ces cinq années d'observations simultanées crue-intensité on a eu un ruissellement pour une précipitation de 6 mm ($K_r = 7,5 \%$), alors que rien n'a été enregistré pour des précipitations d'une vingtaine de mm.

Lorsque le sol est saturé l'influence de l'intensité diminue en faveur de la pluie totale, sur la courbe^{4.6} les points 1 et 20 représentent deux crues de même ordre de grandeur causés par des pluies arrivant sur un sol relativement humide (pluies aux jours qui précèdent) malgré une différence d'intensité très nette.

3.3.1. Estimation de l'état de saturation du sol

L'humidité du sol (surtout en surface) fait partie également des facteurs les plus déterminants du ruissellement, toute chose égale par ailleurs une pluie arrivant sur un sol saturé peut donner 2 à 3 fois plus de ruissellement que si elle arrivait sur le même terrain à sec.

Nous avons enregistré le 10 et le 12 novembre 1978 deux pluies de même ordre d'importance dans le bassin de O.EL Khairat, les intensités ne sont pas très éloignées les unes des autres, nous avons obtenu le 12 un volume ruisselé presque 2,5 fois celui donné par la pluie du 10.

La technique dite de précipitations limites consiste à porter sur un graphique les hauteurs moyennes journalières en année et le temps t_a sans pluies immédiatement avant l'averse considérée en abscisse.

Les points sont notés différemment suivant qu'il s'agit d'un ruissellement important ($Kr \geq 10\%$), d'un ruissellement faible ($Kr < 10\%$) ou d'un ruissellement nul.

La courbe séparant les averses ayant ruisselé des averses n'ayant pas produit de ruissellement définit théoriquement la précipitation limite pour un temps t_a donné ; un temps t_a élevé signifie une période sèche longue.

Nous pouvons dégager les valeurs limitées que doivent atteindre les précipitations pour être suivies d'un ruissellement; sur la figure N°II.4.5 nous avons essayé de tracer cette courbe. Comme les petites crues ne sont pas toujours indiquées par négligence de l'observateur (le limnigraphe ne commence à enregistrer qu'à partir de 1m20). le tracé de cette courbe n'est qu'approximatif. D'ailleurs cette méthode ne fait nullement apparaître l'influence de la hauteur totale de la pluie des jours antérieurs (une pluie de 10 mm le jour j précédé de 20 mm le jour $j-2$ est considérée non différente de la même précipitation arrivant après une pluie de 1 mm le jour $j-2$. Toutefois nous nous permettons avec une certaine réserve de constater que.

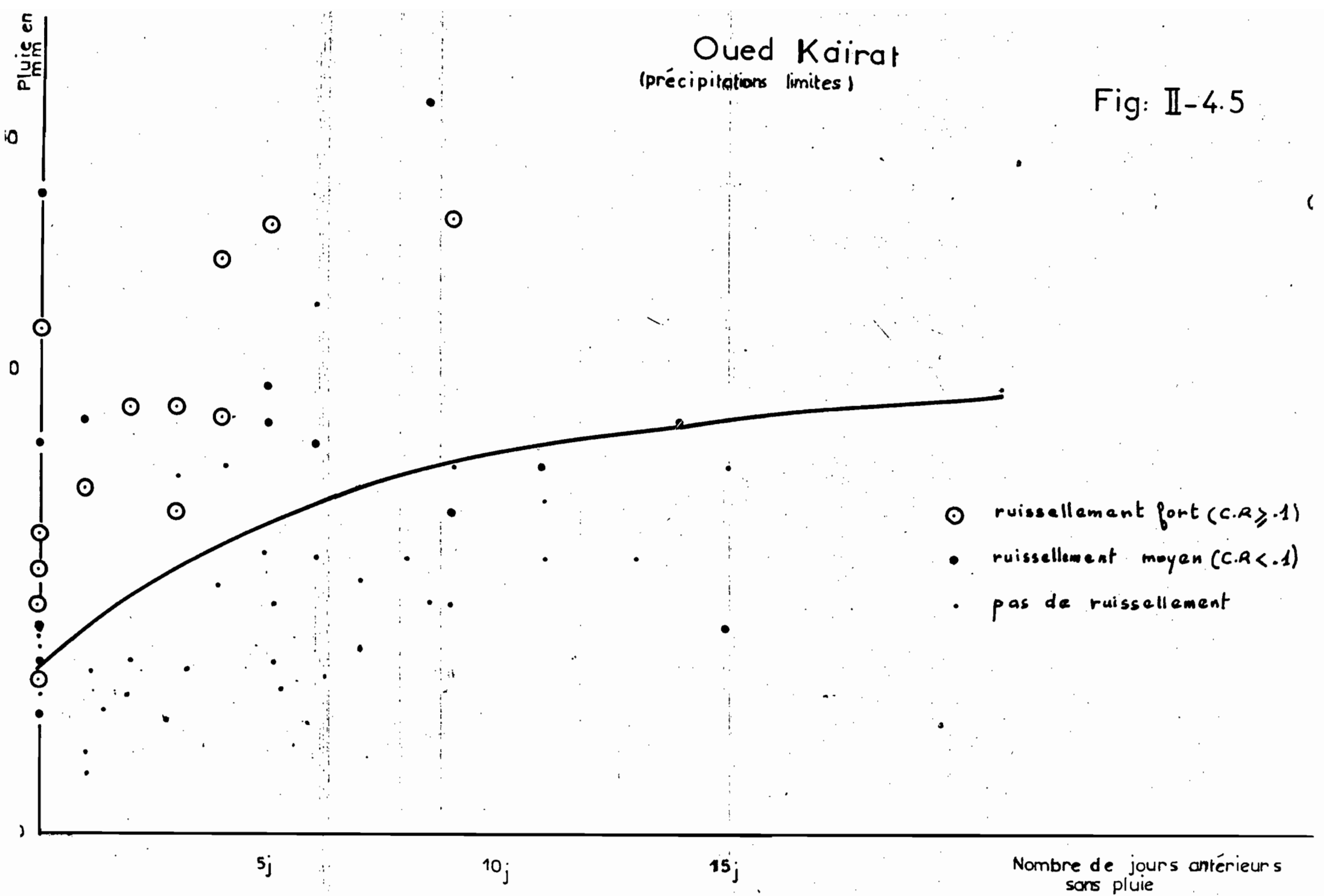
- il y a absence de ruissellement à partir d'un certain seuil.
- ce seuil croit avec l'augmentation du nombre de jours sans pluie. Le tableau suivant illustre ces 2 remarques.

Tableau N° 30

Période antérieure sans pluie en jour	!	0	!	1	!	3	!	5	!	7	!	10	!	15
Pluies limites en mm	!	7.5	!	9	!	11.5	!	13	!	15	!	16.5	!	18

Oued Kairat (précipitations limites)

Fig: II-4.5



3.3.2. Corrélation hydropluviométrique entre les volumes ruisselés et les précipitations journalières

Nous avons essayé plusieurs combinaisons: coefficient de Ruissellement = $f(P_j, \sum_{i=1}^j P_i)$ ($i < -1$) en utilisant la méthode graphique dite de déviation résiduelle, les figures II.4.6.&7) montrent les tracés que l'on obtient après 2 approximations pour la combinaison de variables qui nous a paru la moins mauvaise :

$$K_r = f(P_j) + \Delta K_r$$
$$\Delta K_r = f\left(P_{j-1} + \frac{P_{j-2}}{2}\right)$$

Le diagramme (II-4 8) compare les volumes des crues enregistrés à la station C15 aux valeurs calculées à partir de cette méthode. Les écarts observés peuvent être expliqués par :

- le tracé des hydrogrammes est souvent peu précis par suite d'un blocage du flotteur du limnigraphe, d'une courbe de tarage incertaine et des relevés de hauteurs d'eau aberrants
- la négligence de l'intensité des pluies peut induire en erreur non négligeable surtout en cas de précipitations faibles.
- les pluies moyennes incorrectes (calculées par la méthode arithmétique), l'erreur de date est aussi possible pour le relevé des pluies journalières.
- la non prise en considération des précipitations antérieures de plus de 2 jours peut introduire une incertitude dans l'estimation du coefficient du ruissellement.

3.3.3. Essai de reconstitution des volumes ruisselés à partir de l'information "Pluie journalière".

Les volumes de crue peuvent être déterminés jour par jour au moyen des valeurs des précipitations journalières correspondantes et de la somme P_{j-1} et $\frac{P_{j-2}}{2}$ des pluies antérieures. Le seuil des précipitations limites à été estimé à partir de la courbe (II.4.5.) en fonction du temps en jour sans pluie avant la pluie considérée.

Fig: II-4.6

Oued Kairat

(Coefficient du ruissellement en fonction de la pluviométrie journalière)

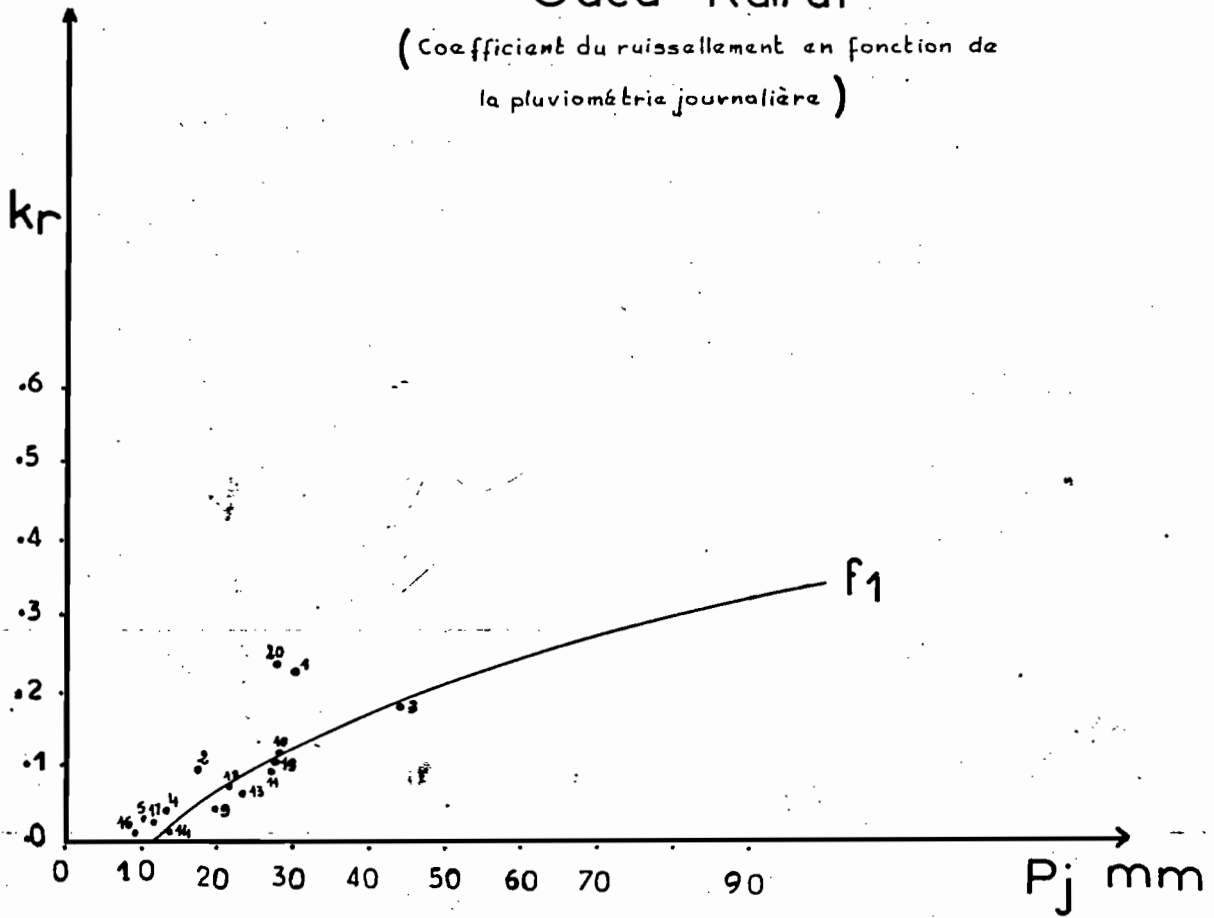
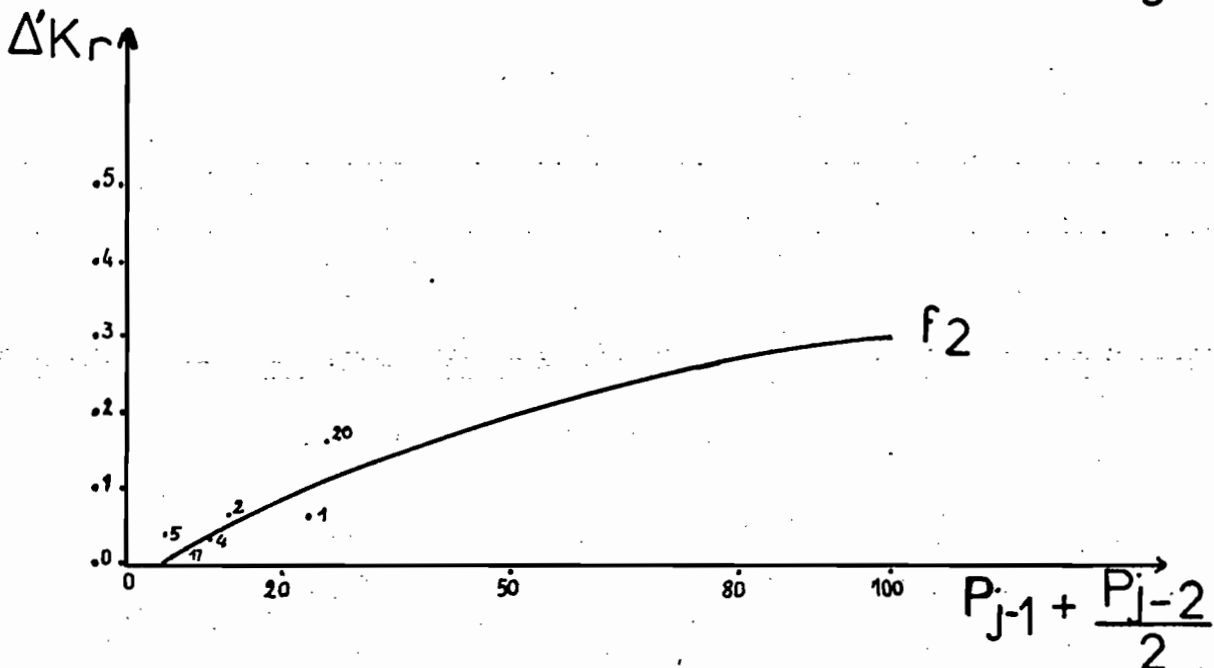


Fig: II- 4.7



$$k_{rj} = f_1(P_j) + f_2\left(P_{j-1} + \frac{P_{j-2}}{2}\right)$$

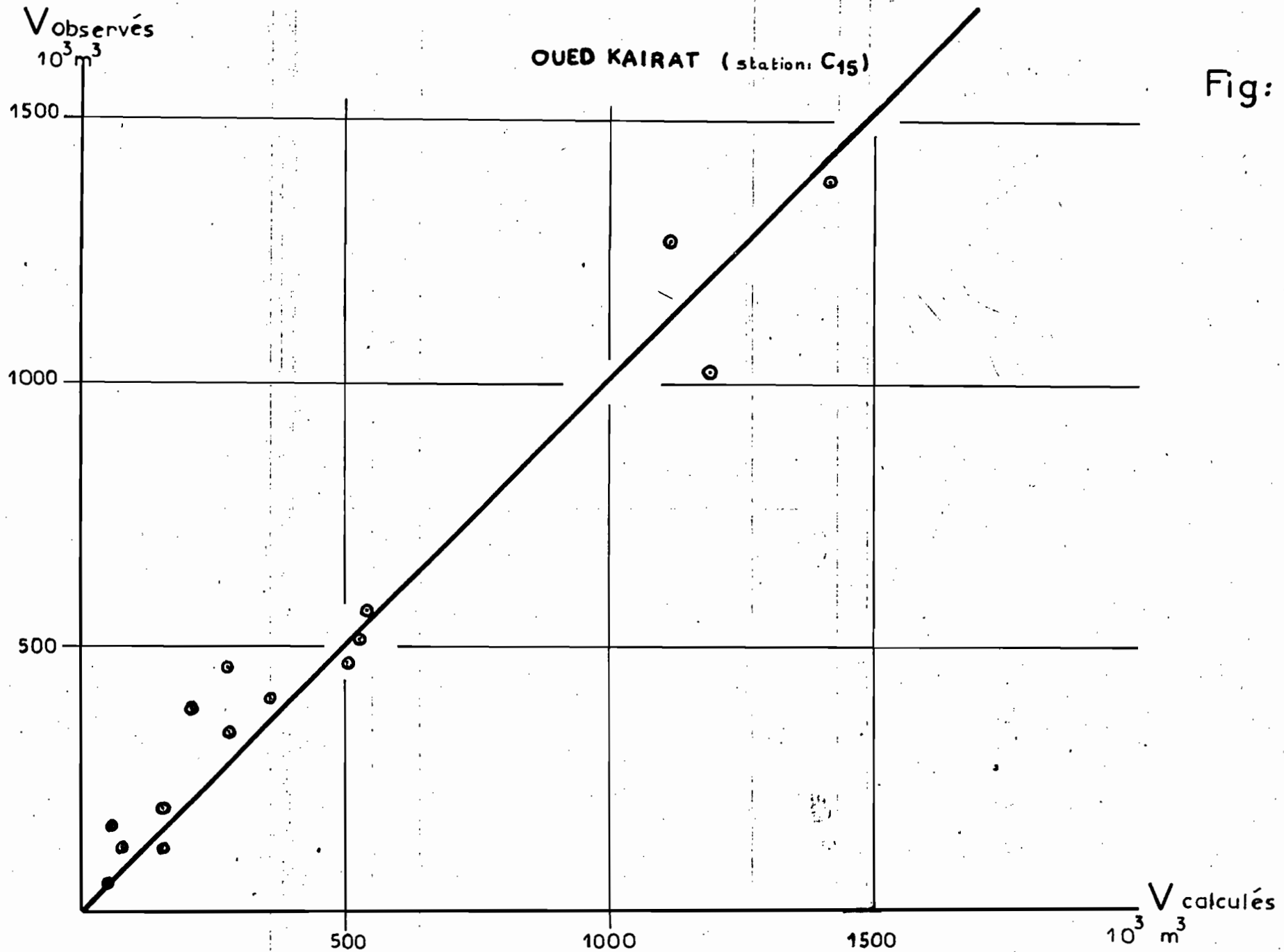


Fig: II- 4.8

Ce calcul a été mené pour 46 ans, période pendant laquelle nous disposons d'une série de pluviométrie journalière complète aux 2 stations de Zaghouan TPSM et Enfida SM.

Tableau 31 Volumes de crues passant à la station C15 (total/mois).

classe des Volumes $10^3 m^3$	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
101-200	4	4	4	3	1	6	5	4	1	0	0	2	34
201-300	2	2	1	1	2	3	2	2	2	1	0	1	19
301-400	1	0	1	2	2	1	3	1	1	3	0	0	15
401-500	2	3	2	2	2	3	0	0	2	1	1	1	19
501-750	1	1	0	0	2	1	1	2	2	1	0	1	12
751-000	1	1	1	1	0	2	2	0	0	0	0	0	8
1001-1500	2	5	1	3	4	2	6	1	0	0	0	1	25
1501-2000	0	0	2	0	2	0	2	1	0	0	0	1	8
2001-2500	0	2	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	11
2500-3000	1	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	5
3001-4000	1	3	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	8
4001-5000	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5
>5000	0	1	2	5	0	0	0	1	0	0	0	0	9
Total =	17	24	19	18	20	23	22	14	8	6	1	7	178

Tableau n° 32. Volumes calculés (nombre de jours de crue)

Volume calculé en 10 ³ m ³ .	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
100	5	8	6	9	9	2	6	2				
101 - 200	4	7	10	6	4	12	11	4	1	0	0	3
201 - 300	5	3	3	2	4	5	4	4	2	2	0	1
301- 400	3	0	2	3	2	5	6	3	1	4	0	1
401 - 500	3	3	3	1	4	1	1	4	2	1	0	1
501- 700	4	5	2	4	5	4	4	2	2	0	1	0
701 - 900	1	2	1	2	3	2	5	0	0	0	0	0
901 - 1100	0	2	2	3	3	2	1	0	0	0	0	0
1101-1300	1	5	1	2	2	2	1	0	0	0	0	0
1301-1500	0	1	0	2	0	1	1	2	0	0	0	1
1500-1750	0	2	3	0	1	1	2	2	0	0	0	0
1750-2000	1	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1
2001-2500	2	5	2	0	1	1	0	2	0	0	0	0
2501-3000	1	1	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0
3001-3500	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
3501-4000	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0
> 4000	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0

Contribution des volumes de crues mensuels aux totaux annuels

Nous allons nous intéresser à la distribution des totaux des volumes de crue mensuels dépassant certaines valeurs seuil. Pour cela nous considérons pour chaque mois de l'année agricole le nombre d'années au cours desquelles nous enregistrons un volume de crue supérieur aux volumes seuil (tableau n°33).

Tableau 33. Fréquence d'apparition des volumes de crues à la station C25 (176 km²)
(N = 46 ans)

Volume en 10 ³ m ³	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	juin	Juit.	Aout
> 100	.359	.511	.402	.380	.424	.489	.467	.293	.163	M .120	.011	.014
> 200	.272	.424	.315	.315	.402	.359	.359	.207	.141	.120	.011	.098
> 300	.228	.380	.293	.293	.359	.293	.315	.163	.098	.098	.011	.078
> 400	.207	.380	.250	.250	.315	.272	.250	.141	.076	.033	.011	.078
> 500	.163	.315	.228	.207	.272	.207	.250	.141	.033	.011	-	.054
>> 750	.141	.293	.228	.207	.228	.185	.228	.098	-	-	-	.033
>> 1000	.120	.272	.185	.185	.228	.141	.185	.098	-	-	-	.033
> 1500	.076	.163	.163	.120	.141	.098	.054	.076	-	-	-	.011
> 2000	.076	.163	.120	.120	.098	.098	.011	.054	-	-	-	-
> 2500	.033	.120	.076	.120	.033	.098	.011	.011	-	-	-	-
> 3000	.011	.120	.076	.098	.033	.033	.011	.011	-	-	-	-
> 4000	-	.054	.076	.098	-	.011	-	.011	-	-	-	-
> 5000	-	.011	.033	.098	-	-	-	.011	-	-	-	-

1. Volume de seuil

Le tableau(33) définit les fréquences d'apparition de volumes suivant le mois considéré.

Il ressort de l'examen des tableaux cités cidessus que :

- Pour les mois de l'automne nous enregistrons les plus fortes fréquences d'apparition des volumes de crues supérieurs aux volumes seuils.

Avant la fin du mois de novembre, il se produit une année sur 2 un ruissellement apportant plus de 15 millions de m³ et une année sur 5 un volume supérieur à 3 millions de m³.

- Après le 30 Avril il se produit très peu de crues. Les rares événements produits sont de faible importance.
- La période allant de Décembre au 30 Avril est caractérisée par des crues très fréquentes mais peu violentes. Entre début Mars et fin Avril, période très critique pour la réussite d'une culture de céréales, on pourrait avoir une année sur 2 un volume ruisselé supérieur à $300 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ et une année sur 4 un volume supérieur à 1 million de m³.

Le choix du seuil minimal de 100.000 m³ est arbitraire, pour les faibles crues l'influence de l'intensité de la pluie est dominante ; et comme le modèle adopté pour la reconstitution des volumes ruisselés néglige ce facteur, nous nous sommes limités à ce seuil afin de rester dans une limite de précision assez raisonnable.

D'ailleurs les crues apportant un volume inférieur à ce seuil sont peu intéressantes pour un aménagement d'épandage en raison des faibles débits, faibles débits ne permettant pas un fonctionnement normal du réseau et se perdent en grande partie dans les canaux (par infiltration) avant d'arriver sur la parcelle.

3.4.3. Cas 2 Oued R'mel

3.3.4.1. Etude du coefficient de ruissellement

Les caractéristiques physiques de ce bassin sont très hétérogènes (cf.chap.1), l'effet du relief sur le ruissellement est généralement compensé par de larges dépressions relativement

plates. La contribution des différents sous bassins au ruissellement total de l'Oued R'mel est peu connue.

En étiage trois affluents (Oueds, Hamma, Sebahia et Zit) apportent plus de 80% de l'écoulement de base à la station C31. Les difficultés posées par l'exploitation de cette dernière station nous a poussé à adopter les résultats trouvés pour des bassins limitrophes (Oued Miliane). La courbe II.4.10. tracée pour trois bassins de superficies respectives 1419, 1019 et 222 Km² est approximativement la même (coefficient du ruissellement en fonction de la pluie moyenne et de l'humidité du sol).

Malgré les différences de situation et d'exposition et une hétérogénéité de la couverture végétale et du substratum, il n'y a pas de différence très marquée du coefficient de ruissellement à ces stations.

Faute de mieux, nous avons utilisé ces résultats pour l'estimation du coefficient de ruissellement de l'Oued R'mel en sachant préalablement qu'en plus d'un ajustement assez approximatif, l'influence de l'intensité (très importante surtout pour les faibles pluies) n'a pas été prise en considération.

3.3.4.2. Estimation des volumes ruisselés à partir des pluies moyennes journalières sur le bassin

Nous disposons à l'ancienne station hydrométrique de l'Oued R'mel (C2 : 755 Km²) de quelques années de jaugeages des débits d'étiage. La station qui était équipée d'un limnigraphe n'avait pas un dispositif de jaugeage des crues (à l'exception d'un nombre très limité de jaugeages faits au flotteur) mais la date des crues est heureusement relevée par l'observateur au cours de toute cette période.

Le volume de ces crues est calculé jour par jour au moyen des pluies moyennes journalières et du coefficient de ruissellement. L'estimation de ce dernier est obtenue à partir...

- des pluies journalières antérieures à la crue
- de l'intensité de l'évaporation journalière

Le tableau N° 34 présente les résultats obtenus pour 4 années pour lesquelles la date de réalisation des crues est connue.

Coefficient de ruissellement en fonction de la pluie moyenne et de l'humidité du sol (pour le bassin de Miliane. Stations K_4 , K_{18} et K_8)

Fig: II-4.1G

$K_r(\%)$

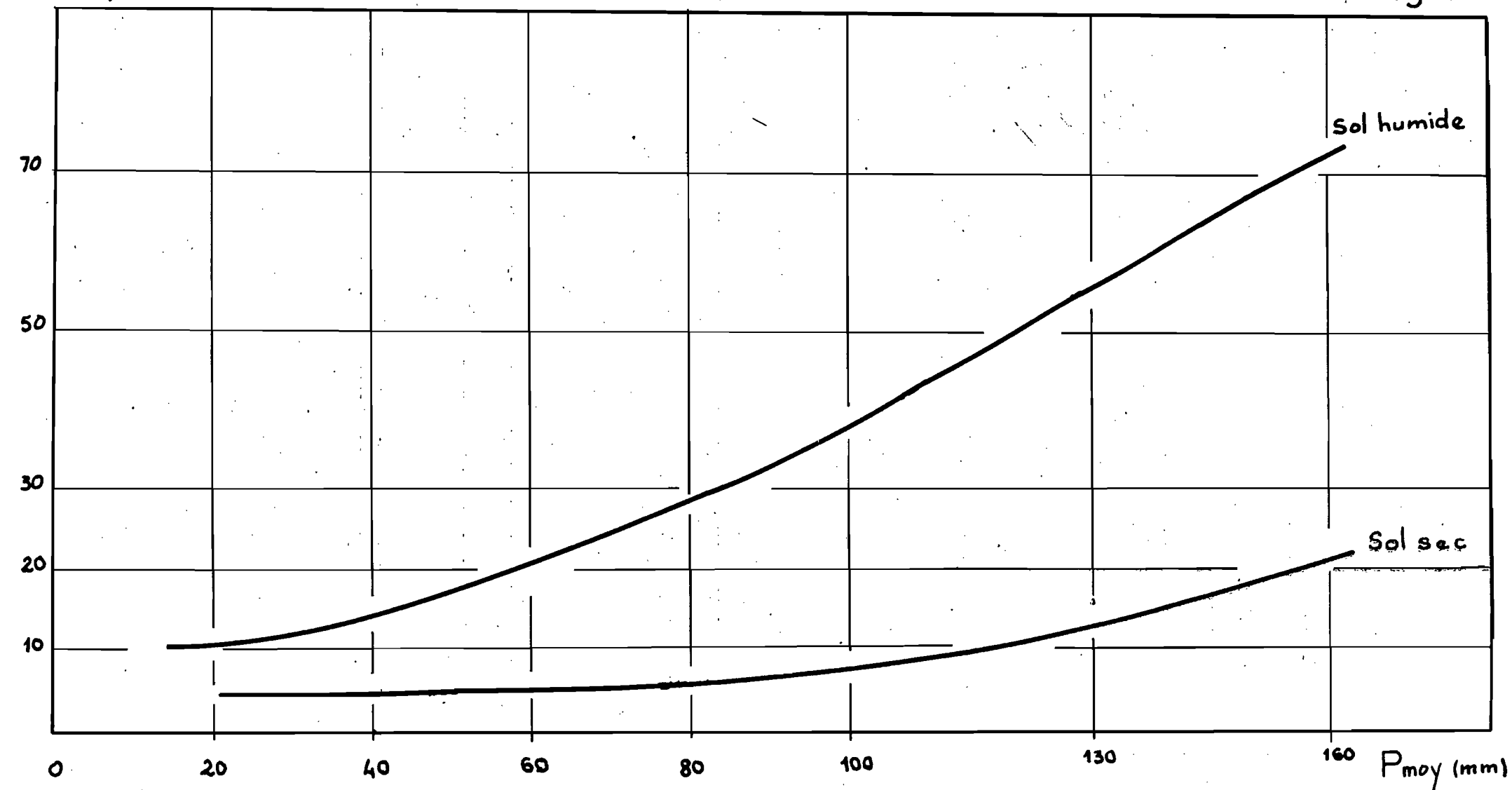


Tableau 34 : Débits moyens et volume total mensuel au niveau du barrage.

	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avl	Mai	Juin	Juit	Aout	Année	
66-67	Q_m^3/s	,044	,511	,093	,680	,480	,516	,040	,042	,038	,036	,036	0,034	,212
	$V_T(10^3m^3)$	114	1369	241	1821	1161	1248	108	109	102	93	96	91	6701
67-68	Q_m	,857	.038	3.20	.08	.642	.235	.38	.187	.24	.155	.018	.016	.505
	V_T	2221	102	8294	214	1720	568	1018	485	640	402	48	43	15 895
69-70	Q_m	.334	20.5	.377	.484	.212	.132	.163	.097	.063	.042	.032	.030	1.905
	V_T	866	54910	980	1296	568	319	437	259	169	110	86	80	600 71
70-71	Q_m	.600	.070	.039	1.862	.901	5.204	1.1	.427	.214	.177	.098	.060	.896
	V_T	1555	188	101	49487	2413	12590	2946	1100	573	459	262	161	28 256

Le régime hydrologique du R'mel est totalement lié à la distribution des pluies (génératrices des crues). Cette distribution étant très irrégulière (cf chap.2), ne permet pas l'utilisation de la notion de la moyenne pour les volumes écoulés en un mois donné.

D'ailleurs même à l'échelle annuelle son utilisation ne se justifie pas.

La majorité des apports se font au cours des crues (80 à 90% de l'apport total) et l'influence que peut avoir une seule crue exceptionnelle dans un échantillon réduit est considérable (tableau 35).

Tableau N° 35 : Nombre de crues observées au cours des 4 années et volume estimé de la crue maximale au cours de cette période.

	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avl	Mai	Juin	Juit	Aout	Année
Nbre de crues observée en 4 ans	6	7	3	6	3	5	3	1	1	1	0	0	36
Vlme de la crue max observée en 4 ans. $10^3 m^3$	1380	25900	8120	6650	2160	10900	780	370	570	330	0	0	259.00

dont 5 crues en 1969

nous avons appelé crue celle qui donne un débit moyen journalier supérieur à 1 m³/s.

Le nombre de crues par an est voisin de 8 avec une répartition très irrégulière.

En 1969-70 la moitié des crues de l'année ont eu lieu en octobre. Les crues les plus violentes se produisent généralement en automne (forte intensité de pluie associée à des sols nus).

Les mois de printemps sont caractérisés par des crues moins violentes et un temps de ruissellement plus long.

3.4.- Transport solide

3.4.1. MATIERE EN SUSPENSION

Le nombre limité de mesures dont on dispose, presque toujours effectuées en temps de décrue, ne permet que des conclusions approximatives.

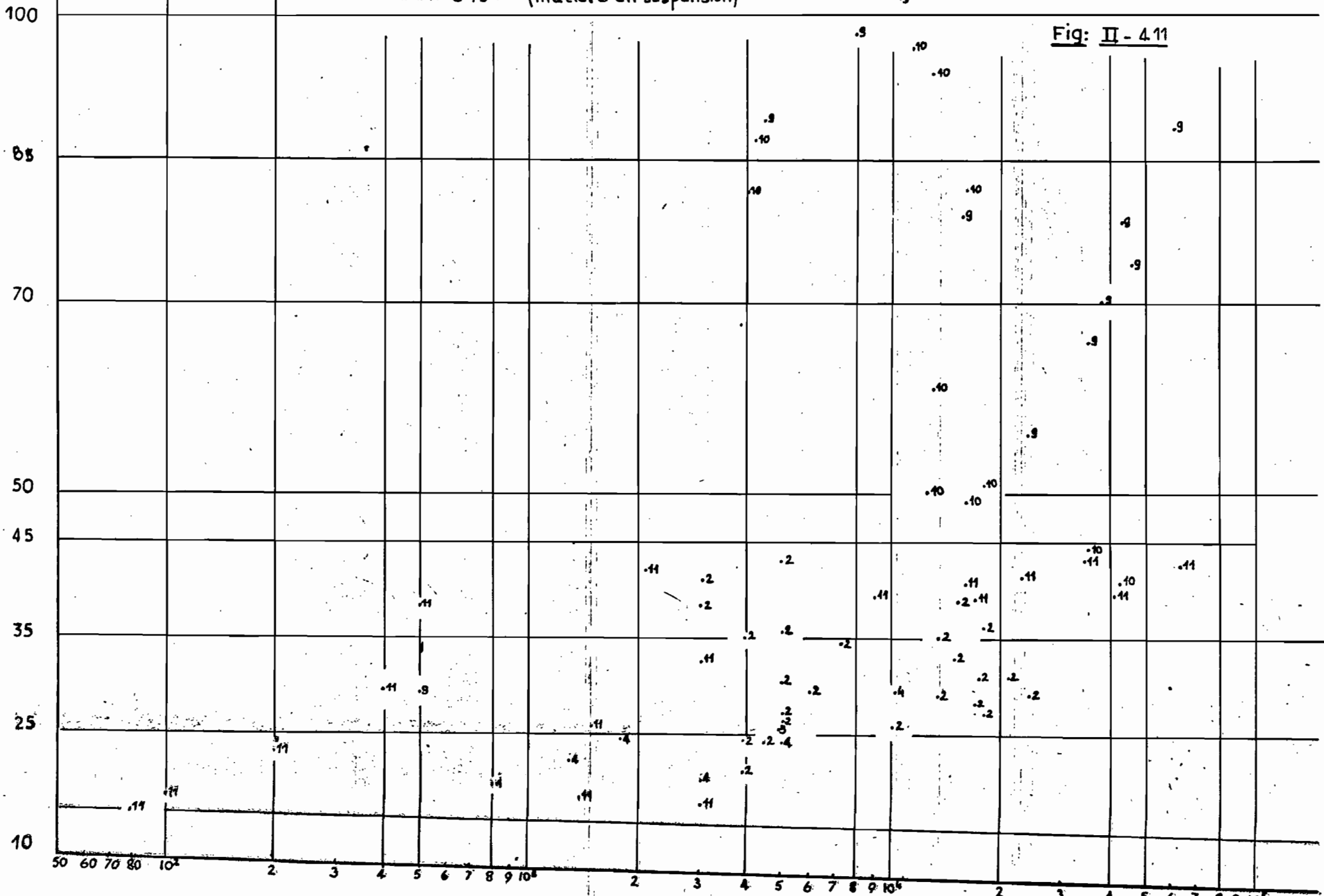
Avec ces résultats nous avons essayé de voir s'il existait une corrélation débit (l/s) - matières en suspension (g/l) (fig II.4.11) chaque point de mesure est désigné par le numéro du mois au cours duquel s'est effectuée la mesure

Nous pouvons remarquer à partir de ce graphique que :

- Les fortes concentrations en matière de suspension sont observées au mois d'automne (Sep, Oct. et Novembre) période au cours de laquelle le sol a un faible taux de couverture végétale. Cette concentration diminue très nettement au printemps surtout où la végétation est abondante.
- Le transport solide (en concentration) augmente proportionnellement au débit jusqu'à une certaine limite, puis il diminue au fur et à mesure que le débit dépasse cette limite.
- Au cours d'une crue la concentration en matière solide a tendance à suivre la variation du débit avec un certain décalage. L'exploitation de telles données pour l'estimation quantitative du transport solide est pour le moment impossible du fait, de la forte dépendance des concentrations des matières en suspension et de l'hydrogramme de la crue correspondante, de sa variation avec les saisons, des mesures, très espacées et du manque d'observations pendant les crues.

OUED KHAI RAT C 15 : (matière en suspension)

Fig: II - 4.11



3.4.2. LA SEDIMENTATION DANS QUELQUES BARRAGES RESERVOIR PROCHES

Tableau N°36 Sédimentation dans les retenues de quelques barrages en Tunisie (1)

Nom du Barrage	Mellègue	Nebhang	Masri	Lakhmes
Surface du BV(Km ²)	10300	855	40	131
Date de la mise en service	Avril 54	Avril 65	Fév.1968	Avril 1966
Volume total de la retenue (10 ⁶ m ³)	268	86.4	6.82	8.00
Volume de sédiments déposés(10 ⁶ m ³)(Août 75)	47.6	12.9	1.32	2.01
Apports liquides moyen 10 ⁶ m ³	188	41.4	2.86	4.15
Apport Solide(moy. annuel) 10 ⁶ m ³	5.94	1.64	0.202	0.313
Apport solide(moy. annuel 10 ⁶ t	7.13	1.97	0.242	0.375
Erosion spécifique t/Km ² /an	6.95	2.300	6.050	2.865
Charge moyen.ds. apports liquides(en g/l)	38	47.5	8.5	5.3

(1) Tableau tiré de: Mesures de l'envasement dans les retenues de Six barrages en Tunisie (Campagne de 1975).

(O.R.S.T.O.M.)

Pour le barrage de Kébir (272 Km²), mis en service en 1925 le comblement est de l'ordre de 0,3 10⁶ m³/an pour un volume ruisselé annuel de 15 10⁶ m³/an. Soit, pour une densité sèche de 1,5 g/cm³ (57) une charge moyenne des apports liquides voisine de 30 g/l.

La charge moyenne des eaux de crue varie (aux erreurs de mesures et d'estimation près) du simple au triple. En effet outre l'influence, de la taille du BV, de l'exposition du relief, de la nature du sol et du couvert végétal nous remarquerons l'influence de la date de mise en service de ces barrages; Les barrages recents ont connu des épisodes pluvieux exceptionnels (automne 1969 et printemps 1973) qui ont contribué à augmenter fortement les valeurs moyennes calculées sur des périodes de fonctionnement bien inférieures aux périodes de retours

probables de tels épisodes (57).

3.4.3. CONCLUSION SUR LE TRANSPORT SOLIDE DANS CES DEUX BV.

La lithologie généralement très favorable à l'érosion (calcaire, marnocalcaire, marnes, limono-sableuse) associée à des pentes assez fortes laisse supposer une érosion hydrique importante. Le chiffre estimé pour l'O. Kébir (30 g/l) devrait être sous-estimé puisqu'on n'a pas pris compte des sédiments évacués par les lachures, déversement ou exploitation de la réserve. Celui trouvé pour l'O. Masri est le plus élevé, il peut être expliqué par la taille réduite du BV. (40 Km²) et surtout par une pente très forte des versants et des lits. Nous pourrions donc estimer la concentration des eaux en sédiments au niveau du barrage à 40 g/l en tenant compte des considérations citées ci-dessus et du fait d'existence de peu de zones à faibles pentes qui pourraient jouer le rôle de tampon.

Pour l'Oued R'mel par contre, la présence de vastes zones à assez faibles pentes des sommets plus hauts mais plus couverts et l'existence de zones peu favorables à l'érosion (grès peu ou non calcaire de l'O. Zit et O. Melah), nous permet de conserver la valeur trouvée par l'Oued Kébir pour l'estimation des transports solides dans ce bassin.

C H A P I T R E . I V

ETUDE DES PERIMETRES D'EPANDAGE

4.1. DESCRIPTION ET ANALYSE DE LA SITUATION ACTUELLE DES PERIMETRES DES OUEDS R'MEL ET KHAIRAT.

4.1.1. Généralités :

La région concernée est l'objet depuis longtemps de travaux hydrauliques; les innombrables vestiges d'ouvrages hydrauliques qui existent encore montrent qu'il y a eu à une époque une mobilisation, quasiment totale, des ressources en eau jamais connue depuis.

Pourtant les ressources en eaux sont loin d'être suffisantes, en effet la pluviosité moyenne annuelle, comprise entre 350 et 500 mm avec une répartition très irrégulière dans l'année et une fréquente forte intensité, ne crée pas des conditions très favorables à l'agriculture.

Un début d'effort d'équipement a été entrepris vers les années 60; malheureusement cet effort ne s'est pas prolongé du fait des résultats décevants des quelques ouvrages déjà implantés.

Ces périmètres, situés dans une région déjà plus favorisée pour les pluies, utilisent les eaux des impluvium moyens (215 Km² et 750 m²) mais relativement arrosés (400 mm).

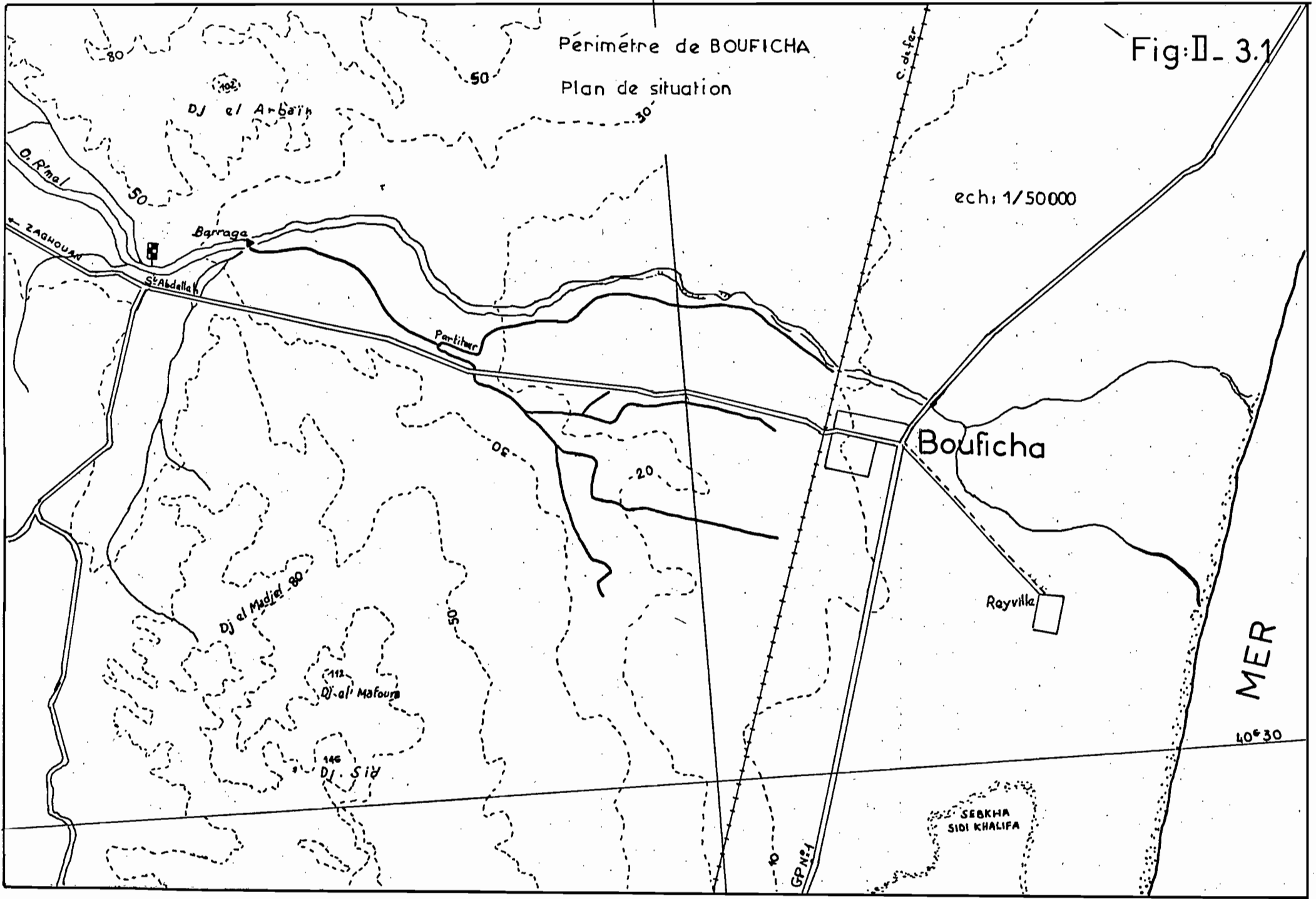
4.1.2. Les périmètres et les ouvrages hydroagricoles existants

4.1.2.1. Périmètre de BOUFICHA

4.1.2.1.1. Etude du périmètre

Le périmètre mis en valeur est situé dans la plaine de Bouficha sur la rive droite de Oued. R'mel.

Le périmètre affecte sensiblement la forme d'un triangle limité (fig II.3.1.);



Périmètre de BOUFICHA
Plan de situation

Fig: II - 3.1

ech: 1/50000

- au Nord par l'Oued R'mel (Errbia)
- à l'Ouest par le Djebel Zab
- à l'Est par la route Tunis-Sousse (GP1)
- au Sud par le Henthir Adloul

Ce périmètre s'étend sur une superficie d'environ 750 ha dont plus de 100 ha (au Sud) sont des sols très proches d'une nappe très salée.

L'hydrologie de l'Oued R'mel a été déjà étudiée dans le chapitre précédent mais nous remarquerons qu'en période de grosses crues, l'Oued déborde et inonde la partie basse du périmètre (en particulier près de la Gare) des digues de protection ont été construites sur la rive droite de l'Oued et en amont de la voie ferrée.

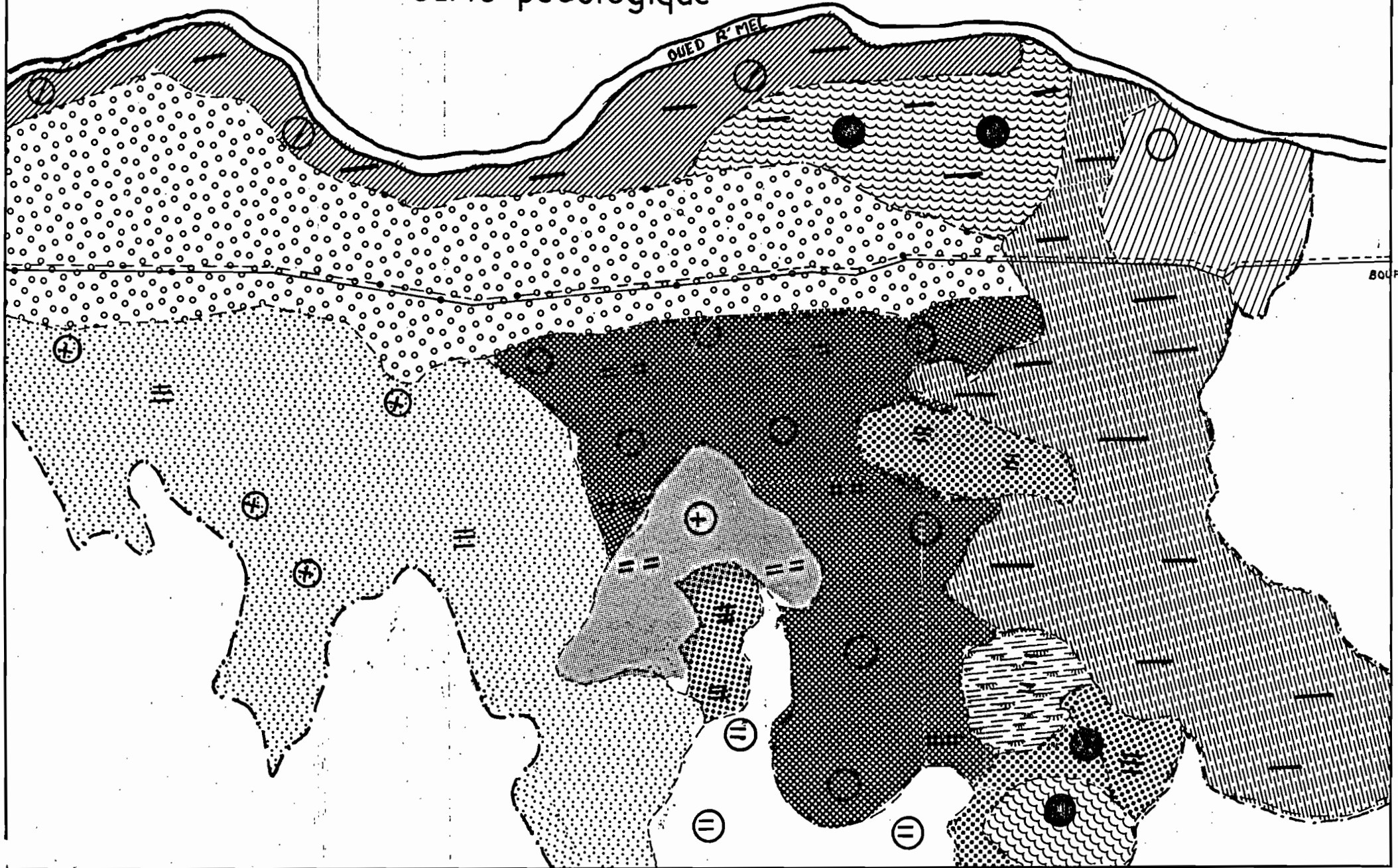
Nature des sols et leurs vocation agronomique (figII.3.2.)

Nous empruntons ce qui suit du rapport pédologique de M.HERNOT (carte au 1/50.000) et à l'étude de M.HAMZA (carte au 1/25.000) M.HERNOT classe ces terrains en quatre catégories.

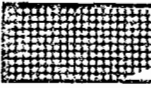








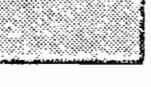
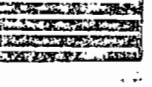
- Les terres fortes : ces terres très argileuses s'étendent entre l'Oued R'mel et la route CP 35. ce sont des terres à vocation céréalière Certaines zones, très restreintes en superficie, ont un sous sol sableux et peuvent être considérées comme plantables.
- Les terres moyennes : ces terres sont situées dans la partie Sud de la GP 35.
- Les terres légères : Elles sont situées à l'Ouest du périmètre au pied des djebels et sont considérées comme les meilleures terres plantables de la région.
- Les terres salées : à peu près 100 ha situées au Sud du périmètre sont très salées.

Périmètre de Bouficha
carte pédologique





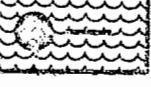


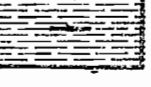

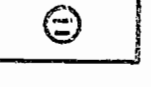
ech:1/25000



légende de la figure II_3.3

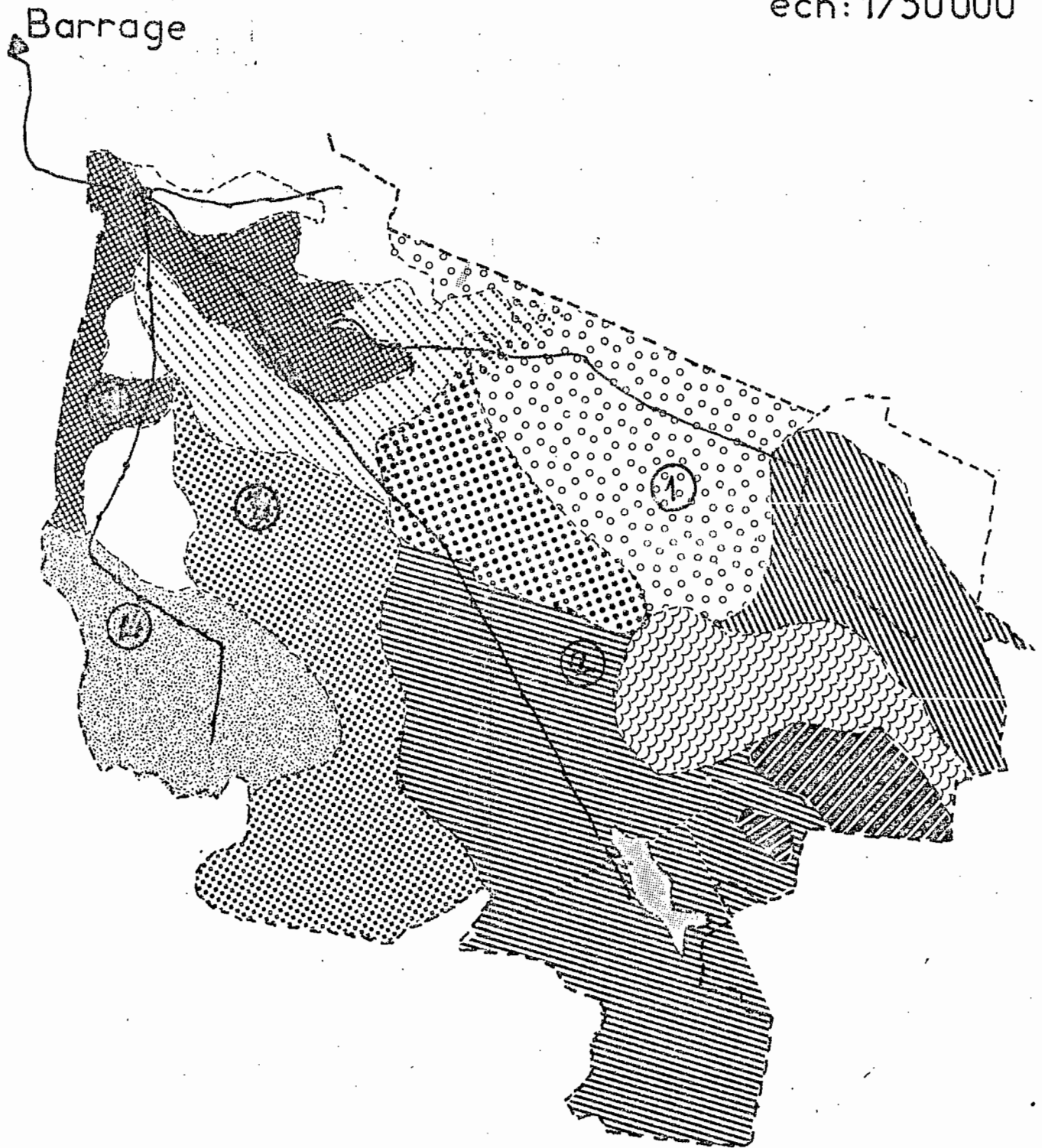
-  Sols sableux (sable fin)
-  Sols sablo-limoneux trisifié
-  Sols limono-sableux avec couches à nodules calcaires (sols jeune éolien et colluvion)
-  Sols limono-argileux enterrés généralement trisifié
-  Sols sableux
-  Sol jeune alluvial, limono-argileux légèrement chloruré
-  Sol à texture moyenne, avec couches à nodules calcaires trisifiés.
-  Sol limono-argileux à texture fine
-  Sols limono-argileux
-  Sol à texture grossière (sablo-limoneux)
-  Sols argileux

légende de la figure II_3.2

-  Alluvions à texture moyenne sur tout le profil, d'ép sableux alternants avec les dépôts limono-argileux
-  Sols argilo-limoneux assez sableux sur croûte calcaire dure et assez profonde (50 à 60 cm) Sols formés sur croûte démantelée, affleurante.
-  Alluvions hydromorphes et salées en profondeur
-  Alluvions argilo-limoneux salées en profondeur
-  Sols argilo-limoneux profonds avec présence de nodules calcaires.
-  Alluvions salées, nappe profonde (1m à 1m50)
-  Alcalisation due à la remontée de la nappe ou à l'engorgement du sol par les eaux des oueds (nappe peu profonde)
-  Sols argilo-limoneux assez sableux sur croûte calcaire affleurante.
-  Sol argilo-limoneux assez sableux sur croûte calcaire dure assez profonde (50 à 60cm)
-  Alcalisation (nappe peu profonde)

Périmètre de Oued Khairat
carte pédologique

éch: 1/50000



4.1.2.1.2. Description des aménagements existants

Le projet a été fait en deux étapes: la première réalisée en 1948, fût la construction d'un barrage déversoir pour contrôler l'eau à l'entrée de la plaine, puis en 1957 le réseau d'irrigation par épandage à été complété sur la rive droite.

Les terres au moment de la réalisation étaient aux mains de colons qui s'organisaient sous forme d'association pour entretenir les ouvrages.

Une petite enquête auprès de certains agriculteurs a révélé que le réseau a bien fonctionné au cours de cette période en donnant des rendements corrects (15 à 20 qx/ha).

Au lendemain de la répartition des terres en petits lots il y a eu un abandon de l'entretien et l'aménagement commence à être oublié par les nouveaux propriétaires. Après le rétablissement du barrage en 1976 (car il fût détruit en 1973) l'AIC est réactivée par la création de la nouvelle délégation mais à notre avis cette réactivation fût un peu tardive (voir parag. analyse de la situation actuelle) et ne peut remédier toute seule à la situation.

Le Barrage :

Du type seuil déversant (en béton couvert de pierre) ayant une hauteur de 4 m80 et une longueur de 80 m a été démoli en 1973 sur 38 m puis reconstruit en 1976.

24 prises de fond (Ø 400) sont destinées à laisser passer les basses eaux qui sont de qualité médiocre et inutilisables pour l'agriculture. De part et d'autre du barrage sont aménagées des prises dont seules celles de rive droite, sont munies de vannes et d'un réseau de distribution.

Un fossé de dégrèvement juste en amont des prises se termine à son extrémité par une vanne.

A l'aval de la prise rive droite se trouve le canal principal sur lequel est construit un déversoir de sécurité; ce canal se divise en deux canaux principaux:

- canal principal N°1 au Nord
- canal principal N°2 au Sud

Le canal N°2 donne naissance à 3 canaux secondaires puis un réseau de canaux tertiaires couvrent tout le périmètre, muni de prises à vannettes.

4.1.2.1.3. Fonctionnement hydraulique

1.2.3.1. Déversoir de sécurité

Le rôle du déversoir de sécurité est, en cas de fortes crues de maintenir à son aval un maximum de débit (théoriquement 24,500 m³/s). En effet pour une hauteur d'eau sur la crête du barrage de 0.6 m le débit des prises (toutes ouvertes) est de l'ordre de 22 m³/s. et pour une hauteur d'eau de 3 m est de l'ordre de 50 m³/s, soit une hauteur d'eau dans le canal voisine de 1 m²⁰.

4.1.2.1.4. Principe de répartition des débits

Le réseau est tracé de manière à ce que l'agriculteur puisse refuser l'eau sans pour autant faire déborder le canal à l'aval de la prise. Il a donc été admis que chaque canal doit pouvoir débiter à son extrémité aval le tiers du débit qu'il peut porter à son origine. Les prises sont calculées pour desservir un débit de 25l/s/ha.

Les eaux éventuellement refusées sont évacuées à l'aval du périmètre par un réseau de colatures.

La zone Sud du périmètre a la forme d'une cuvette, l'écoulement à l'aval est freiné par la voie ferrée sous laquelle sont construits des ponceaux insuffisants. Il en est résulté une remontée de la nappe phréatique qui a apporté des sels en surface, un réseau de drainage a été prévu pour cette partie couvrant une centaine d'hectares.

4.1.2.2. PERIMETRE D'ENFIDA

4.1.2.2.1. Etude du périmètre

Situation : Le deuxième périmètre faisant l'objet de la présente étude est situé au Sud Ouest d'ENFIDA.

Bordé au nord par Oued Khairat, à l'Ouest par le satour El Gorbila (courbe de niveau 46). Au Sud par l'Oued Mejinine et à l'Est par la voie ferrée de Tunis Sousse. Ce périmètre est traversé par la GP 2 du Nord Ouest au Sud Est a une surface irrigable de 3200 ha dont 400 ha de plantations arboricoles.

- Historiques

Ce périmètre faisant partie de domaines d'enfida a une très riche histoire mais qui sort du cadre de ce rapport. En effet vers les années 1860 il faisait partie des terres "vendues" à la Société franco-Africaine et est resté propriété de cette société jusqu'à 1954 56 époque à laquelle l'état a acheté ces terres et a créé l'Office d'Enfida. En 1962 le barrage de dérivation des eaux de crue est mis en service et en 1970 il y a eu attribution de ces terres aux agriculteurs le lotissement définitif a eu lieu en 1975.

Nature des sols et vocation agronomiques (carte de la fig II.3.3.)

Zones à céréales :

La majorité des terres sont constituées par des limons argileux très fins homogènes avec quelques parcelles à textures plus complexes.

Zones arbustives :

Sols limoneux à texture moyenne sur une faible surface et grossière à prédominance de sable fin dans le reste, pour ces sols des encroutements entre 40 et 60 cm sont fréquents.

Nous ajouterons que l'exploitation irrationnelle du périmètre depuis de nombreuses années a appauvri le sol en matières organiques.

Etude de la perméabilité :

Nous avons procédé à une campagne de mesure de perméabilité par la méthode Porchet en choisissant au préalable les sites de mesures selon les unités du sol prépondérantes dans le périmètre.

La vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol (où improprement coefficient de perméabilité) est une propriété de grande importance pour l'irrigation qui peut s'exprimer par le temps qu'il faut à une certaine hauteur d'eau pour pénétrer dans le sol.

On suppose souvent que la loi de Darcy est applicable.
En appliquant l'équation de Darcy à la méthode de Porchet on trouve.

$$Q = s \frac{dh}{dt} = KSi \quad i \text{ étant supposé voisin de } 1.$$

$$\int \frac{dh}{h + \frac{r}{2}} = K2\pi r \left(h_t + \frac{r}{2} \right)$$

$$\text{d'où en intégrant } \text{Log} \left(h + \frac{r}{2} \right) = \frac{2kt}{r} + \text{Cte} \quad (1)$$

- avec :
- K = perméabilité
 - i = gradient hydraulique
 - s = surface de base du trou
 - S = surface d'infiltration
 - r = rayon du trou (≈ 4 cm)

Par mesure de 2 couples de valeurs on peut résoudre l'équation (1) ou mieux on peut porter sur papier semi log les résultats de plusieurs mesures.

Nous donnons ci dessous le résultat des mesures effectuées sur certains sites (résultats de 3 mesures par site et par tranche percée). Les valeurs données dans ce tableau sont obtenues après un deuxième remplissage du trou (le premier étant fait 15 minutes auparavant).

Tableau 50 O. Khairat mesure de la perméabilité par la méthode Porchet (mesures faites le 8,9,10 mai 1979)

Site N°	Profondeur	Nature du Sol	K ₁	K ₂	K ₃	Moyenne
1	50 cm	sol jeune alluvial limono-argileux	22.0	35.4	45.2	34.2
	90	argileux	10.5	15.2	15.4	13.7
2	50	sol alluvial jeune limono-argileux	10.5	3.8	5.2	6.5
	90	Limono-argileux	4.4	7.4	5.6	5.8
3	50	Limono-argileux	7.2	15.6	10.0	11.2
	90	Limono argileux	7.6	5.7	0.8	4.7
4	90	Limon , sable fin (sol jeune éolien et colluvion)	21.3	9.4	13.7	14.8
5	90	Sable fin	14.2	25.9	19.3	19.8

Cette méthode, très critiquée pour sa grande incertitude théorique dans l'interprétation des résultats, reste encore l'outil le plus facile et le plus rapide pour donner un ordre de grandeur sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol.

Nous rappelons cependant que les valeurs obtenues par cette méthode sont très influencées par les singularités qui peuvent exister dans un sol (trous d'animaux, racines, couche très perméable...)

ce qui impose de nombreuses répétitions.

BOULAIN J. (8) donne des ordres de grandeur de K caractérisant le degré de perméabilité des sols :

$$\begin{aligned} K &\leq 10^{-6} \text{ m/s} && : \text{ sols imperméables} \\ 10^{-6} &< K \leq 5 \times 10^{-6} && : \text{ sols peu perméables} \\ 5 \times 10^{-6} &< K \leq 5 \times 10^{-5} && : \text{ sols perméables} \\ K &> 5 \times 10^{-5} && : \text{ sols très perméables} \end{aligned}$$

La perméabilité des terrains de ce périmètre est en général située dans la zone de sols peu perméables à peu perméables (elle varie de 1 à 40 mm/heure).

Ces types de sols sont considérés (du point de vue ce paramètre) comme des sols assez bons pour l'irrigation.

Humidité du sol :

a) Rappel de quelques éléments sur l'état et la dynamique de l'eau dans le sol .

a1 - Etats de l'eau dans le sol

- eau hygroscopique ou pelliculaire : eau très énergiquement retenue par des forces d'absorption et non utile pour les plantes.

- eau capillaire : retenue dans les micropores du sol et autour des particules solides. Une seule partie est disponible pour les plantes plus ou moins facilement.

- eau de Gravité : se trouve dans les macropores et son mouvement est régie par la pesanteur. Elle est très facilement absorbée par les racines.

a2 - Capacité au champs : correspondant à la capacité de retention du sol.

- humidité au point de flétrissement : correspondant à un taux d'humidité dans le sol tel que la plante se trouve dans l'incapacité de fournir l'énergie nécessaire pour l'extraction de l'eau.

- réserve utile en eau du sol : c'est la quantité d'eau, disponible dans le sol, et utilisable par les plantes. Ce paramètre est étroitement lié à la texture et à la tranchée utilisable du sol.

a3 - Dynamique de l'eau dans le sol

- Humectation : (fig II.3.4.)

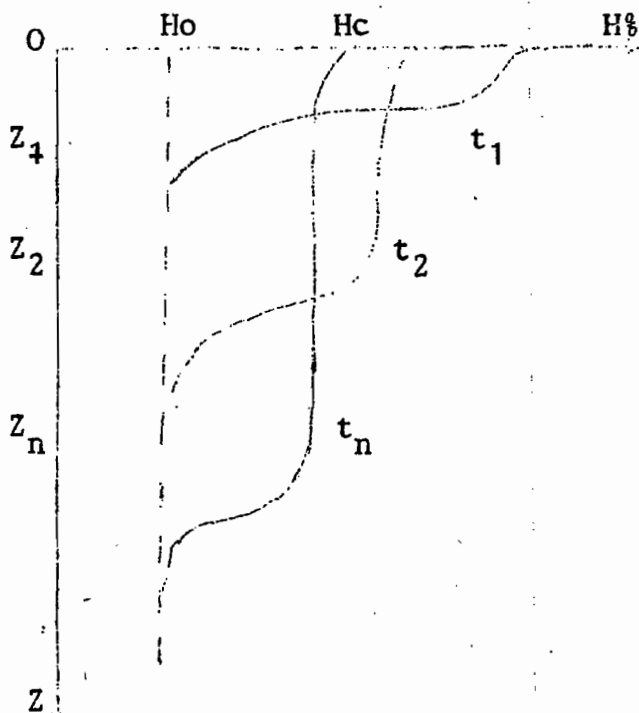
La migration de l'eau vers le bas est continue si le sol est humide mais l'évolution du profil hydrique est fonction du taux d'humidité du sol. En sol non irrigué l'humectation ne se fait qu'en saison de pluie.

- Dessechement :

En l'absence d'un apport d'eau, le sol perd de l'eau par évaporation physique et par évapotranspiration des plantes qui prélève l'eau par leurs racines dans la même masse du sol.

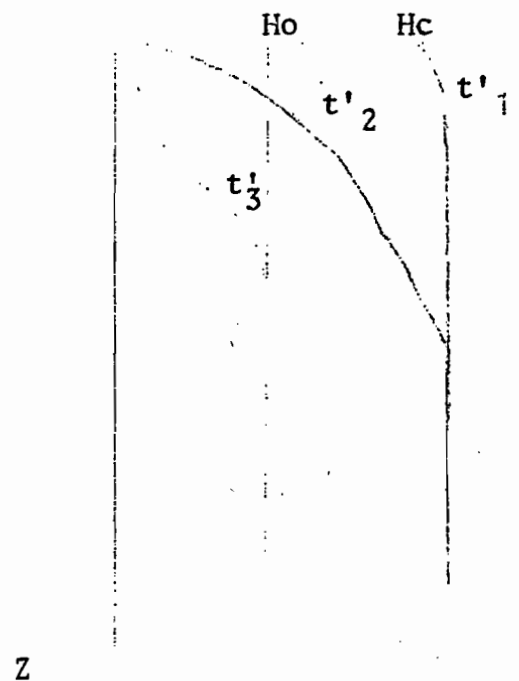
Lorsque le sol est très humide, l'évaporation est très intense (du même ordre qu'en cas d'un plan d'eau libre) puis elle diminue en profondeur et à mesure que l'humidité diminue (fig II.3.5.)

Figure II.3.4.



évolution du profil hydrique pendant l'humectation

Figure II.3.5.



desèchement du sol (d'après A. FEODOROFF).

b) Mesure des profils hydriques en quelques points

méthode

Nous avons utilisé la méthode gravimétrique assez précise mais très lente pour tracer les courbes présentées en Annexe 4 bis.

b1 - Principe de la méthode : un échantillon de sol de poids P1 pris à la tarière à une certaine profondeur est mis dans un emballage étanche puis, une fois arrivé au laboratoire, est passé à l'étuve à 105°C pendant 24 heures.

une fois séché l'échantillon est à nouveau pesé soit P2.

$$H_V \% = D.A. \frac{P1 - P2}{P2} \times 100$$

H_V étant l'humidité volumétrique (en pourcentage du volume du sol)

D.A. densité apparente du sol (déterminé aussi par la méthode gravimétrique)

b2 - Résultats : Les résultats de mesures, sur certains sites choisis au préalable (en fonction de la nature du terrain) sont présentés sur les figures de l'annexe 5.

Ces mesures ont été faites dans le but de déterminer les quantités d'eau apportées en différents points du périmètre par le système d'épandage des eaux de crue. Malheureusement il n'y a eu au cours de la période de mesure qu'une faible crue et seul le site 1 a pu recevoir les eaux de cette crue.

4.1.2.2.2. Description des aménagements existants

Faisant partie des trois récents aménagement⁽¹⁾ d'épandage des crues en Tunisie, remarquable par ses grands et multiples ouvrages d'arts (partiteurs, ponceaux, chutes) en béton et ayant fait l'objet d'une étude sur modèle réduit, cet ouvrage a bien répondu aux aspirations des ingénieurs de l'époque qui voulaient bâtir solide et durable, malheureusement un problème essentiel, celui de l'envasement, n'a pas été résolu et en peu de temps certains ouvrages sont devenus inutilisables.

(1) les deux autres sont : O.DJIR (1964) et O. EL HACHIM (1961).

a) Ouvrage de dérivation

Constitué par, un seuil déversant type Greger, des ouvrages de prises à vannes et dispositif de chasse ; les caractéristiques principales sont les suivantes :

Seuil déversant : hauteur du seuil : 2 a 2,40 mètres
longueur du seuil : 108 m
Matériau : béton
Débit maxim prévu : 600 m³/s

Ouvrages de prise : débit dérivé : 18 m³/s
nombre de passes : 5
hauteur des passes : 0,75 m
largeur des passes : 2,50 m
longueur du Canal de dérivation : 17 m

Ouvrage de chasse : type: canal
nombre de passes : 1

b) Canal principal

- débit en tête : 18 m³/s
- largeur au plafond en tête : 19 m
- tirant d'eau moyen : 0,8 m
- pente : 1,80/100
- vitesse moyenne : 1.1 m/s

Can. aux secondaires

- écartement : 500 m
- longueur maximale : 2500 m
- pente : 0.4 à 2.0/100
- tirant d'eau : 60 cm
- vitesse moyenne : 0.6 m/s

4.1.2.2.3. Fonctionnement des ouvrages :

a) barrage de dérivation :

Calé à la côte 50.8 NGT sur 30 m puis à 51.5 NGT sur le reste, ce décrochage de 60 cm permet de maintenir le chenal des basses eaux voisin de la prise.

b) prise d'eau :

la côte de calage (49,76 NGT) a été déterminée de façon à dériver les 18 m³/s sans mise en charge.

En amont du seuil une fosse de dégravement équipée à son extrémité aval d'une vanne de chasse et possédant un radier incliné de 6%, un mur de garde bordait la fosse (coté Oued) muni de quelques ouvertures ayant pour rôle d'augmenter la vitesse du courant dans le canal de chasse et permettant aussi :

- de diminuer le relèvement du fond dans la zone d'eau morte en amont de l'ouvrage.
- d'entraîner les matériaux jusqu'à la zone d'influence de la vanne de chasse.

c) Le réseau d'épandage

Un canal tête morte alimente quatre canaux principaux qui devaient fonctionner deux par deux à tour de rôle.

Les partiteurs alimentant les canaux secondaires sont tous conçus sur le principe de partiteur proportionnel à seuil qui assure

- la proportionnalité du débit dérivé au débit amont
- l'indépendance de cette partition à l'égard du régime régnant à l'aval.

Les canaux secondaires sont très peu enterrés (0.2m en moyennes) pour permettre à l'eau de sortir facilement par les prises. Les prises sur ces canaux sont du type partiteur, d'un débit maximal de 300 l/s.

4.1.3. Analyse de la situation actuelle

Tous les ouvrages de génie civil sont en bon état et se sont bien comportés lors des crues exceptionnelles de 6^e et 73.

Rappelons que le système mis en place était prévu pour assurer un triple rôle :

- capter les crues
- conduire les eaux dans les lieux d'épandage
- répartir ces eaux sur le terrain

Tout ceci devant se faire dans un temps relativement court et non prévisible à l'avance.

La réussite des périmètres anciens (système de Mgoud dans les plaines de Kairouan et Sidi Bouzid surtout) a été dûe essentiellement, mis à part les conditions naturelles très favorables, aux cultivateurs eux même qui savaient maîtriser les eaux de crues par des interventions à échéance. Le volume des travaux était souvent important, le travail périodique, et les fellahs utilisaient uniquement leurs propres moyens (pratiquement des interventions manuelles)

Actuellement ce contexte a complètement disparu :

l'agriculteur se rend bien compte que les résultats qu'il obtient d'un travail aussi astreignant sont très aléatoires.

4.1.3.1. Etat des aménagements de O.R'mel et O.Khairat

4.1.3.1.1. O.Khairat

a) problèmes du barrage et de la prise d'eau :

Le problème le plus important posé par cet ouvrage est le transport solide. Cet ouvrage ayant fait l'objet avant son exécution d'une étude sur modèle réduit, on pensait à l'époque que la solution envisagée serait satisfaisante à cet égard.

Or il s'est avéré d'après nos observations qu'il suffit d'une petite crue pour que ce système soit non fonctionnel. En effet les orifices situés dans le mur de garde (entraînant une mise en suspension des dépôts) sont vite bouchés et les matériaux s'entassent derrière les prises surtout pendant la décrue.

b) Canaux d'amenée et de distribution

Le Canal tête morte est en général en bon état, l'ensablement se remarque surtout dans la partie aval (au delà du milieu du canal

environ) les hauteurs de sable varient de 20 à 60 cm.

Au niveau du premier partiteur les canaux principaux P1 et P4 sont entièrement bouchés et toute l'eau est conduite dans le canal P2

D'ailleurs le canal P4 desservant une partie assez haute se trouve presque totalement envasé et même en forte crue ce canal ne fonctionne pas.

Le canal P2 qui se divise ensuite en deux canaux principaux P2 et P3 a son lit sujet soit à l'érosion (surtout P3) soit à l'élévation par dépôts d'alluvion. Nous remarquons aussi que la majorité des canaux secondaires sont obturés et l'eau suit le chemin le plus facile

A l'aval et juste avant la route Enfida Kairouan les remblais longeant les canaux sont érodés et les eaux se perdent en suivant des ravins qui rejoignent généralement le lit de Oued Khairat.

Nous avons essayé d'estimer le pourcentage des zones inondées en comptant les zones d'inondations probables nous avons trouvé 20%, la plus grande crue de l'année (Nov.1978) n'a même pas pu inonder une centaine d'hectares.

4.1.3.1.2. Oued R'mel

Le barrage détruit en 1973 puis reconstruit en 1976, est actuellement en bon état

Toute l'infrastructure d'épandage (seuils déversoirs, partiteurs, prises d'eau) est plus ou moins enterré par les apports solides, les vannettes, sont presque toutes inexistantes.

Le périmètre devenant plus haut que les prises (par suite des apports de sédiments) reçoit très mal les eaux d'inondation mais heureusement le réseau de collature est en assez bon état permettant l'évacuation du surplus d'eau.

L'avancement du front salé qui a déjà condamné tout l'aval de la GP1 risque de se prolonger surtout vers la zone Sud du périmètre étant donné la proximité de la nappe, très salée à cet endroit.

4.1.3.2. Structure foncière des périmètres

Nous avons déjà signalé dans le paragraphe (4121) la situation foncière des ces périmètres. Nous donnons dans ce paragraphe quelques

précisions à partir des données recueillies à l'arrondissement des affaires foncières de Sousse (tableaux 38 et 39)

Oued Khairat : Etat parcellaire des surfaces irrigables par épandage des eaux de crues

1. Tableau 38

Surface	5 ha	5 S 10h ha	10 S 15	15 ha
nombre de lots dans 1000ha	3.4	6.2	57.1	9.6
nombre d'attributaires pour 1000ha	6.8	8.2	66.7	15.8

Oued-R'mel

Tableau 39. Etat parcellaire des surfaces irrigables par épandage des eaux de crue

Surface	5 ha	5 à 10ha	15,6ha	45 ha	54 ha	62 ha	165ha	Total= 757 ha
Nombre de lots	55	20	1	1	3	1	1	81
Nombre d'attributaires	102	39	4	1+coop.	3+coop	1 Coop	1Coop	148+4 Coop.

source : AIC de BOUFICHA

Pour le périmètre de l'Oued Khairat la majorité des lots est comprise entre 10 et 15 ha (13,75 ha le plus fréquent). Par contre pour le périmètre de Oued R'mel près de 60% du périmètre appartiennent à deux agriculteurs et à 4 précoopératives (ex fermes de Colons) ; le reste est morcelé en un très grand nombre de petits lots,

4.1.3.3. Systemes de production et rendement

Les données concernant les différents types de cultures et les rendements correspondants n'ont jamais été recueillies même à l'époque où les terres appartenaient à l'office (ENFIDA).

Ce manque de renseignements nous a obligé à mener une enquête sommaire auprès des agriculteurs d'ENFIDA, enquête portant sur :

- les cultures pratiquées,
- une estimation des rendements,
- leurs points de vue sur l'aménagement d'épandage des eaux de crue.

Nous n'avons pas suivi lors de cette enquête une méthodologie bien déterminée, de même le choix des agriculteurs n'a pas été établi au préalable ; nous avons interrogé ceux qui étaient disponibles. Comme nous l'avons déjà remarqué au paragraphe ci-dessus il n'y a pas une différence appréciable entre les lots pour le périmètre d'Enfida. C'est peut être la raison pour laquelle on conduisait leur culture presque de la même façon :

cultures dominantes: céréales (blé et orge) rarement légumineuse ou fourrage.

La majorité des agriculteurs sont obligés de chercher un travail supplémentaire (au moins pendant quelques mois de l'année) pour subvenir aux besoins de leurs familles. Les plantations existantes (environ 300 ha) sont généralement des oliviers, très chétifs (15 ans d'âge) et à rendement très faible (une dizaine de Kg par pied en moyenne). Pour le rendement des céréales, les chiffres avancés sont très variables le tableau suivant en donne une idée

Tableau 4⁵

	Céréales irrigués en qx/ha	Céréales non irrigués en qx/ha
Un an sur 4	2 à 6	0
Un an sur 4	10 à 15	6 à 10
Un an sur 2	6 à 12	2 à 6

L'expérience des inondations traditionnelles de la plaine de Kairouan a conduit aux rendements moyens suivants

Tableau n° 41

	Cultures sèches	Cultures inondées
1 an sur 4	5 q ^x /ha	12 q ^x /ha
1/2 an sur 4	1.5 q ^x /ha	6 q ^x /ha
1 an sur 4	0	2 q ^x /ha
1 an sur 4	0	1.5 q ^x /ha

Pour Bouficha les résultats ne devaient pas être très éloignés (au début de l'exploitation du réseau un rendement de 20 q x/ha était souvent atteint) en année humide)

4.1.3.4. Les agriculteurs sont ils intéressés par l'aménagement d'épandage des eaux de crue :

Trop d'échecs ont été enregistrés pour que quelques considérations, sortant pourtant du cadre de cet exposé strictement techniques ne soient pas évoquées ici.

Le projeteur soucieux d'équiper le pays met souvent à la disposition des fellahs des aménagements :

- qui ne les intéressent pas toujours (quand ils ne les gênent pas franchement).
- dont ils ignorent l'usage.

Il est donc nécessaire d'intégrer ces périmètres dans un projet de mise en valeur.

Ainsi à Enfida les agriculteurs s'inquiètent du fait que l'eau n'arrive plus à leurs parcelles et pour eux la cause de cet état de fait est extérieure et ils attendent donc le rétablissement de la situation antérieure.

A Bouficha les agriculteurs ont essayé de s'organiser en association (AIC) afin d'entretenir le réseau mais un peu tardivement si bien que le volume des travaux était devenu trop important pour une association de ce genre.

A Maknassy, les fellahs du périmètre de Nadour ont multiplié le nombre de puits de surface ces dernières années et ne sont donc plus favorables à la reconstruction du barrage (emporté en 1969).

4.2. BESOINS EN EAU SUR LES PERIMETRES

Ce paragraphe et le prochain chapitre seront réservés à une étude plutôt théorique portant sur les disponibilités en eau pour les cultures en sec, puis en supposant les aménagements existants comme fonctionnels, nous essayerons à partir d'une approche prévisionnelle, d'estimer les améliorations apportées aux cultures pratiquées sur les périmètres par le système d'épandage.

4.2.1. Généralités

La période de végétation active du blé dur, à peu près 6 à 7 mois (entre novembre et juin) avec existence des périodes critiques pour le développement normal de la plante.

- des pluies tardives en automne entraînent un retard de germination,
- la période critique d'Azzi (une semaine qui suit l'épiage et un mois que le précède) est déterminante pour la réussite d'un blé (VERNET).

La date et le volume de réalisation d'une pluie sont très marqués par l'incertitude. L'information la mieux adaptée à l'étude d'un calendrier cultural en sec sera constituée par l'étude de "la probabilité de réalisation, à une date donnée, de la condition fixée".

Pour étudier cette probabilité il est nécessaire, de disposer d'une chronique de pluviométries journalières, suffisamment longue, d'une station proche de la zone considérée.

La première démarche consistera à définir la période d'étude à l'intérieur de laquelle se situera l'analyse fréquentielle.

On se fixe ensuite la valeur de la pluie correspondante à la condition posée.

L'objectif étant de déterminer le degré de réussite de la céréaliculture en sec dans cette région puis les améliorations que pourraient apporter les aménagements d'épandage déjà existants.

4.2.2. ESTIMATION DES QUANTITES D'EAU NECESSAIRES

Un certain nombre de facteurs climatologiques et physiologiques jouent un rôle particulier dans la réalisation des conditions de croissance d'une plante cultivée. Ainsi évaluer les besoins en eau d'une culture c'est tenir compte de ces facteurs dont la quantification n'est pas toujours possible, le problème se complique davantage quand il s'agit des cultures en sec. On contourne souvent ces difficultés en ne considérant que des stades bien définis du cycle végétatif de la culture.

VERNET a déterminé pour la région de Tunis les besoins en eau du blé par mois (ETRM) en prenant

- l'ETR sur jachère continue (YANKOVITCH), jusqu'à ce que le blé couvre le sol au 1er Janvier.

- l'ETP du 1er Janvier à la maturité du blé .

Tableau N° 42

	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	Total
ETP	50	46	47	48	83	124	159	
Evaporation Jachère travaillée	23	41	41	36	83	25	26	
ETRM	23	41	47	48	83	124	159	525

En se basant sur les valeurs de ce tableau, sur l'expérience de certains agriculteurs de la région et sachant qu'une culture de blé souffre du manque d'eau au cours des deux périodes critiques:

- en Automne pour permettre une levée régulière
- au Printemps (si la levée s'est faite sans incident) les plantes étant très développées ont besoin d'une importante quantité d'eau. (au moins vers 50% de l'ETP).

Nous considérerons les hypothèses suivantes;

- Un automne est sec

- si
- la pluie tombée en novembre est < 30 mm
 - " " décembre est < 30 mm
 - et " " octobre est < 60 mm

- Un printemps est sec

- si
- précédé par un hiver peu pluvieux
 - la pluie tombée en mars est < 40 mm
 - et " " Avril est < 30 mm

- Une année est alors sèche si elle, débute par un automne sec, ou se termine par un printemps sec.

4.2.3. INTERPRETATION DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Sur les tableaux (43 & 44) est donnée la répartition des pluies annuelles sur les deux périmètres

Tableau 43

BOUFICHA		Moyenne interannuelle : 355 mm												
pluviométrie annuelle comp rise entre	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750 mm	
Nbre d'années	2	7	8	9	9	6	5	3	5	2	0	1		
		61.5%							61.5%					

Tableau 44

ENBIDA		Moyenne interannuelle 378 mm													
Pluv; annuelle comprise entre	150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 mm														
	Nbre d'années														
	3	8	10	7	7	9	6	5	3	2	0	2	1		
	← 63 % →						← 46.6 % →								

La pluviométrie la plus probable est située au voisinage de 350 mm pour Bouficha et entre 200 et 450 mm pour Enfida (2 années sur 3)

Les fluctuations sont importantes et les valeurs sont insuffisamment groupées autour de la moyenne pour que celle-ci ait un sens (cf chap 2)

Tableau 45

Nbre de fois où en 65 ans la pluviométrie des mois de N.D.M.A. a été comprise entre les valeurs

Pmensuelle (mm) comprise entre	ENFIDA				BOUFICHA			
	Nov.	Dec.	Mars	Avril	Nov.	Dec.	Mars	Avril
0 =	18	18	11	17	17	14	14	7
10 =	9	15	10	9	12	17	9	18
20 =	10	11	10	14	9	14	9	13
30 =	7	4	10	7	5	7	13	9
40 =	5	1	7	5	7	1	4	4
50 =	2	6	6	2	3	2	6	3
60 =	3	2	3	1	0	4	3	1
70 =	1	0	1	3	4	2	3	3
80 =	1	0	1	1	1	0	2	0
90 =	3	1	3	1	1	1	1	3
100 =	3	2	2	4	3	2	3	1
120 =	1	1	3	0	3	1	3	0
140 =	3	3	0	0	4	2	0	0
200 =	1	2	0	0	0	0	0	0
300 =	0	1	0	0	0	0	0	0

de tels tableaux semblent apporter plus d'informations que la moyenne mensuelle. Les pluies de novembre et décembre sont 3 fois sur 10 inférieures à 10 mm à Enfida.

2 fois sur 10 une pluie inférieure à 10 mm pour, le mois de mars (Enfida et Bouficha), et le mois de décembre (Bouficha).

L'application des hypothèses mentionnées ci dessus à la station Enfida et Bouficha a donné les résultats réunis au tableau 46.

Tableau 46. Nombre d'événements secs calculés sur la période (1910-77)
(soit 66 ans)

	Nombre d'auto mnes secs	Nbre de print emps secs	Nbre d'années sèches
BOUFICHA	18	22	31
ENFIDA	15	24	29

Nous pouvons remarquer qu'en moyenne, la céréaliculture en sec réussit plus ou moins bien une année sur deux dans cette région, le nombre d'années où les événements automne et printemps secs se réalisent ensemble est aux environs de 10 sur 66 ans. L'échec d'une culture de blé vient souvent des pluies de printemps insuffisantes.

C H A P I T R E V

ETUDE PREVISIONNELLE DU FONCTIONNEMENT DE
L'AMENAGEMENT SUR O. KHAIRAT.

5.1. INTRODUCTION :

Le volume, la date et la fréquence d'une crue sont tous des événements déterminants pour la conception d'un aménagement d'épandage des crues.

Une seule crue par an peut introduire assez d'humidité dans le sol pour produire une récolte d'herbe suffisante, alors que, des crues plus fréquentes permettront l'installation des cultures plus intéressantes. Un faible volume surtout s'il se combine avec la rareté de sa réalisation, peut ne pas mériter un effort de déviation.

Au niveau du périmètre d'épandage les caractéristiques, infiltration et pénétration du sol, topographie, qualité des eaux et cultures adoptées avec leurs besoins en eau (conditionnées par les précipitations et l'intensité de l'évapotranspiration), sont nécessaires à bien les connaître. Les cultures sont généralement définies, dans une certaine limite, en fonction de la répartition des crues dans le temps.

Les dépôts de sédiments, fréquents et importants, gênent beaucoup le fonctionnement correct du dispositif de déviation des crues. Sur le périmètre de tels dépôts retarderont la pousse des plants et peuvent tuer les plantes les plus jeunes.

Ces caractéristiques ont fait l'objet des chapitres précédents et nous nous proposons d'aborder, dans ce dernier chapitre, une étude prévisionnelle du fonctionnement des aménagements existants.

L'étude sera portée sur le périmètre existant sur Oued-Khairat son objet est de déterminer les chances d'amélioration du bilan hydrique apportées par le système d'épandage sur le périmètre, surtout pendant la période céréalière (Octobre-Avril).

En second lieu on considèrera le problème des transports solides qui sont à notre avis à l'origine de l'insuccès des aménagements d'épandage en Tunisie.

Les données prises en compte pour aborder les paragraphes ci-dessous seront basées sur les valeurs obtenues au cours de ces cinq dernières années (chap.2 et chap.4), malgré leur précision relative.

5.2. ANALYSE DES CRUES

5.2.1. Données de base

Les données utilisables sont les hydrogrammes obtenus à la station de jaugeage du cassis Nadour pendant les cinq dernières années 1974/75 à 1978/79 (chap 4.).

Nous avons utilisé ces données au niveau du barrage en tenant compte de la différence de bassin versant :

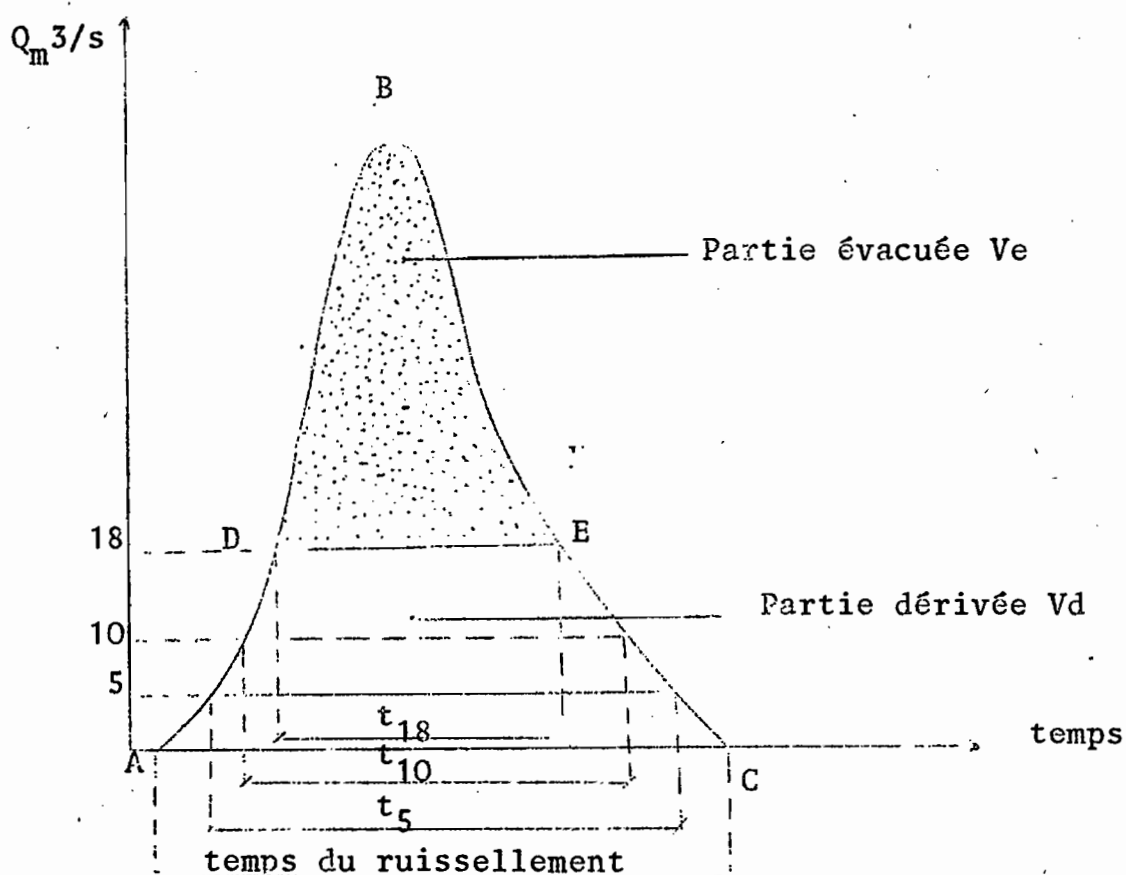
- Oued Khairat (cassis Nadour) : 176 Km²
 - Oued Khairat (barrage) : 215 Km²
- soit une différence de 39 Km²

La quasi totalité de cette différence est représentée par les versant du djebel Garsi (affluents de gauche) et de petites collines assez hautes (affluents de droite).

Les eaux de ruissellement de cette région ont une concentration assez rapide en raison des pentes élevées et d'une situation très proche du barrage. Leur contribution au volume total de crue au niveau de ce dernier est déterminée en supposant une proportionnalité entre les apports et les surfaces.

5.2.2. Principe de calcul des volumes utilisables

Pour déterminer la part de l'apport total de chacune des crues enregistrées au cours des cinq dernières années, qui aurait pu être dérivé sur le périmètre (dans l'hypothèse d'un fonctionnement normal) nous avons adopté pour chaque hydrogramme le schéma suivant :



On calcule les volumes évacués V_e , d'où par différence les volumes dérivés V_d .

Le volume V_e (volume évacué) en une durée, toujours très inférieure au temps de base de l'hydrogramme est déterminé par planimétrie de la partie supérieure de l'hydrogramme BDE ($Q > 18 \text{ m}^3/\text{s}$). Il suffit donc de soustraire de l'apport total de la crue, le volume évacué au cours de cette crue dont le débit a dépassé le débit équipé⁽¹⁾ des prises ($18 \text{ m}^3/\text{s}$).

Les résultats de ce calcul pour chacune des crues considérées sont donnés au tableau N°49.

5.2.3. Relation : volume dévié - volume ruisselé total

Nous cherchons à évaluer la portion du volume total déviée vers le canal en supposant que le canal de dévasement ne soit ouvert que si l'eau commence à déverser sur le premier seuil. Le débit ainsi

(1) débit équipé = débit des prises quand l'eau commence à déverser sur le seuil.

Tableau 49 : O.Khairat : Volumes des crues déviés vers le périmètre d'épandage.

Date de la Crue	Vlme-to t ₁ de la crue V _T (10 ³ m3)	debit max Q _M (m3/ s)	vlme de versé V _e (10 ³ m3).	vlme de vié V _d (10 ³ m3)	Kd = V _d / V _T	t ₁₈	t ₁₀	t ₅
23.2.1974	748	59 m3/s	164	584	0.78	2h30'	6h45'	11h40'
5.2.1975	1247	38	133	1114	0.89	8h30'	14h00	19h30'
17.2.1975	407	33	36	371	0.91	1h20'	9h20'	15h30'
7.3.1975	1691	132	503	1188	0.80	9h30'	13h20'	17h00
23.4.1975	147	21	5	142	0.96	30'	0h50'	3h00
25.5.1975	85	18	0	85	1.0	-	0h15'	1h40'
26.8.1975	142	26	8	134	0.94	40'	1h00'	2h25'
20.5.1976	235	11	0	235	1.0	-	0h30'	2h20'
10.6.1976	469	39	95	374	0.80	3h20'	4h40'	5h50'
28.6.1976	818	43	94	724	0.89	3h30'	7h40'	15h
26.9.1977	691	68	208	483	0.70	3h30'	6h20'	8h10
8.10.77	564	52	110	454	0.80	4h00	5h50'	7h40'
7.11.77	16	4	0	16	1.0	-	-	-
19.11.77	489	92	149	340	0.70	2h30'	3h45'	5h30'
24.11.77	206	15	0	206	1.0	-	2h20'	5h15'
10.5.78	122	11	0	122	1.0	-	0h15'	2h50'
22.5.78	30	3.5	0	30	1.0	-	-	-
1.6.78	61	3.6	0	61	1.0	-	-	-
1.10.78	560	44	114	446	0.80	4h00'	5h20'	6h20'
10.11.78	625	69	193	432	0.69	5h00'	6h30'	7h30'
12.11.78	1661	165	763	798	0.51	6h30'	7h45'	9h20'

dévié est maintenu à une valeur proche du débit équipé tant que celui de l'Oued est supérieur à cette valeur (18 m³/s).

Le tableau n°49 regroupe les caractéristiques suivantes :

- Date de la crue
- V_T : volume total de la crue en 10³m³
- Q_M : débit maximal de la crue en m³/s
- V_e : volume déversé en 10³m³,
- V_d : volume dévié vers le périmètre en 10³m³,
- C_d : Coefficient de dérivation $C_d = \frac{V_d}{V_T}$
- t_{18} , t_{10} et t_5 : le temps pendant lequel le débit de la crue est maintenu supérieur ou égal à 18, 10 et 5 m³/s

Ces caractéristiques sont estimées à partir des enregistrements obtenus à la station hydrométrique située à quelques kilomètres en amont du barrage de dérivation en supposant une proportionnalité entre les apports et les surfaces.

Tant que l'eau n'est pas passée sur les seuils déversoirs, tout le débit passe dans le canal de dérivation, à moins que celui du devasement ne soit ouvert. Puis au fur, et à mesure que le débit augmente le coefficient de déviation diminue. Ceci est d'autant plus accentué que le temps de dépassement du débit équipé est plus long.

Les valeurs du tableau N°49 montrent que ce coefficient (K_d) passe de 1, pour des volumes de crue allant de 0 à 200 000 m³, à 0.5 pour un volume voisin de 2 millions de m³.

Le volume dévié a une limite maximale en un temps donné (18m³/s), soit environ 1,5 million de m³/jour. Cette limite ne serait atteinte que pendant les crues de fréquence très rare, et où le débit est maintenu supérieur ou égal à 18m³/s pendant au moins 24 heures. Nous avons relevé sur les hydrogrammes disponibles ce temps qu'on a appelé t_{18} défini comme le temps pendant lequel le débit de la crue est maintenu supérieur ou égal au débit équipé du canal de déviation (18 m³/s). A titre de comparaison sont également indiqués (tableau 49) les temps t_{10} et t_5 .

La totalité des faibles crues et la majorité des moyennes crues pourrait donc être déviée vers le périmètre, à partir des crues de période de retour supérieure à une année sur 4⁽¹⁾ le taux du volume évacué (1 - Kd) l'emporte sur celui du volume dévié vers le canal. Ceci est d'autant plus accentué que la fréquence de la crue est plus faible.

Le graphique (II51) donne une courbe de liaison : volume dévié volume ruisselé total obtenu à partir des valeurs du tableau 49.

L'examen de cette courbe suggère les remarques suivantes :

- Les crues apportant moins de 1 million de m³ montrent une bonne liaison volume dévié - volume écoulé total.
- Pour les fortes crues cette liaison est peu nette en raison, du nombre de points d'observation très faible et de l'influence de la forme de l'hydrogramme qui peut être très différente pour deux crues apportant à peu près le même volume d'eau.
- Ayant à l'esprit la limite supérieure du débit dévié en 24 heures et se basant sur les quelques points disponibles nous avons essayé d'extrapoler cette courbe dans la plage des fortes valeurs. (fig.II.5.1) Cette courbe nous a permis d'estimer les volumes déviés à partir des volumes ruisselés au niveau du barrage (2). Ces estimations faites pour une période de 46 ans, sont données pour chaque mois en Annexe 5. Ces valeurs ne constituent que des ordres de grandeur nécessaires pour ce qui va suivre

5.2.4. Mode d'exploitation des débits déviés

Le cas courant pour ces aménagements est d'avoir à épandre un volume de crue qui peut varier (cas de O.Khairat) de 40 à 500 m³/ha et par jour, soit un équivalent de 4 à 50 mm d'eau uniformément répartie sur 3000 hectares.

Cette opération est d'autant plus difficile que :

- la crue est courte
- la topographie du terrain est irrégulière
- l'infiltration est trop rapide ou trop lente
- les apports solides trop importants et capables de modifier la topographie du terrain plus ou moins rapidement.

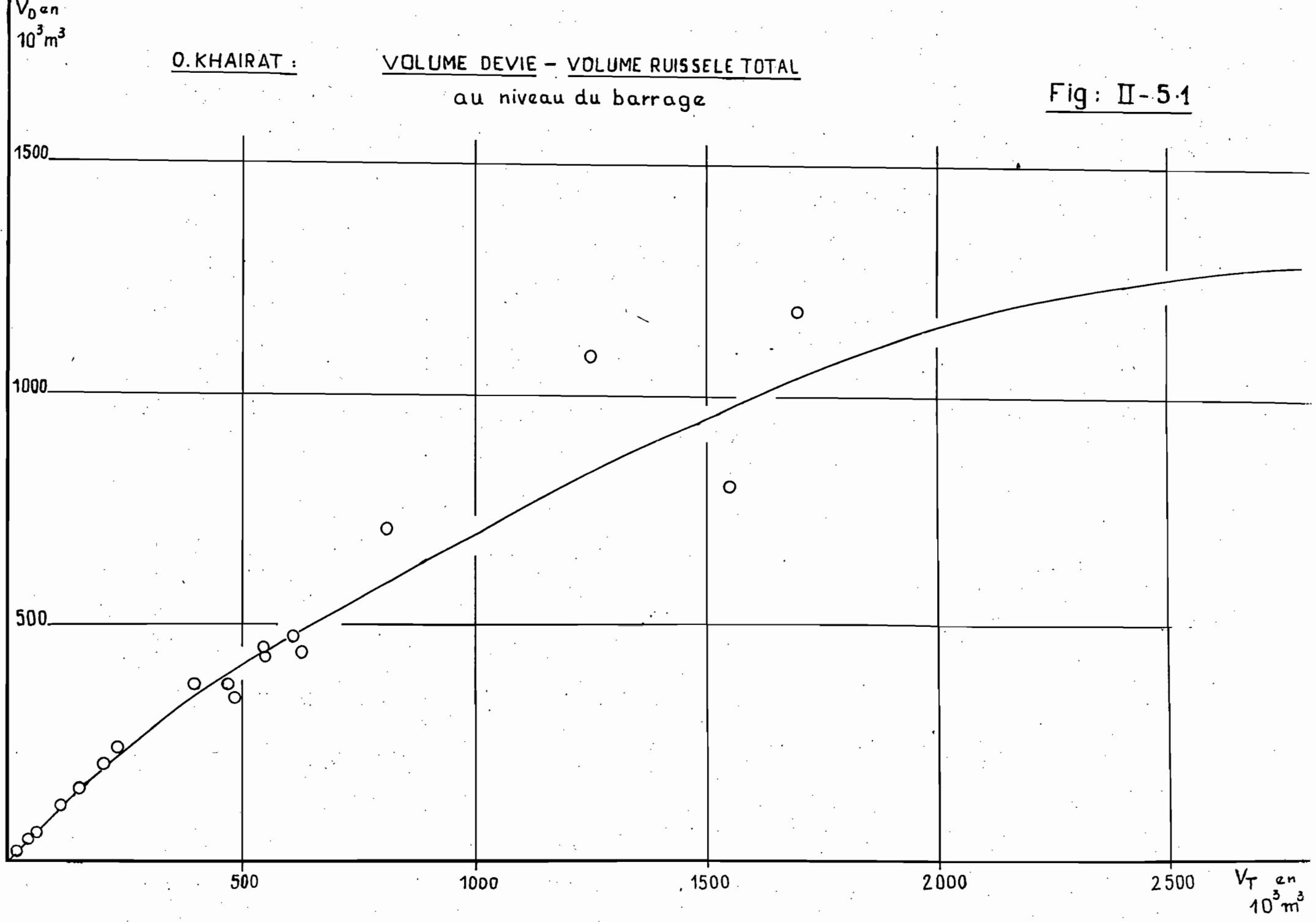
(1) estimation (chap.3)

(2) les volumes ruisselés ont fait, eux aussi, l'objet d'une estimation à partir des pluies journalières (cf paragraphe 3.2.3).

O. KHAIRAT :

VOLUME DEVIE - VOLUME RUISSELE TOTAL
au niveau du barrage

Fig: II-5.1



Pour le périmètre d'Enfida, ces facteurs sont peu favorables malgré l'existence d'un réseau de distribution assez ramifié. En effet le taux d'infiltration dans les zones amont est relativement fort par rapport à celui des zones aval. Ces derniers seront donc beaucoup moins irrigués que les terrains amont, elles pourront même ne rien recevoir si les crues sont faibles.

Plus une prise est placée en aval, moins elle reçoit d'eau puisqu'elle ne sera atteinte que par les pointes de crue, les "bases des hydrogrammes" sont absorbées par les prises amont.

Les terrains aval ont un coefficient d'infiltration relativement faible (ordre de quelque mm par heure); il manque d'autre part un système de rétention des eaux (tabia ou autre); les fortes crues vont donc se perdre en suivant les chemins hydrauliquement faciles.

La répartition de l'eau de crue sur ce périmètre est donc loin d'être uniforme. Outre l'influence, de la forme de l'hydrogramme de la topographie et d'une perméabilité très hétérogène, l'infiltration au niveau des ^{COMMAN} ~~de~~ distribution surtout pour les petites crues, contribue à aggraver ce problème.

Nous supposerons, pour simplifier le calcul, que les débits équipés des prises sont calculés en tenant compte (plus ou moins) de l'influence de tous ces facteurs.

L'apport d'eau, exprimé en hauteur d'eau (mm), d'une crue de volume Vd (en m³) sera :
$$H_{mm} = \frac{Vd (m^3)}{3 \times 10^4}$$

la surface du périmètre est prise égale à 3000 ha.

5.2.5. Etude des volumes déviés

Le tableau de calcul mois par mois pour chacune des 46 années considérées est donné en annexe (A₅₁). Celui de l'Annexe A 52 (tableau 50) récapitule pour chaque année les volumes des crues (volume total et volume utilisable) pour chacune des périodes suivantes :

- l'ensemble des 12 mois
- la période céréalière "Octobre - Avril"
- l'ensemble des trois mois, Octobre, Novembre et Decembre
- l'ensemble des trois mois : Fevrier, Mars et Avril.

Les valeurs moyennes et médianes des volumes utilisables estimées à partir de ce tableau sont :

Tableau n°51 Caractéristiques des volumes utilisables pour différentes périodes.

	ensemble de l'année en 10^3 m ³	période "Oct. Avril" en 10^3 m ³	Oct. Nov. Dec. en 10^3 m ³	Fev. Mars. Avri. en 10^3 m ³
Moyenne	3650	3160	1670	1090
Médiane	3230	2680	870	840
écart type	2500	2450	2060	1030

La fréquence des années où on n'a pas eu de ruissellement est de :

- une année sur 6 pour la période "Oct, Nov, Dec."
- une année sur 10 pour la période "Fev, Mars et Avril".

La majorité des apports surviennent entre Octobre et Avril (80 à 85%) mais les répartitions, annuelle et interannuelle sont très irrégulières (C_v varie de 0.68 à 1.23 selon la période choisie).

Les apports au cours des trois mois (Oct. Nov et Dec) sont les plus variables allant de zéro à 9 millions de m³, soit en hauteur d'eau également répartie sur le périmètre, de zéro à 300 mm avec une médiane de 30 mm.

Il apparait que pour une période de retour $T = 2$ (une année sur deux), périodicité intéressant l'agriculture, l'essentiel des volumes déviés est apporté par des crues moyennes ($Q_{max} < 100$ m³/s). La date de réalisation la plus probable de ces crues est située entre le début Octobre et la fin du mois d'Avril, période qui coïncide assez bien avec celle des besoins en eau d'une culture de céréale. Toutefois il est important de signaler qu'en général les apports les plus importants arrivent au moment où le sol est humide du fait d'une liaison assez forte entre pluie sur le bassin versant (génératrice des crues)

et pluie sur le périmètre d'épandage. L'intérêt de ces apports se trouve ainsi diminué, et ^{ceci} d'autant plus que la saison est humide.

En année médiane les apports d'eau ruisselée sur le périmètre serait de :

- 110 mm en 12 mois,
- 90 mm pour la période "Octobre-Avril"
- 30 mm pour la période "Octobre, Novembre, Décembre"
- 30 mm pour la période "Fevrier, Mars, Avril".

5.2.6. Transports solides et risque d'envasement du réseau

Les dépôts de sédiments constituent le risque principal de tout aménagement hydraulique en Tunisie. Pour les aménagements d'épandage ces dépôts menant le fonctionnement correct de tout le système après chaque crue.

Les systèmes de dévasement préconisés pour ces types d'aménagements se sont avérés peu efficaces (cf 4131) le seul rôle qu'ils ont assez bien rempli est la protection des prises de dérivation.

L'eau arrivant au niveau du barrage, avec une grande vitesse est très chargée en éléments solides (cf 34). L'eau déversée dans le canal a tendance à laisser ses dépôts au fur et à mesure que la vitesse diminue. Au niveau des points singuliers (prises, partiteurs coude etc....) un tel dépôt est rapide et important.

Si on suppose que les proportions des débits solides et débits liquides soient maintenu^{es} au niveau de la dérivation. En considérant la diminution de la vitesse de l'eau au niveau de cette dernière et l'effet du système du dévasement (43) on admet que les concentrations des eaux déviés seraient de l'ordre de 30 g/l. L'application de ce taux aux valeurs données (tableau N°51) avec une densité apparente des dépôts voisine de 1.5 (58), donne les valeurs suivantes:

Tableau 52 Masse de dépôts solides déviés sur le périmètre
(estimation sur 46 ans)

	ensemble de l'année en 10^3 m ³	période céréalière en 10^3 m ³	"Oct.Nov.Dec" en 10^3 m ³	"Fev.Mars.Avril" en 10^3 m ³
Moyenne	73	63.2	33.4	21.8
Médiane	64.6	53.6	74.4	16.8

Cette masse énorme de sédiments, apportée par un nombre très réduit de crues (3 à 7 par an) et de courte durée (10 à 20 h), a tendance à se répartir sur un plan légèrement incliné en remplissant les points bas, les petits canaux et toutes autres irrégularités. Le reste (généralement les éléments les plus fins) sera réparti sur le terrain, contribuant ainsi à son rehaussement progressif.

Le réseau de distribution assez ramifié (30 km de canaux principaux) les points singuliers (prises, partiteurs...) et le réseau de canaux secondaires très long, sont très favorables aux dépôts de sédiments. Ces remarques et l'état actuel du réseau, qui a été partiellement nettoyé en 1976, nous permettent d'estimer que 20 à 30% du total des dépôts déviés vers le périmètre restent dans le réseau de distribution.

La charge moyenne d'entretien du réseau par hectare (en m³ de déblai) serait comprise entre 4 et 6 m³ par hectare.

Ces chiffres paraissent énormes, mais ils ne devraient pas être loin de la réalité, les dépôts sont si importants et si rapides qu'après une seule grosse crue plus de la moitié du réseau ne fonctionne plus.

5.3. LES AMELIORATIONS APORTEES A L'AGRICULTURE DE LA REGION

On a donné au paragraphe 5.2.5. une idée sur les apports dont la culture de céréale bénéficiera durant la période allant de la germination à la maturation. Il s'agit d'une période indéterminée à priori puisqu'elle se situe entre deux dates correspondantes à la réalisation

d'événements aléatoires.

La période critique durant laquelle une culture de céréale présente une forte sensibilité aux irrégularités d'alimentation en eau a été déjà mentionnée au paragraphe (42). Nous ajouterons qu'il est malaisé de définir une durée précise d'une telle période critique, dans la mesure où elle s'applique à un phénomène de croissance continue c'est pourquoi nous considérerons ici, dans un but de simplification pratique, deux grandes périodes critiques d'une durée chacune de trois mois.

- période 1 : octobre, novembre et décembre
- période 2 : février, mars et avril

Un apport d'eau au cours de chacune de ces deux périodes contribuera à augmenter la réserve en eau du sol. Les terrains ont en effet une capacité de rétention assez élevée (la majorité des sols sont profonds et du type limonoargileux) pouvant stocker une bonne quantité d'eau qui sera utilisée ultérieurement par les cultures en place.

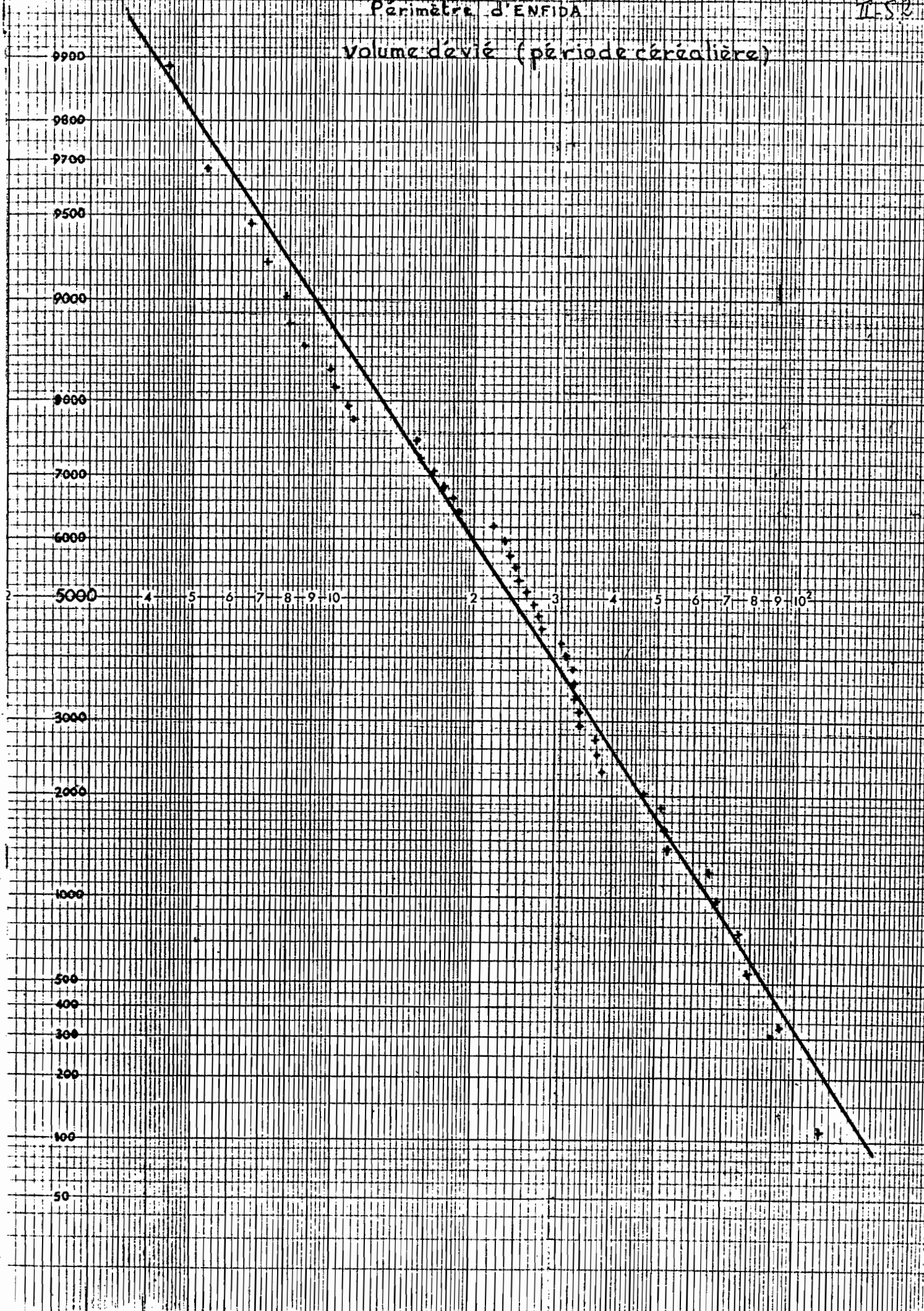
Le tableau ^A 53 donne pour une telle période de l'année, la pluviosité totale et la "pluviosité améliorée" (Pa) par le volume d'eau Vd qui peut être dévié pendant la période considérée.

L'accroissement prévisible de la pluviosité dû à cet apport de volumes d'eau notamment au moment des périodes critiques semble être non négligeable surtout pour les années humides. En moyenne la pluviosité serait améliorée de l'ordre de :

- 130 mm pour la pluviosité moyenne annuelle,
- 105 mm pour la période céréalière
- 55 mm pour l'ensemble des mois, Octobre, Novembre et Décembre
- 35 mm pour l'ensemble des mois, Février, Mars et Avril

Sur la figure II.5.2. sont reportées, sur un diagramme Gausso-log, les valeurs des volumes dérivables (période céréalière) classées par ordre décroissant.

Volume dévié (période céréalière)



Le Tableau suivant donne pour certaines périodes de retour l'estimation des améliorations prévisibles de la pluviosité (période Oct. Avril) :

	Années humides					Médiane	Années sèches			
	20	10	5	4	3		4	5	10	
Pluviosité améliorée	287	217	153	137	105	80	35	34	30	

Les déficits moyens d'approvisionnement en eau d'une culture de céréale ($Def_{mm} = ETP - P$) seraient améliorés de 105 mm en année moyenne, et de 80 mm une année sur deux. Les ordres de grandeur de ces déficits sont :

	NOV.	DEC.	JANV.	FEV.	MARS.	AVRIL
Def_{mm}	24	26	20	17	50	100

Sur le graphique II.5.3. est donné les deux courbes :

$$Def_{mm} = ETP - P$$

$$Def_{mm} = ETP - Pa$$

Pa étant la pluviosité moyenne améliorée.

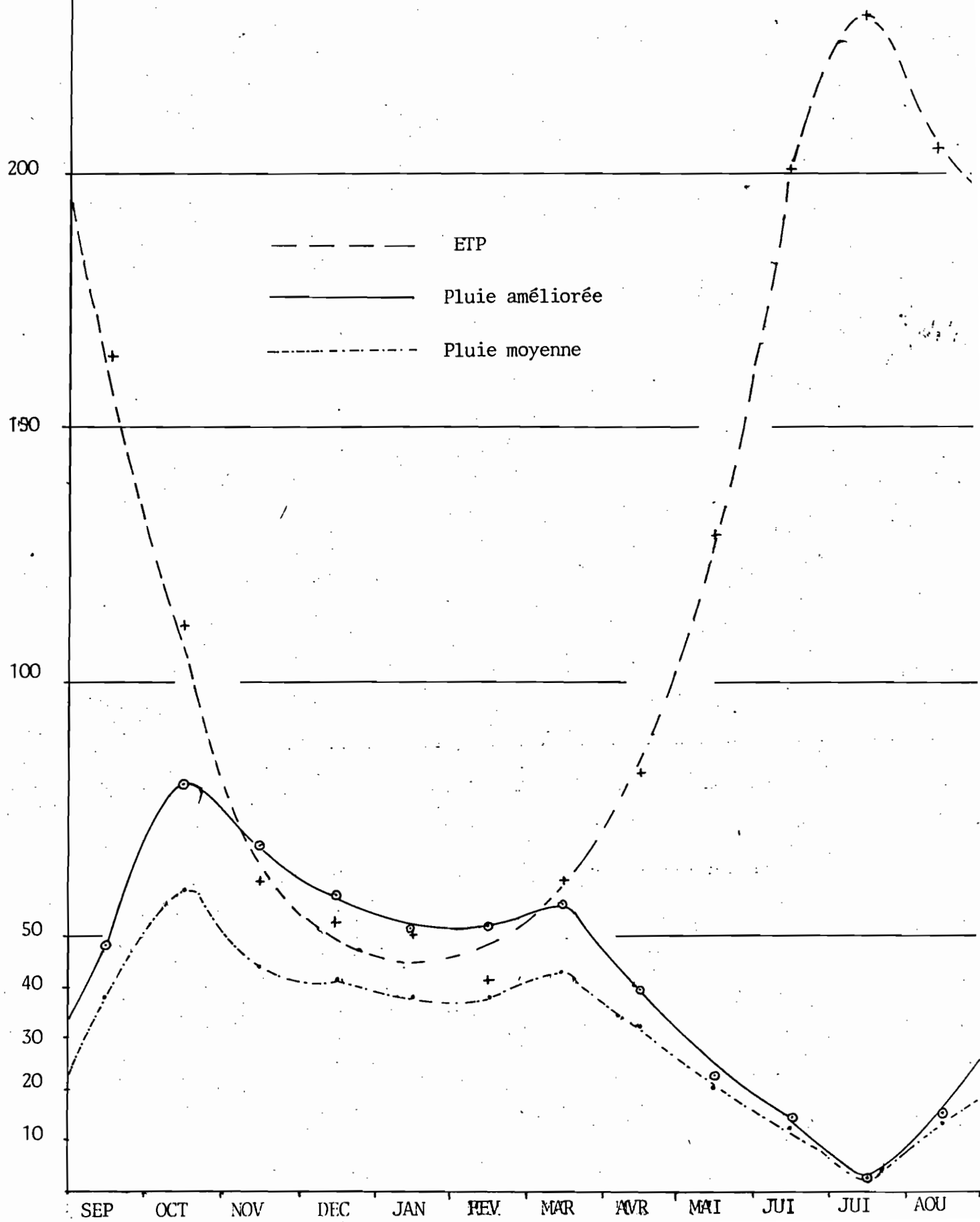
Les accroissements de production à l'hectare correspondant à l'apport des différents volumes d'eau déviés sont difficiles à estimer en raison d'un manque de données correspondantes dans la région.

Une confrontation de cet accroissement prévisible et des charges d'entretien du réseau, pour ne citer que ce dernier, s'imposerait si l'objectif choisi est l'accroissement maximal du revenu à l'hectare.

Fig: II - 5.3

PERIMETRE D'ENFIDA

ETP&P
en mm



C O N C L U S I O N

"L'eau est un rude adversaire. Elle sait découvrir toutes les erreurs, et fait payer cher la petite faute. Elle déjoue toutes les précautions et renverse les prévisions les plus raisonnables".

J. CHALLEY (in l'irrigation dans les Indes anglaises).

Au cours de ce travail nous avons essayé de cerner les raisons qui ont été à l'origine de l'échec des aménagements de l'épandage des eaux de crue en Tunisie.

L'étude a été effectuée sur deux périmètres situés dans la zone semi-aride (BOUFICHA et ENFIDA).

La mise en valeur d'une région agricole est essentiellement liée à la connaissance intime du climat, de ses fluctuations et de son influence sur la végétation. Une connaissance précise de ces facteurs apporterait une contribution non négligeable à la résolution du problème de l'eau qui se pose à l'agriculture du pays.

1 - Pluviosité :

Il s'agit d'une région relativement pluvieuse (moyenne interannuelle supérieure à 350 mm) ; à forte variabilité (due essentiellement aux pluies orageuses qui donnent des hauteurs d'eau importantes pour un nombre de jours très faible).

La contribution des pluies saisonnières à la valeur annuelle est aléatoire ; plus de 70% du total des précipitations annuelles moyennes ont une forte probabilité de se produire entre septembre et février.

Si on compare les pluies annuelles aux pluies mensuelles correspondantes, il faut noter une contribution mensuelle au total annuel très déséquilibré, surtout pour les années à forte pluviosité. Entre les stations, les différences régionales se manifestent également par une distribution différente des pluies mensuelles et du nombre de jours de pluie par mois.

Les fortes pluies journalières sont plus fréquentes aux mois, d'octobre, novembre et décembre.

Les résultats obtenus par l'application de la loi de GALTON aux échantillons de pluies journalières montrent que :

- Une pluie journalière supérieure à 20 mm est atteinte 4 fois en une année, et une pluie supérieure à 40 mm : 1 fois.
- Une pluie journalière supérieure, à 95 mm pour une récurrence de 10 ans et à 115 mm pour une période de retour de 20 ans.

Le nombre moyen de jours où l'on a une pluie journalière supérieure à 10 mm est de : 11 jours (ENFIDA), 10 (BOUFICHA) et 16 (ZAGHOUAN).
en moyenne un jour de pluie sur 4 reçoit plus de 10 mm. La répartition mensuelle des jours de pluies montrent que les plus fortes pluies sont plus fréquentes en automne que pendant les autres saisons.

2 - Hydrologie :

Pour l'hydrologie de cette zone rappelons au préalable que tous les chiffres ci dessus sont estimés à partir de mesures hydrologiques, faites sur les deux BV, ces dernières années par les soins de la section hydrologie de la DRE. Ces données, malgré une chronologie courte et une précision qui peut souvent faire défaut, constituent de loin la meilleure base pour la connaissance de l'hydrologie de la région. Les estimations tirées de ces valeurs seront plus réalistes que celles obtenues à partir d'une gamme de formules empiriques. Les régimes d'écoulements (liquides et solides) de ces 2 Oueds sont très aléatoires, violents et brefs. En automne on observe les plus fortes fréquences d'apparition des crues de volumes supérieurs aux valeurs seuil (forte intensité associée à des sols nus). Avant fin novembre, il se produit une année sur deux un ruissellement apportant plus de 1.5 millions de m³ (O.Khairat). Après le 30 avril, il se produit très peu de crues, les rares événements produits sont de faibles importance. Entre début mars et fin avril, période très critiques pour la réussite d'une culture de céréale on pourrait avoir une année sur deux un volume ruisselé supérieur à 0.3 millions de m³ et une année sur 4 un volume supérieur à 1 million de m³.

3 - Périmètres d'épandage des eaux de crues :

L'épandage des eaux de crue est une technique qui a priori paraît intéressante pour exploiter (du moins partiellement) des masses d'eau énormes apportées par les oueds qui se perdaient dans la mer ou dans des dépressions salées. C'est une des pratiques les plus anciennes utilisées par les fellahs pour

corriger les défaillances pluviométriques.

Ce mode d'utilisation des eaux de crue apparaît comme obligatoire particulièrement dans les régions arides où les pluies sont rares et où il n'est pas possible d'utiliser autrement cette eau. Dans ces régions les précipitations sont toujours insuffisantes et mal réparties dans le temps.

La variabilité des crues (temps et volume) fait que le système ne convient qu'à des cultures appropriées (orge, blé, olivier etc...) puisque les crues de ces oueds offrent d'une année à l'autre et d'une région à l'autre la même irrégularité que les précipitations supérieures à un seuil limite. Il est évident qu'un tel système à caractère aléatoire et basé sur la seule utilisation d'une crue rare et brève ne tient pas compte du stade végétatif de la culture.

Il serait intéressant de mener une étude générale sur tous les périmètres existants en Tunisie en insistant sur l'hydrologie des oueds correspondants qui reste encore peu connu et sur les facteurs socioéconomiques des régions intéressées. Ceci ne serait concluant que si elle était effectuée par un groupe de spécialistes de diverses disciplines.

La réussite d'un tel aménagement dépendra essentiellement de :

- la quantité et la qualité de l'eau disponible
- des caractéristiques d'infiltrations et de pénétration du sol
- de la saison où l'eau est probablement disponible
- des transports solides et des risques d'envasement du système
- de l'habileté des fellahs et de leur degré d'attachement à ce mode d'utilisation des eaux

Les deux derniers facteurs sont à notre avis, les plus importants pour expliquer l'échec des aménagements d'épandage en Tunisie. En effet de tels systèmes apportant un complément de pluies, irréguliers et imprévisibles, installés dans des régions où on ignore cette technique se traduit souvent par un refus d'acceptation de la part du fellah.

Dans l'immédiat et dans la limite du cadre de notre étude insuffisante surtout pour les aspects agronomiques et socioéconomiques, conclure sur l'efficacité d'un tel système serait à notre avis assez hasardeux.

Toutefois et au vu des renseignements hydrologiques et autres dont nous disposons, si imprécis qu'ils puissent être, nous pouvons noter que :

- Les crues sont violentes, brèves et aléatoires.
- Leurs durées sont courtes (10 à 20 heures pour l'Oued Khairat)
- Le transport solide est assez élevé (30 à 40 g/l)
- Les canaux font transiter souvent de faibles débits.

Pourtant malgré le caractère aléatoire et irrégulier des crues, leurs impacts sur l'amélioration de la pluviosité sur le champs est généralement intéressante : 30 à 40% de la pluie moyenne annuelle ; soit pour le périmètre de Oued Khairat un apport médian de 100 mm au cours de la période céréalière.

A l'heure actuelle continuer à exploiter ces aménagements nécessiterait la résolution du problème de l'entretien du réseau, problème capital pour les deux périmètres.

Outre la question de la rentabilité économique (4 à 6 m³ de sédiment à déblayer par hectare pour 100 mm d'eau apportée en année moyenne) se pose la question de la responsabilité de l'opération. Le morcellement des périmètres en petits lots diminue l'intérêt du système.

La répartition des eaux très déséquilibrée et le désintéressement de certains propriétaires envers l'agriculture rendraient difficile un système de cotisation.

De cette étude sommaire et incomplète on peut retenir enfin qu'il n'existe pas de solution générale valable pour tous les périmètres ; beaucoup de recherches restent à faire.

Un projet en cours de réalisation sur l'Oued Zéroud prévoit, entre autre, de réalimenter la nappe de Kairouan à partir des eaux de crues lâchées au niveau du barrage de Sidi Sâad. Cette opération mériterait d'être suivie de très près dans le but de la transposer ailleurs puisqu'en fin de compte rien ne vaut le sol comme réservoir d'eau.

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - AHMED FREH 1962 : L'irrigation par épandage des eaux de crues en TUNISIE.
Ve Congrès des irrigations et du drainage (TOKYO 1963)
- 2 - ALATYRY (R) : Problèmes d'épandage d'eau de crue, mémoire de 3e cycle de l'I.N.A.T. Juin 1977
- 3 - BEN OSMANE. L.:1962 : Note sur les épandages d'eaux de crues en TUNISIE H.E.R. TUNIS.
- 4 - BERKALOFF. E : Note sur le bassin de l'oued Gastla Mai 1951.
- 5 - BERKALOFF. E : Note sur le bassin de l'oued Moussa Mai 1956.
- 6 - BIRH. 1953 : Evaporation, tableau comparatif des mesures faites sur l'oued Kébir 1933-1952- Tunis.
- 7 - BLANCHET : Inondation dans le Cap-Bon
Irrigation par épandage des crues
O.C.D 1975 (mission d'hydraulique fluviale).
- 8 - BOULAINÉ. J.1976 : Cours d'hydropédologie Tome 1 et 2
ENGREF Paris.
- 9 - BOUSABBAH.M. 1971 : Etude des intensités maximales de Tunis
Mannoubia Tunis
- 10- BOUZAEIN : Rapport d'installation d'une station hydrologique sur l'oued Khairat Juin 1974
- 11- BRUNET-MORET (Y) Distribution Gausso-logarithmique- cahier ORSTOM série Hyd. Vol. XII, 2 1975.
- 12- BRUNET MORET (Y) Etude de l'homogénéité des séries chronologiques de précipitation annuelle par la méthode des doubles masses cahier.Hydro.Vol.VIII,4.1971
- 13- BRUNET MORET (Y) Etude de quelques lois statistiques utilisées en "hydrologie" Vol VI, 3, 1959.
- 14- BRUNET MORET (Y) Le test X^2 de PEARSON, ORSTOM Note techniques N°3 Novembre 1970.

- 15 - BRUNET MORET (Y) et ROCHE (P) Etude théorique et méthodologique de l'abattement des pluies.
- 16 - CORMARY. Y 1964 : Les pluies en Tunisie
1 - Texte
2 - Annexes. Tunis BIRH
- 16' - CLAUDE. J. CHARTIER. R. Mesure de l'envasement dans les retenues de six barrages en Tunisie campagne de 1975
DRES-ORSTOM
- 17 - COTHA 1955 : Etude de l'aménagement de l'irrigation par épandage des crues à Bouficha - Avant projet.
- 18 - DARLOT 1963 : L'aménagement des périmètres d'épandage d'eaux de crue en zone aride.
Ve Congrès international des irrigations et du drainage (TOKYO 1963).
- 19 - DUBREUIL (P) : Tarage et calcul des débits des stations hydro-métriques non univoques Vol VII, 3, 1970.
- 20 - DUBREUIL (P) : Point de vue- théorique sur le rôle du sol dans le cycle hydrologique cah.Hydro. IV, 1, 1967.
- 21 - DUBREUIL-COLOMBANI : Mesures d'humidité et de perméabilité des sols dans les bassins représentatifs et expérimentaux.
- 22 - DUBREUIL (P) : Initiation à l'analyse hydrologique.
- 23 - DUBREUIL (P) : Comportement et interaction des paramètres physiques de petits bassins versants semi-arides et intertropicaux.
- 24 - DUBREUIL (P) : Détermination des paramètres du sol influant sur le cycle hydrologique dans les B.R.E. (protocoles de mesures) cah.ORSTOM série hydrologie. Vol IV N°3 1968
- 25 - DUBREUIL-COLOMBANI : Mesures d'humidité et de perméabilité des sols dans les B.R.E, additifs aux protocoles et présentation des résultats. ORSTOM, Note tech. N°21.
- 26 - D.E.G.T.H. : Plan directeur des eaux du centre
- 27 - DUBOUDRAY - LABLANCHERE : L'aménagement de l'eau et l'installation rurale dans l'Afrique ancienne.

- 28 - D.R.E. : Monographie de l'oued Miliane (1973)
- 29 - FRANQUIN (P) Méthode d'égalisation des erreurs relatives.
Application à des problèmes climatologiques
cah V, 1, 1968.
- 30 - FRANCOV (J), RODIER (J) - Essai de classification des crues
maximales observées dans le monde
cah Vol, IV, 3, 1967
- 31 - GAUCHER : Traité de pédologie Agricole - DUNOD 1968
- 32 - GIRARD (G) : Application du modèle à discrétisation spatiale au
bassin versant de l'île Ghorfa (Mauritanie)
cah ORSTOM Série Hyd. Vol XII, 3, 1975
- 33 - GIRARD (G) : Les modèles hydrologiques pour l'évaluation de la
lame écoulée en zone Sahélienne et leurs contraintes
cah ORSTOM Série Hyd. Vol XII, 3, 1975.
- 34 - GIRARD : Modèle précipitations-débits à discrétisation spatiale
cah ORSTOM Vol IX, 4, 1972
- 35 - GIRARD (G) : Etude du Ruissellement sur un bassin de 1200 Km²
et recherche d'un modèle hydropluviométrique
- 36 - HAMEA HACHMI : Protection de l'environnement et conservation
des eaux et du sol
INRF - Ministère de l'Agriculture Mai 1976
- 37 - HAMZA (M) : Etude pédologique du périmètre de Bouficha Mars 1960
- 38 - HEUSCH (B) : Comment estimer le ruissellement et l'érosion d'un
bassin ?
Bulletin de liaison des ingénieurs Forestiers N°5
1971.
- 39 - INCONNU : Climatologie de la Tunisie - Normales et statistiques
diverses - Service de la météo. nationale.
- 40 - INRAT : Carte phyto-écologique de la Tunisie septentrionale
éch. 1/200 000
Annales de l'INRAT feuille I (1966) et feuille II(1967)
- 41 - J.F. (JAPON) : Etude du système hydrologique "MESKAT" intensi-
té et durée des averses enregistrées dans le
sahel de Sousse.
Lausanne, Aout 1976.

- 42 - MONTMARIN.A. 1953 : Intensité et durée des averses enregistrées à Tunis - Tunis BIRH
- 43 - NEYRPIC-AFRIQUE : Oued el boul - étude sur modèle réduit du barrage et de la prise d'eau Mars 1960.
- 44 - O.M.M/DHI : Préparation de cartes coordonnées des précipitations de l'écoulement et de l'évaporation par T.J. Nordenson Rapport N°6.
- 45 - PEGUY.Ch.P. 1970 : Précis de climatologie. Masson et Cie.Paris
- 46 - REMENERIA : Hydrologie de l'ingénieur
- 47 - RIOU (C) : Evaporation en bac et évapotranspiration potentielle vol XII, 3, 1970
Cah. O.R.S.T.O.M.
- 48 - RIOU (Ch) : Quelques relations entre pluie, ruissellement et infiltration obtenues en laboratoire sur des sols initialement secs - cah hyd.N°5 1966.
- 49 - ROCHE (M) Hydrologie et aménagement des eaux (méthode structurale) cah.ORSTOM Vol X, 1, 1973
- 50 - ROCHE (M) Les divers types de modèles déterministes cah hyd. Vol VII, 4, 1970
- 51 - ROCHE : Hydrologie de surface
- 52 - SABATHE (R) : Etude pédologique du périmètre d'Enfidaville N°212 Juillet 1959.
- 53 - SCET 1965 - Bassin versant de l'oued Miliane étude hydrologique à l'aval de Bir Mcherga - Tunis
- 54 - Etude pedologique du sahel - Nov. 1967
- 55 - TIXERONT.J. 1956 : Les ressources en eau dans les régions arides "Annales des ponts et chaussées" N°3
- 56 - TIXERONT.J. 1959 : Note au sujet de l'évaporation sur plan d'eau en Tunisie - Tunis, HAR.
- 57 - TIXERONT.J. : Les ressources en eau dans les zones arides Annales des ponts et chaussées N°3.1956.

- 58 - TIXERONT.J. 1951 : Etude du ruissellement et de l'érosion dans le bassin de l'oued Kebir, Tunis HAR.
- 59 - TOUCHEBEUF DE LUSIGNY (P) : Régressions et corrélation multiples en hydrologie
cah hydro Vol VIII, 4, 1971.
- 60 - VAN HOORN JW. 1960 : Fréquence des pluies tombées en 1,2,3,4,5 et 7 jours consécutifs, station de Tunis Mannoubia
(1907-1960) Tunis OMVVM.
- 61 - VUILLAUME (G) : Analyse quantitative du rôle du milieu physicoclimatique sur le ruissellement et l'érosion à l'issue de bassins de quelques hectares en zone sahélienne. vol VI, 4 1969.

A N N E X E S

- Annexe 1 : Caractéristiques de quelques aménagements d'épandage des eaux de crues en TUNISIE.
- Annexe 2 : Oued Kairat et O.R'mel : Pluviosité sur leurs bassins versants.
- Annexe 3 : Ajustement graphique d'une loi Gausso-log à une échantillon de pluies journalières.
- Annexe 4 : Traçé de quelques hydrogrammes: -O.Kairat (C15)
-O.R'mel
- Annexe 4bis : Périmètre d'ENFIDA : Profils hydriques en quelques sites.
- Annexe 5 : Reconstitution des volumes dérivables vers le périmètre d'épandage d'ENFIDA.

A N N E X E I

CARACTERISTIQUES DE QUELQUES AMENAGEMENTS D'EPANDAGE
DES EAUX DE CRUES EN TUNISIE

Trois groupes assez homogènes se partagent les principaux périmètres qui ont existé ou qui existent encore en Tunisie (fig 1)

Groupe 1 : Périmètres traditionnel

- O.Zéroud
- O.Merguellil
- O. El Fakka

Groupe 2 : Périmètres anciens

- Ce sont essentiellement les périmètres de la région de Gafsa et de Maknassy

Groupe 3 : Périmètres récents

- O.Morra (Medenine)
- O.Nadour (Maknassy)
- O.R'mel (Bouficha)
- O.El Khairat (Enfida)
- O.Djir (Matmata)
- O.Hachim (Sidi Bouzid)

Groupe 1 : Périmètres traditionnels

Diverses formes traditionnelles d'utilisation de l'eau de crues se rencontrent en Tunisie, dont l'origine paraît fort lointaine.

Les Romains grands constructeurs de citernes et d'aqueducs réalisèrent peu d'ouvrages d'irrigation. On retrouve cependant les ruines d'un grand barrage d'épandage sur l'O.Khairat à quelques centaines de mètres en aval du nouveau barrage.

Actuellement plusieurs formes traditionnelles d'utilisation des eaux sauvages se rencontrent encore en Tunisie Centrale (plaines de Kairouan et de Sidi Bouzid).

Périmètre de l'O.Fakka

Le système d'épandage des eaux de crue comprenait, d'une part une série de M'gouds et, d'autre part, un barrage de dérivation.

Les M'gouds sont des petits canaux de dérivation sans barrages le nombre de M'gouds et la largeur des brèches semblent être fixés par des droits locaux. Les zaafrias avaient 16 M'gouds en rive gauche. Sur la rive droite les Nouailis en avaient un et les Soualis une dizaine.

Ce mode de dérivation est très simple, il demande par contre un entretien continu souvent pénible, car les entrées sont à refaire après chaque grosse crue.

Un barrage de dérivation en béton a été construit à 7 Km environ à l'aval de la piste des Zaafrias. Implanté en un point où les berges étaient assez rapprochées, sa largeur totale est de 78 m . UN canal de 15 m de largeur au plafond amène les eaux dérivées sur les terres des Guemamdia.

Actuellement il ne subsiste que quelques M'gouds en amont du périmètre, d'ailleurs ils sont très mal entretenus, les ravinements dans la zone d'épandage sont très importants.

Plaine de Kairouan

Schématiquement, le dispositif de dérivation sur chaque périmètre est constitué par un barrage en terre et fascines, barrant la totalité de l'Oued sur 200 à 500 m de largeur et 3 à 6 m de hauteur, prolongé par une digue dérivant l'eau vers les terrains à inonder. Il se crée donc un véritable oued artificiel à partir duquel des partiteurs en terre divisent l'eau dans des " M'gouds" ou la déversent directement dans les champs. Les fortes crues provoquent des dégâts considérables dans les ouvrages et sur le terrain, le lit d'oued se déplaçait et le périmètre inondé se modifiait sans cesse . Deux associations groupent obligatoirement tous les riverains pour régler les droits d'eau et veiller à l'entretien des ouvrages. La superficie gérée par ces "Syndicats était approximativement de 2100 ha pour l'O.Zéroud et 4000 ha pour l'Oued Merguellil.

Le rendement moyen en céréales ne dépassait pas les 3 q^x/ha pour les terres non irriguées, tandisqu'il était 2,5 à 3 fois plus élevé en moyenne pour les terres inondées.

Actuellement pour le périmètre de l'O.Zéroud, tout a été ravagé par les crues catastrophiques de 1969. Alors que pour le périmètre de Merguellil il y a de l'eau qui se dévie vers le périmètre malgré la destruction du barrage, mais l'absence d'entretien des "M'gouds" a favorisé la multiplication des ravins sur le périmètre.

Groupe 2 : Périmètres anciens

On désignera ainsi les nombreux périmètres réalisés dans la région du Sud-Ouest de la Tunisie entre 1950 et 1956. Ces aménagements ont vu le jour dans deux conditions assez particulières.

- nécessité d'aménager rapidement une région défavorisée.
- nécessité d'utiliser une main d'oeuvre non spécialisée et peu encadrée

Tous ces aménagements ont abouti à des échecs massifs. Entre autre causes d'échecs, nous pouvons relever :

- absence ou désintérêt des populations
- sites peu favorables (oueds trop encaissés ou trop instables);
- périmètres accidentés ou à pente trop élevée
- barrages emportés
- bassins versants trop modestes et peu arrosés, etc...

tous ces périmètres étaient réalisés en gabions.

Groupe " : Périmètres récents

Ces aménagements sont les périmètres les plus importants et se constituent de "grand travaux".

Les deux périmètres de O.R'mel et O.El Khairat, les seuls qui se trouvent dans une zone à pluviosité supérieure à 300 mm, sont déjà décrits dans le texte.

Périmètres récents

	Superficie du périmètre (ha)	Superficie du bassin versant Km ²	Pluiosité (mm)	Date de mise en service
O.MORRA	500	240	140	1957
O.NADOUR	1800	120	220	1958
O.EL HACHIM	2000	360	200	1961
O.DJIR	900	120	200	1964

Les deux premiers périmètres les plus anciens (1) ont constitués les périmètres pilotes dont on indiquera les caractéristiques principales au paragraphe 3.2 ci après.

Les deux derniers (O.Khairat en est ^{le} 3ème), les plus modernes sont conçus suivant un schéma type déterminé à partir des résultats des périmètres précédents seront étudiés au parag.suivant.

31 : OUEDS : EL HACHIM, DJIR

n, 311 Ouvrage de dérivation.

Constitué par un seuil déversant, un ouvrage de prise à vannes et un dispositif de chasse les caractéristiques principales sont :

(1) O.R'mel fait partie de ce groupe

Caractéristiques des ouvrages des Oueds :
EL HACHIM et DJIR

	Oued EL HACHIM	Oued DJIR
<u>- Seuil deversant</u>		
hauteur du seuil	1m 80	2m 80
longueur du seuil	300 m	68 m
matériau	maçonnerie	béton
debit max.prévu	1000 m ³ /s	800 m ³
<u>- Ouvrages de prises</u>		
débit dérivé	50 m ³ /s	50 m ³ /s
nombre de passes	12	6
hauteur des passes	1m 00	1m 00
largeur des passes	2m 00	4m 00
largeur du canal de drivation	22 m	22 m
<u>- Ouvrage de chasse</u>		
type	pertuis	canal + pertuis
nombre de passes	3	2

Canal principal :

Le canal principal est unique et fonctionne donc pendant toute la durée de la crue. Il est réalisé en déblai et longé par deux pistes latérales en remblai. La vitesse de l'eau est limitée à 1m/s en moyenne (pente 20/100). Des ouvrages de chute compendent la pente du terrain naturel. Les partiteurs alimentants les canaux secondaires sont tous conçus sur le principe du partiteur proportionnel à seuil, tous ces ouvrages sont réalisés en maçonnerie ou en béton.

Canaux secondaires :

	Oued EL HACHIM	Oued DJIR
Ecartement	500 m	500 m
Longueur maximale	4000 m	1400 m
Pente moyenne	2 o/oo	2 o/oo
Tirant d'eau	0.5 m	0.5 m
Vitesse moyenne	0.6 m/s	0.6 m/s

Caractéristiques générales des périmètres :

	Oued EL HACHIM	Oued DJIR
Débit dérivé max.	50 m ³ /s	30 m ³ /s
Superficie irriguée	2000 ha	920 ha
Débit spécifique	25 l/s/ha	30 l/s/ha
Coût total (prix année)	383 000 D(1961)	218 000 D(1964)
Pluviosité annuelle	190 D/ha	240 D/ha
moyenne	250 mm	180 mm

32.- Périmètres de : O.MORRA et O.NADOUR

321 - Périmètre O.MORRA (1957-500 ha)

Ce périmètre réalisé dans une région déjà semi désertique (140 mm) est irrigué par un bassin versant peu étendu (240 Km²). Il comprend :

- Un barrage classique à seuil déversant, ouvrage de prise à masques Neyrpic (sans vannes) et canal de chasse, dérivant 30 m³/s
- Un canal principal très large avec des déversoirs latéraux à gros débit (3 déversoirs de 10m³/s environ).

- Un système de banquettes en courbe de niveau, très solide, interrompues par des déversoirs importants en maçonnerie. Il n'y a pas un réseau secondaire et l'épandage se fait en nappe sur de grandes surfaces.

322 - Périmètre de l'Oued NADOUR (1957-1800 ha)

Ce périmètre actuellement hors d'usage comprenait :

- Une digue,
- Un ouvrage de prise à masque sans vannes,
- Deux canaux principaux avec prise par pertuis latéral
- Des canaux secondaires enterrés profondément (0.5 m).

32.- Etat actuel de ces périmètres (Mars 1979)

Les trois aménagements sur les oueds : MORRA, EL HACHIM et DJIR sont en assez bon état car il s'agit des ouvrages en béton. Lors de notre visite à ces périmètres (après la crue du début mars sur l'Oued DJIR et MORRA) nous avons relevé les constatations suivantes :

- Un ensablement presque total des barrages déversoirs, d'où une diminution très marquée des débits déviés vers les périmètres.
- Les dégâts provoqués par l'érosion sur les canaux et les banquettes ont sensiblement réduit la superficie inondée.
- Le rehaussement du terrain dû aux apports alluviaux, rend difficile la sortie de l'eau par les prises ce qui a favorisé la formation des ravins sur les périmètres.

Pour le périmètre de l'Oued Nadour, la digue a été emportée lors des crues de 69. D'ailleurs cet aménagement n'a jamais fonctionné correctement depuis son existence du fait du principe même de la digue fusible et des dépôts solides énormes qui ont contribué au changement de la topographie du périmètre. Les agriculteurs de la région se sont tournés ces dernières années vers la construction des puits de surface (plus de 80 puits sont déjà construits) et pour eux, l'expérience malheureuse de cet aménagement, a fait perdre toute confiance en de tels ouvrages.

PLUVIOSITE ANNUELLE CLASSEE PAR ORDRE DECROISSANT

Annexe 2

B O U F I C H A

N ^o	Année	Pluie	Fréquence	N ^o	Année	Pluie	Fréquence
1	58-59	718,3	0,0077	34	22-23	332,9	0,5154
2	31-32	644,3	0,0231	35	69-70	321,2	0,5308
3	34-35	639,5	0,0385	36	29-30	321,2	0,5461
4	20-21	584,6	0,0538	37	19-20	313,4	0,5615
5	73-74	567,5	0,0692	38	70-71	311,3	0,5769
6	63-64	563,0	0,0846	39	11-12	311,1	0,5923
7	42-43	553,3	0,1000	40	23-24	306,3	0,6077
8	72-73	553,2	0,1153	41	68-69	291,0	0,6231
9	53-54	542,6	0,1307	42	52-53	283,7	0,6385
10	12-13	531,9	0,1461	43	24-25	279,2	0,6538
11	25-26	508,7	0,1615	44	61-62	270,3	0,6692
12	41-42	468,3	0,1769	45	18-19	267,4	0,6846
13	74-75	466,4	0,1923	46	54-55	462,7	0,7000
14	56-57	458,5	0,2076	47	30-31	261,0	0,7154
15	17-18	457,3	0,2230	48	35-36	255,1	0,7308
16	28-29	456,3	0,2384	49	36-37	248,0	0,7461
17	16-17	440,7	0,2538	50	43-44	243,7	0,7615
18	75-76	440,4	0,2692	51	66-67	243,3	0,7769
19	27-28	424,6	0,2846	52	44-45	243,2	0,7923
20	71-72	409,1	0,3000	53	49-50	235,3	0,8077
21	57-58	402,1	0,3154	54	47-48	234,5	0,8231
22	47-48	401,0	0,3308	55	59-60	224,9	0,8385
23	55-56	397,3	0,3461	56	30-40	223,4	0,8538
24	15-16	392,6	0,3615	57	60-61	189,2	0,8692
25	38-39	383,1	0,3769	58	40-41	187,6	0,8846
26	62-63	379,0	0,3923	59	45-46	180,3	0,9000
27	32-33	376,4	0,4077	60	37-38	175,6	0,9154
28	67-68	368,5	0,4231	61	21-22	175,3	0,9308
29	33-34	364,1	0,4385	62	50-51	169,7	0,9461
30	55-56	355,6	0,4538	63	26-27	156,4	0,9615
31	64-65	352,0	0,4692	64	13-14	145,2	0,9769
32	14-15	348,9	0,4846	65	46-47	142,0	0,9923
33	51-52	344,7	0,5000				

PLUVIOSITE ANNUELLE CLASSEE PAR ORDRE DECROISSANT

Z A G H O U A N

A 22

N ^o	Année	Pluie	Fréquence	N ^o	Année	Pluie	Fréquence
I	53-54	972,9	0,0082	33	30-3I	475,1	0,5328
2	58-59	823,9	0,0246	34	I6-I7	461,5	0,5492
3	28-29	866,6	0,0410	35	59-60	458,4	0,5656
4	3I-32	809,7	0,0574	36	I7-I8	443,0	0,5820
5	28-29	751,4	0,0738	37	67-68	431,5	0,5984
6	10-II	744,4	0,0902	38	54-55	430,3	0,6148
7	48-49	715,1	0,1066	39	29-30	429,4	0,6311
8	72-73	685,5	0,1230	40	21-22	427,5	0,6475
9	57-58	677,2	0,1393	41	36-37	420,2	0,6639
10	27-28	644,1	0,1557	42	40-41	418,7	0,6803
11	69-70	651,8	0,1721	43	33-34	413,3	0,6967
12	71-72	641,6	0,1885	44	41-42	408,8	0,7131
13	32-33	640,0	0,2049	45	47-48	408,2	0,7295
14	61-62	635,4	0,2213	46	35-36	407,1	0,7459
15	12-13	616,2	0,2377	47	22-23	399,8	0,7623
16	34-35	589,5	0,2541	48	46-47	389,3	0,7787
17	11-12	586,6	0,2705	49	24-25	380,5	0,7951
18	38-39	583,9	0,2869	50	09-10	366,1	0,8115
19	51-52	574,1	0,3033	51	19-20	347,0	0,8279
20	18-19	549,9	0,3197	52	44-45	343,9	0,8443
21	73-74	547,0	0,3361	53	66-67	342,2	0,8607
22	52-53	538,5	0,3525	54	50-51	324,2	0,8770
23	55-56	538,3	0,3689	55	60-61	322,3	0,8934
24	23-24	525,0	0,3852	56	43-44	313,4	0,9098
25	25-26	519,8	0,4016	57	37-38	302,2	0,9262
26	42-43	508,9	0,4180	58	13-14	283,0	0,9426
27	49-50	507,2	0,4344	59	68-69	276,8	0,9590
28	70-71	505,5	0,4508	60	45-46	257,0	0,9754
29	14-15	500,8	0,4672	61	26-27	238,8	0,9918
30	62-63	487,8	0,4836				
31	74-75	485,0	0,5000				
32	15-16	480,8	0,5164				

PLUVIOSITE ANNUELLE CLASSEE PAR COTE DECROISSANT

E N F I D A

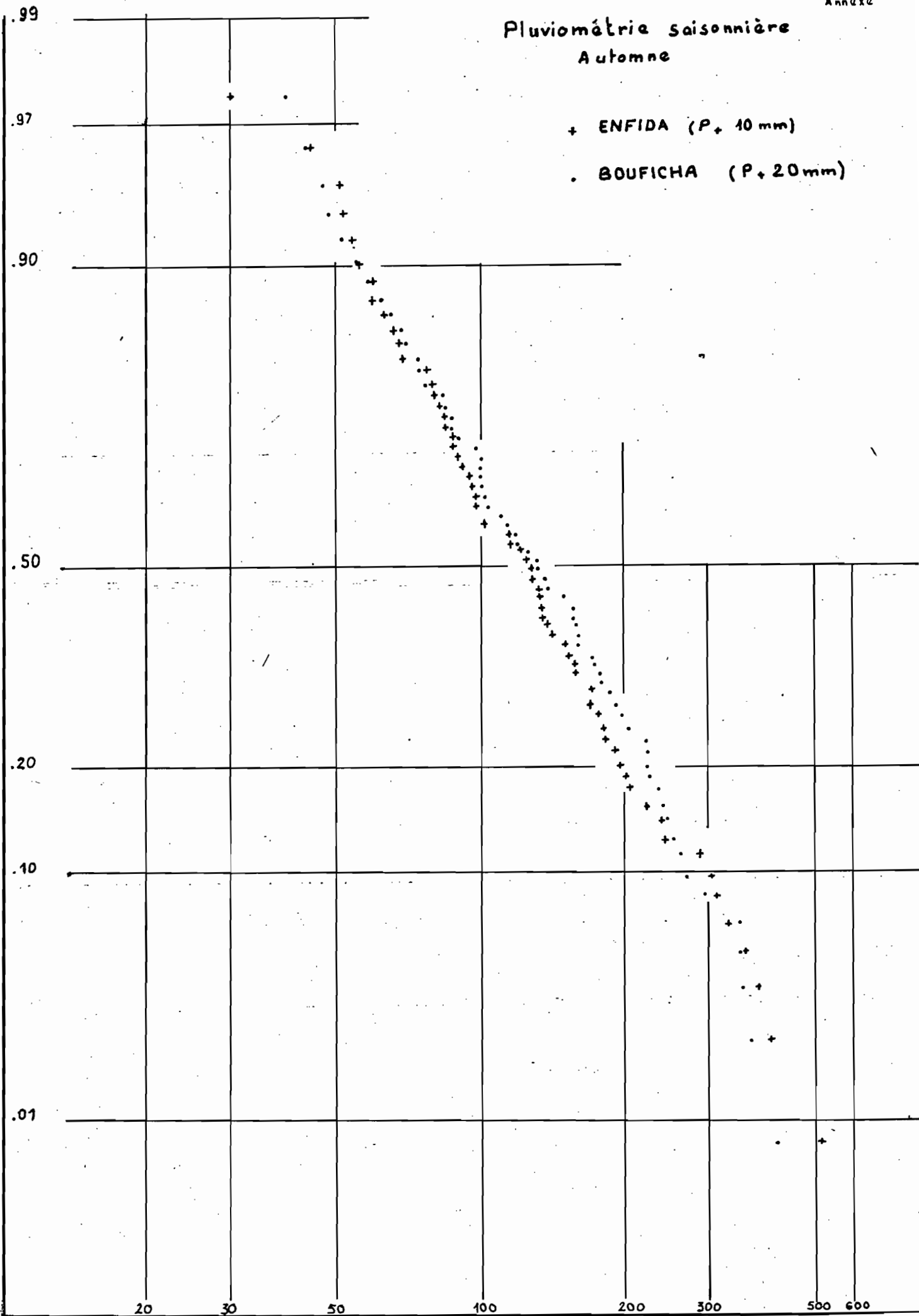
A 23

N ^o	Année	Pluie	Fréquence	N ^o	Année	Pluie	Fréquence
1	58/59	774,0	0,0077	34	62/63	365,3	0,5154
2	31/32	714,6	0,0231	35	29/30	362,2	0,5308
3	34/35	711,8	0,0385	36	44/45	331,2	0,5461
4	42/43	624,1	0,0538	37	16/17	329,9	0,5615
5	75/76	608,6	0,0692	38	64/65	324,2	0,5769
6	20/21	593,7	0,0846	39	35/36	318,3	0,5923
7	41/42	579,5	0,1000	40	40/41	307,5	0,6077
8	72/73	553,6	0,1154	41	24/25	300,8	0,6231
9	38/39	546,6	0,1308	42	14/15	300,7	0,6385
10	12/13	528,2	0,1461	43	61/62	293,0	0,6538
11	63/64	511,5	0,1615	44	36/37	291,2	0,6692
12	73/74	508,0	0,1769	45	65/66	290,8	0,6846
13	74/75	500,7	0,1923	46	59/60	276,0	0,7000
14	28/29	487,6	0,2077	47	23/24	268,6	0,7154
15	69/70	478,2	0,2231	48	49/50	264,0	0,7308
16	51/52	475,5	0,2385	49	37/38	263,2	0,7461
17	32/33	471,7	0,2538	50	43/44	261,0	0,7615
18	57/58	466,4	0,2692	51	52/53	260,8	0,7769
19	56/57	457,7	0,2846	52	54/55	250,2	0,7923
20	25/26	438,3	0,3000	53	18/19	249,9	0,8077
21	53/54	434,5	0,3154	54	19/20	246,9	0,8231
22	39/40	426,5	0,3308	55	30/31	234,3	0,8385
23	33/34	426,0	0,3461	56	68/69	230,5	0,8538
24	71/72	421,4	0,3615	57	47/48	227,0	0,8692
25	15/16	415,9	0,3769	58	66/67	219,9	0,8849
26	27/28	412,9	0,3923	59	60/61	208,0	0,9000
27	67/68	406,8	0,4077	60	21/22	207,4	0,9154
28	17/18	400,7	0,4231	61	45/46	188,5	0,9308
29	55/56	398,9	0,4385	62	46/47	177,2	0,9461
30	48/49	397,5	0,4538	63	50/51	156,9	0,9615
31	70/71	391,4	0,4692	64	26/27	132,2	0,9769
32	11/12	374,3	0,4846	65	13/14	120,0	0,9923
33	22/23	371,4	0,5000				

Pluviométrie saisonnière Automne

+ ENFIDA (P+ 10 mm)

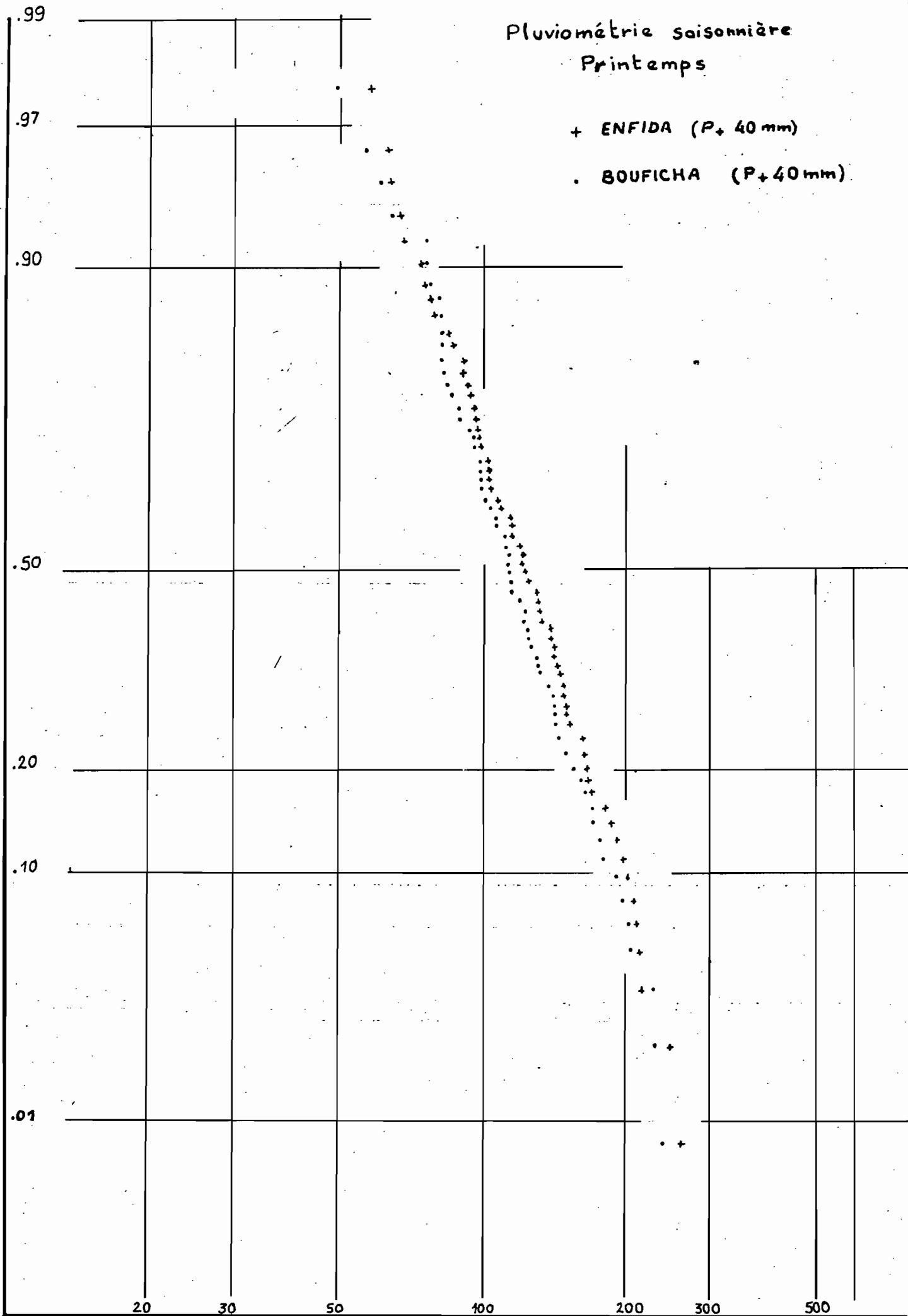
. BOUFICHA (P+ 20 mm)

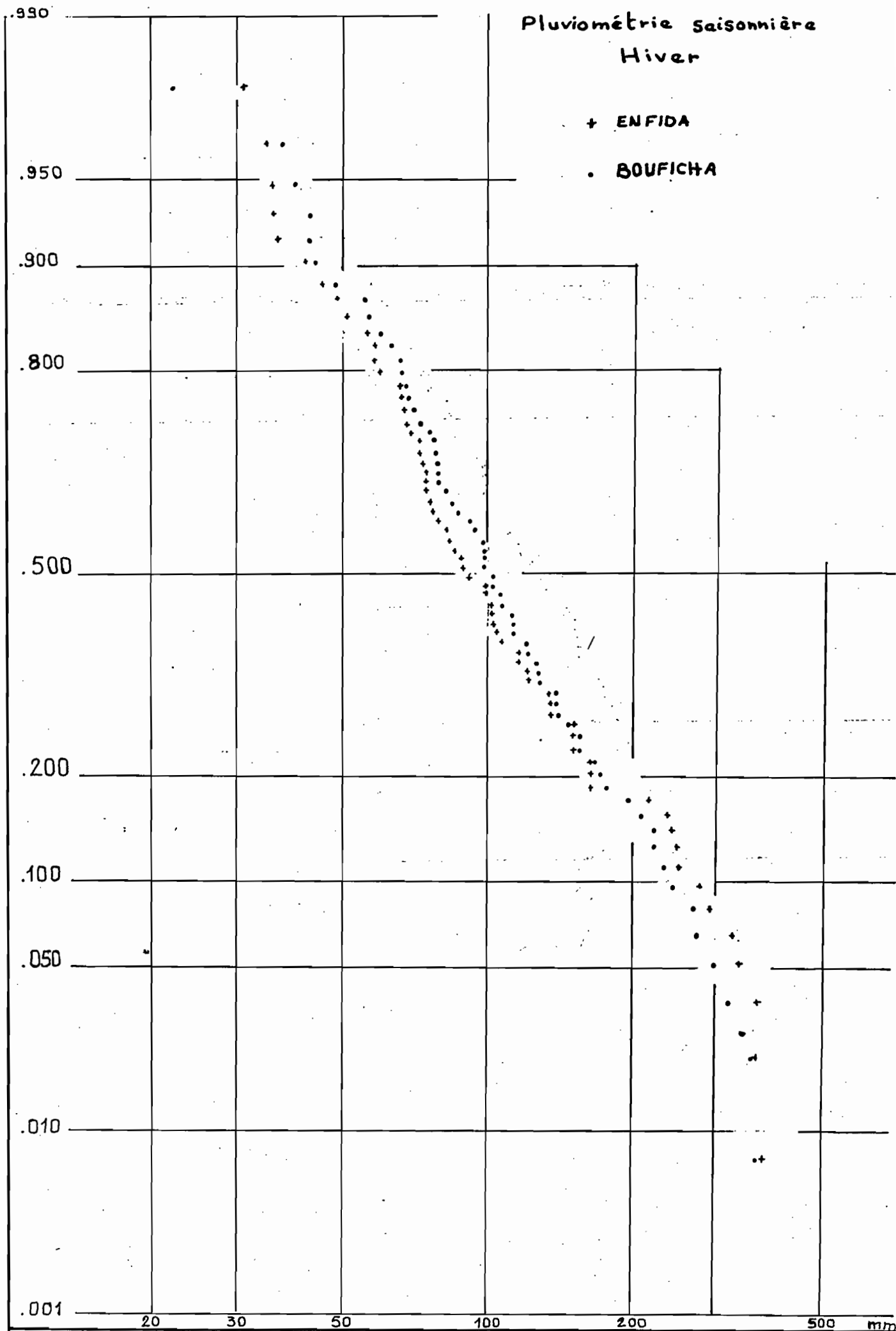


Pluviométrie saisonnière Printemps

+ ENFIDA (P+ 40 mm)

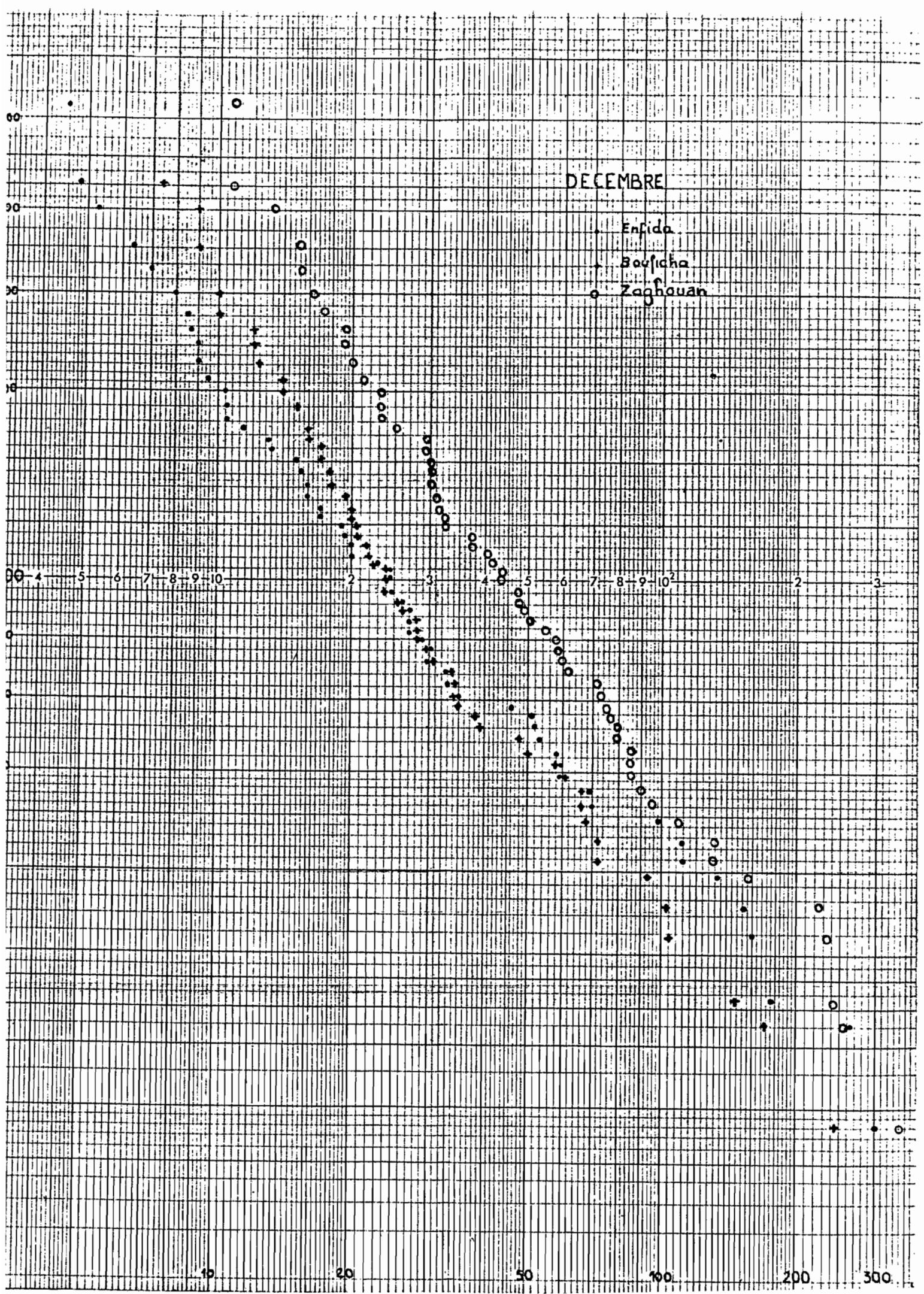
. BOUFICHA (P+ 40 mm)





DECEMBRE

- Enfida
- Bouficha
- Zaghouan

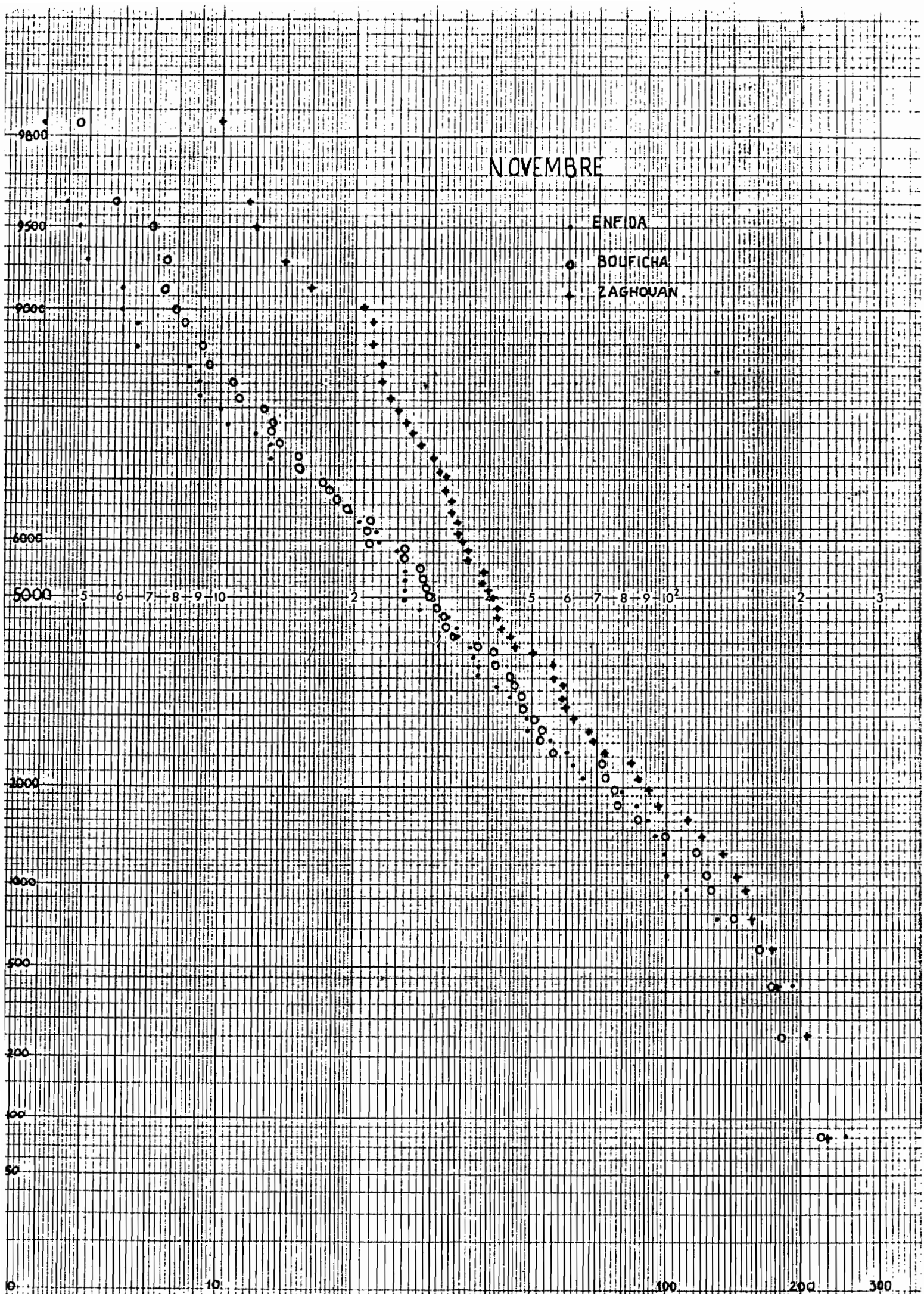


NOVEMBRE

ENFIDA

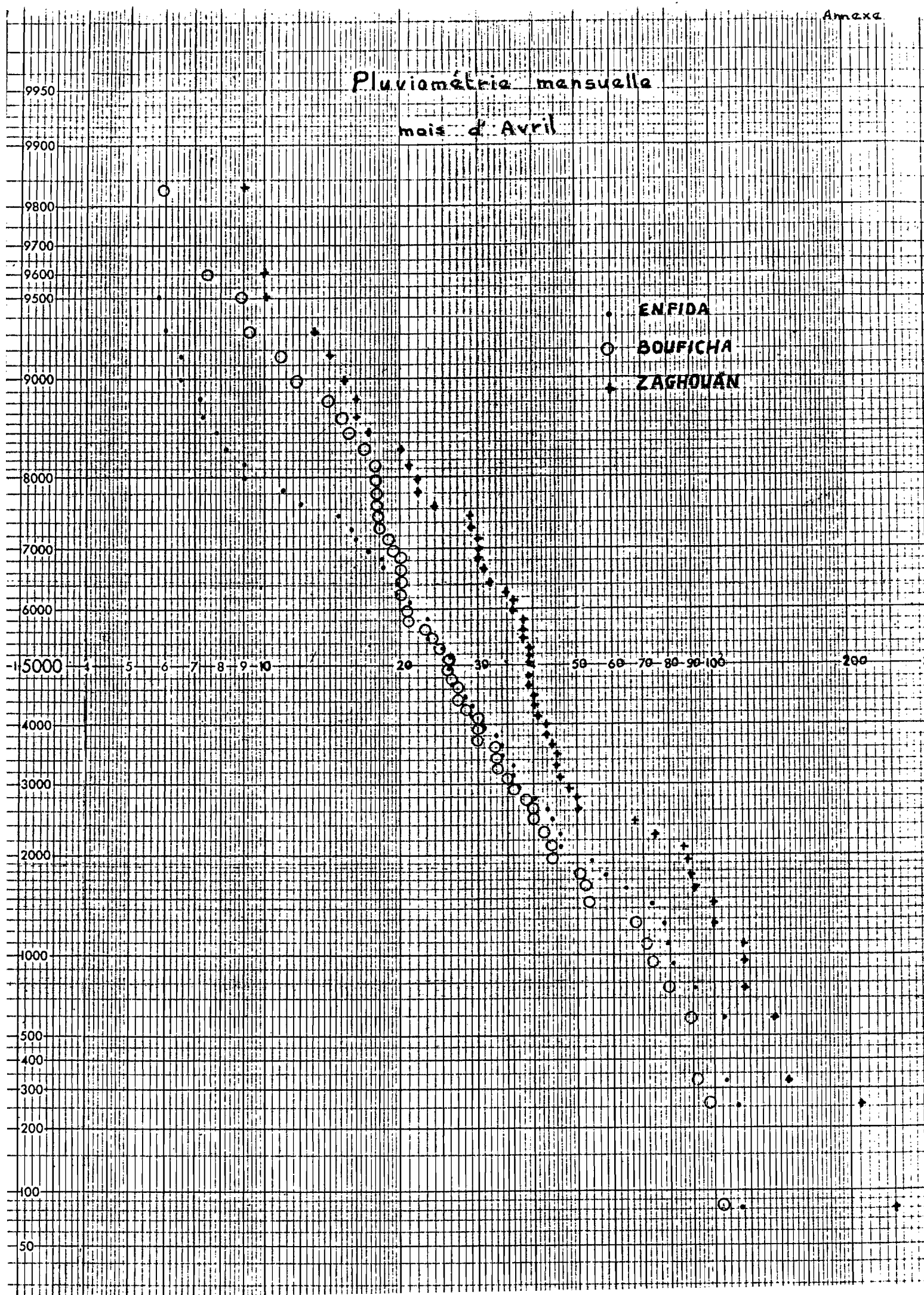
BOUFICHA

ZAGHOUAN



Pluviométrie mensuelle

mois d'Avril



AJUSTEMENT DE LA LOI GAUSSAU-LOGARITHMIQUE ET
DETERMINATION DES PARAMETRES PAR LA METHODE GRAPHIQUE (4)

1- FONCTION DE REPARTITION:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^u \frac{1}{u} \exp\left(-\frac{(\log u)^2}{2\sigma^2}\right) du.$$

avec:

$$- u = \frac{x - x_0}{s}$$

- x_0 : paramètre de position, borne inférieure de l'intervalle de définition de la variate,

- s : paramètre d'échelle, positif, différent de zéro,

- σ : paramètre de forme, positif et différent de zéro.

2- FONCTION DE DENSITE:

Elle s'écrit : $f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{u} \exp\left[-\frac{(\log u)^2}{2\sigma^2}\right]$

la dérivé première s'annule pour $u = \exp(-s^2)$

3- DISTRIBUTION TRONQUEE EN FREQUENCE:

Cetronquage correspond au cas où le paramètre de position x_0 est connu à l'avance et où la variate peut prendre cette valeur exacte avec une probabilité non nulle F_0 : paramètre de tronquage, la fonction de répartition s'écrit alors au non dépassement:

$$F(x) = F_0 + (1-F_0) \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^u \frac{1}{u} \exp\left(-\frac{(\log u)^2}{2\sigma^2}\right)$$

4- METHODES GRAPHIQUES DE DETERMINATION DES PARAMETRES:

La valeur du paramètre de position est connue à priori, il faut déterminer les valeurs des paramètres d'échelle, de forme, et de tronquage, et le seuil de troncature qui fournit le meilleur alignement.

N : nombre total d'observations supérieures ou égale à x_0 ,

F_0 : probabilité d'observations égales à x_0 (x_0 : borne inférieure)

Les observations sont rangées en ordre décroissant, et à l'observation de rang i on associe la probabilité au dépassement: F_{1i} .

$$F_{1i} = \frac{i - 0.5}{N(1-F_0)}$$

la variable réduite de Gauss correspondant à F_{1i} s'écrit:

$$t = \frac{\text{Log}\left(\frac{x-x_0}{s}\right)}{\sigma} \quad \text{ou en log décimal} \quad t' = tx \log(e)$$

la méthode consiste à porter sur un graphique gaussio-log les points de coordonnées $(x_i - x_0)$ et $F_{1i} = \frac{i-0.5}{N(1-F_0)}$ en faisant varier F_0 de façon à obtenir le meilleur alignement possible pour les points x_i .

Une fois F_0 choisie, la valeur de t est celle de la pente de la droite, compte tenu des unités du graphique et celle de s et $(x-x_0)$ qui, sur la droite correspond à $F = 0.5$ ($t'=0$).

x_h : seuil de troncature que l'on choisira (en principe le plus bas possible).

5- APPLICATION AUX STATIONS : ENFIDA, BOUFICHA, ZAGHOUAN.

La valeur des paramètres de position a été choisie égale à zéro. Nous avons fait varier F_0 pour chaque station en portant sur un graphique Gaussio log, en ordonnée: $\frac{i-0.5}{N(1-F_0)}$,

en abscisse: la précipitation correspondant au rang i .

N étant le nombre total de jours de pluie de la période d'observation.

Nous avons choisies les valeurs :

- $F_0 = 0.945$ pour ENFIDA

- $F_0 = 0.930$ pour BOUFICHA

- $F_0 = 0.940$ pour ZAGHOUAN

car il nous semble que ces valeurs fournissent l'alignement le moins mauvais et nous avons tracé les droites représentatives (fig. jointes)

A chaque droite de ces figures correspond une équation de la forme

$$\log(x - x_0) = 0.4343 t + \log(s)$$

t : étant la variable réduite de Gauss.

Pour $t=0$ (probabilité=0.5) s est lu sur le graphique.

Pour $t=2.326$

$$t' = tx \log(e) = 1.0102 \quad (\text{probabilité} = 0.01)$$

d'où on peut tirer la valeur de $(x-x_0)$ du graphique tracé, et celle

$$\text{de : } \sigma = \frac{\log(x) - \log(s)}{1.0102}$$

La fonction de répartition s'écrit:

$$- \text{au non dépassement: } F_0 + (1-F_0) \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log \frac{x}{s}}{\sigma}\right)^2\right\} dx.$$

Et au dépassement: $F_1(x) = (1-F_0)G_1(t')$

avec $t' = \frac{1}{\sigma} \log \frac{x}{s}$

$$G_1(t') = \int_{t'}^{\infty} \frac{1}{\log e \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{t'}{\log(e)}\right)^2\right) dt'$$

La pluviosité journalière de probabilité une fois en un n ans correspond à:

$$F_1 = \frac{1}{365,25n} \quad \text{et} \quad G_1 = \frac{F_1}{1-F_0}$$

sachant la probabilité t' est donnée dans des tables,

x est calculé à partir de l'équation: $\log(x) = t' + \log(s)$

Paramètres de la loi de GALTON déterminés pour ces trois stations.

Paramètres	ENFIDA	BOUFICHA	ZAGHOUAN
s	11.8	7.4	14.0
σ	0.823	0.957	0.744
F ₀	0.945	0.930	0.940

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

ENFIDAVILLE

- 45 années de relevés pluviométriques, soit N = 16436 jours
- moyenne annuelle des précipitations : 377.9 mm

Précipitations hors classes

Rang i	hauteurs en mm	$F_i = \frac{i-0.5}{N}$	Fo = 0.9 FI/(1 -Fo)	Fo = 0.955 FI/(1 -Fo)
1	126.5	.000030	.00030	.00067
2	126	.000091	.00091	.00202
3	113	.000152	.00152	.003378
4	103	.000213	.00213	.004733
5	102	.000274	.00274	.006089
6	100.5	.000335	.00335	.007444

Précipitations classées

10	80	.000578	.00578	.01284
23	60	.001369	.01369	.030422
34	50	.002038	.02038	.045289
68	40	.004107	.04107	.091267
101	30	.006115	.06115	.135889
129	25	.007818	.07818	.17373
189	20	.011469	.11469	.254867
294	15	.017857	.17857	.396822
468	10	.029539	.29539	.656420
1807	0.1	.109911	-	-

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

BOUFICHA

Précipitations hors classes

Rang	hauteurs i en mm	FI= $\frac{i-0.5}{1-Fo}$	Fo=0,9 $\frac{FI}{1-Fo}$	Fo=0,92 $\frac{FI}{1-Fo}$	Fo=0,94 $\frac{FI}{1-Fo}$	Fo=0,93 $\frac{FI}{1-Fo}$
1	126.1	.00003	.0003	.0004	.0005	.0004
2	118.3	.00009	.0009	.0011	.0015	.0013
3	113.3	.00015	.0015	.0019	.0025	.0021
4	106.0	.00021	.0021	.0026	.0035	.0030

Précipitations classées

8	80	.00045	.0045	.0056	.0075	.0064
20	60	.0016	.0116	.0145	.0197	.0166
30	50	.00176	.0176	.0220	.0293	.0251
52	40	.00307	.0307	.0384	.0512	.0439
89	30	.00527	.0527	.0659	.0878	.0753
122	25	.00723	.0723	.0904	.1205	.1033
166	20	.00985	.0985	.1231	.1642	.1407
262	15	.01556	.1556	.1945	.2593	.2223
450	10	.02675	.2675	.3344	.4458	.3821
1778	00.1	.10580	-			

-45 années de relevés pluviométriques, soit N= 16801 jours

- moyenne annuelle des précipitations : 355 mm

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

ZAGHOUAN

- 48 années de relevés pluviométriques, soit N = 17532 jours
- moyenne annuelle des précipitations : 507.6 mm

Précipitations hors classes

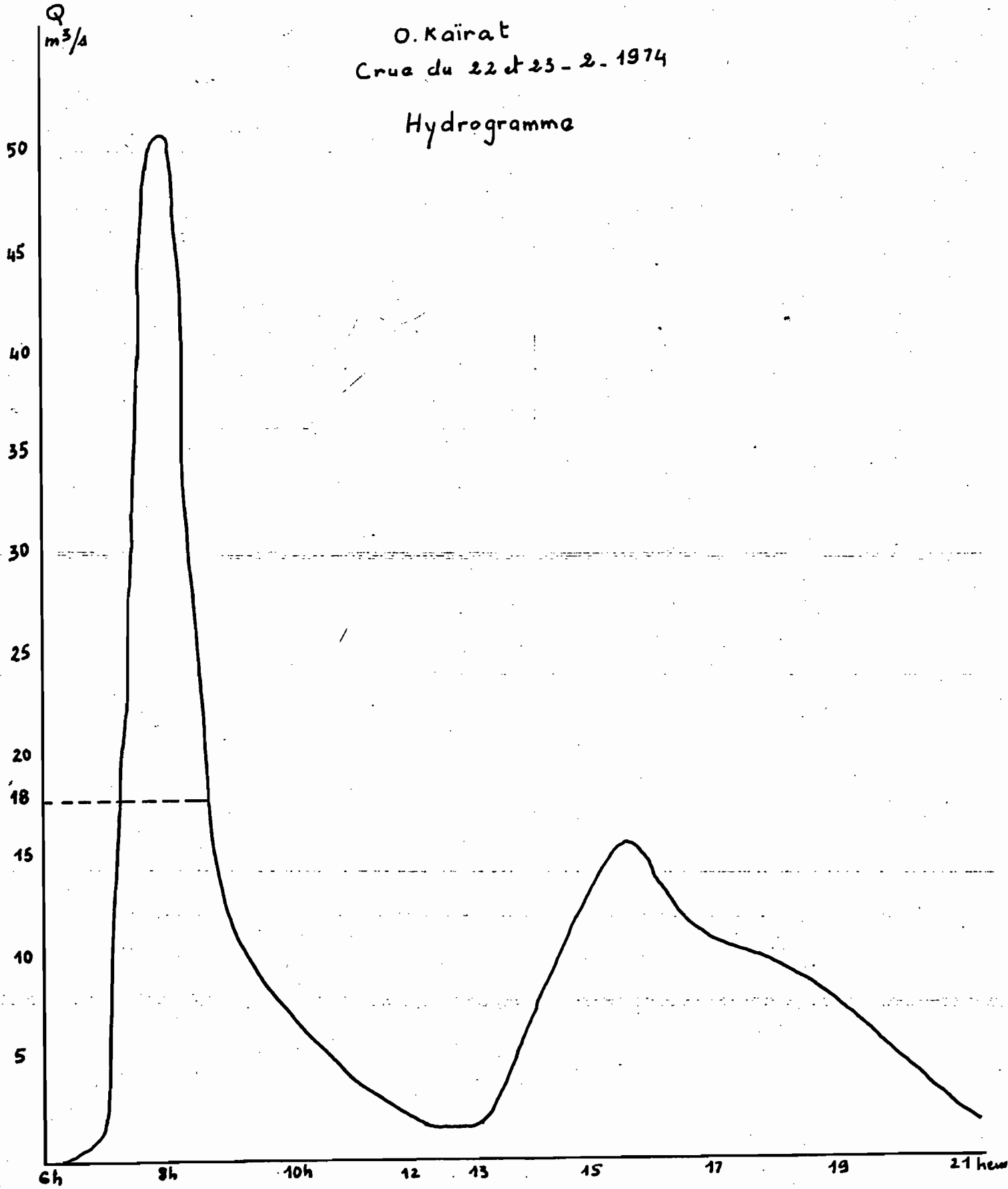
Rang i	hauteurs en mm	$FI = \frac{i-0.5}{N}$	$Fo = 0.9$ $FI/(1-Fo)$	$Fo = 0.94$ $FI/(1-Fo)$
1	135.0	.00003	.0003	.0005
2	110.0	.00009	.0009	.0015
3	106.5	.00014	.0014	.0023
4	102.5	.00020	.0020	.0033
5	101.5	.00026	.0026	.0043

Précipitations classées

12	80	.00066	.0066	.011
25	60	.00140	.0140	.0233
44	50	.00248	.0248	.0413
84	40	.00478	.0478	.0793
153	30	.00870	.0870	.1450
219	25	.01246	.1246	.2020
324	20	.01845	.1845	.3070
463	15	.02638	.2638	.4400
705	10	.04018	.4018	.6700
3012	0.1	.17177	-	-

Annexe 4

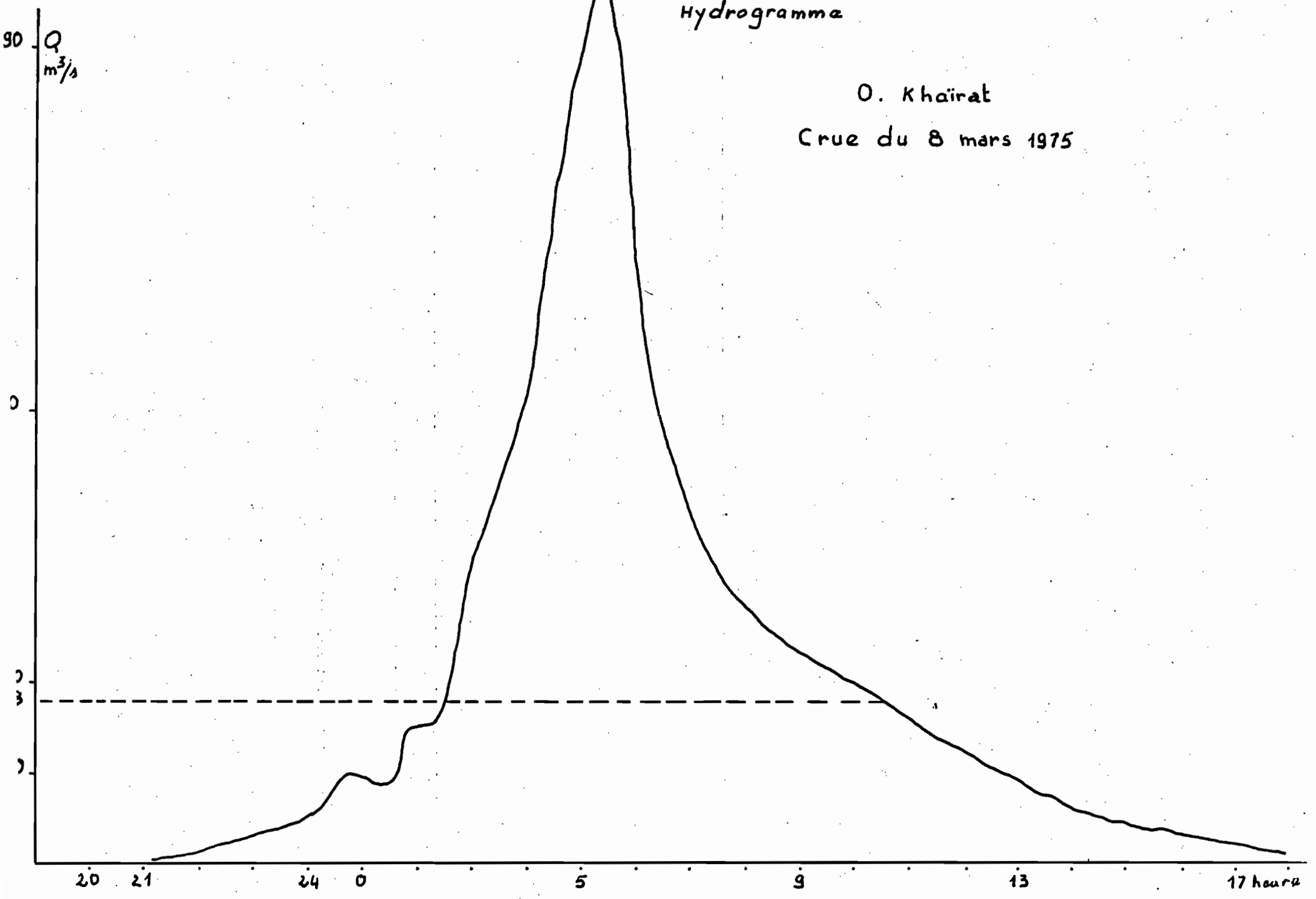
O. Kairat
Crue du 22 et 23 - 2 - 1974
Hydrogramme



Hydrogramme

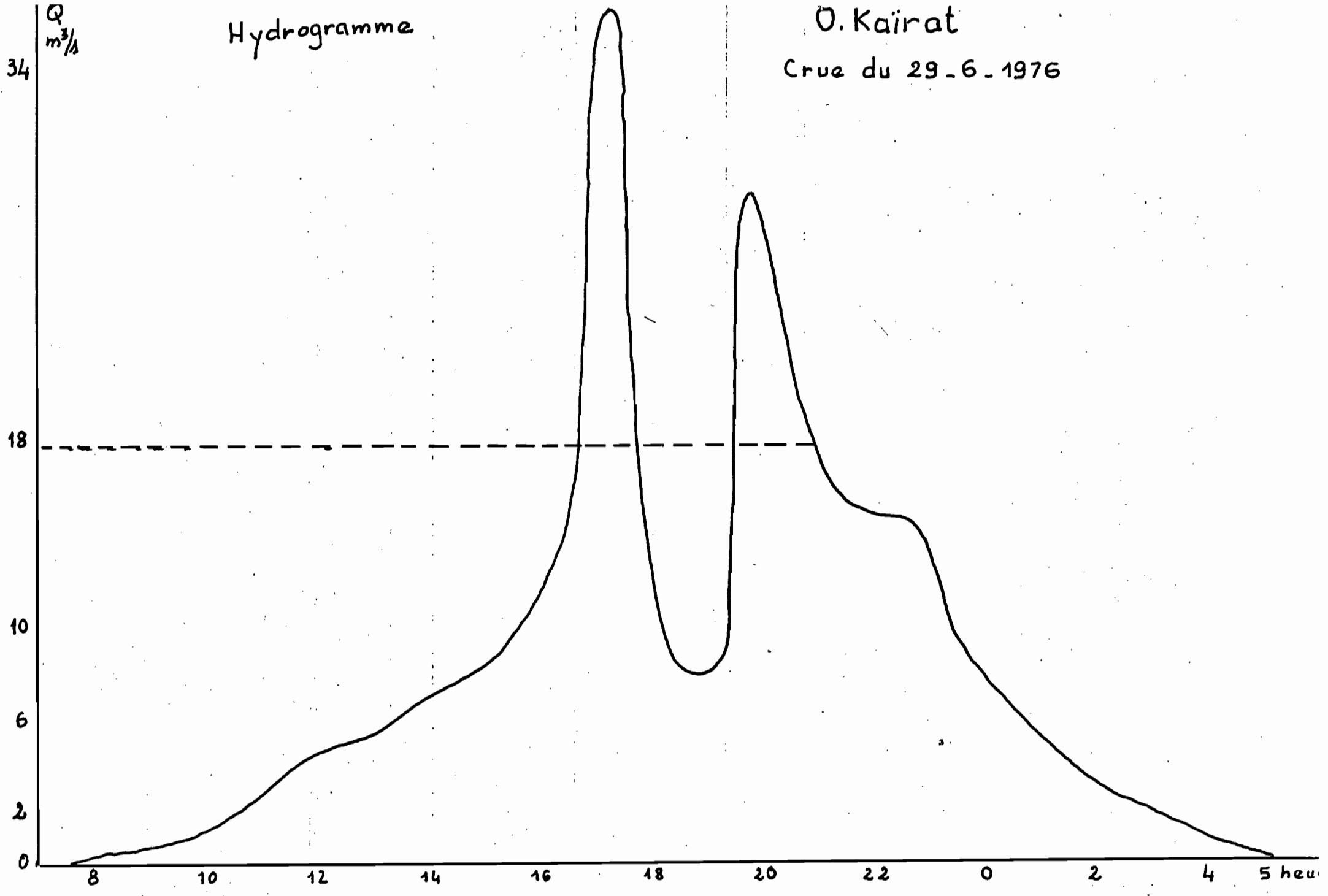
O. Khairat

Crue du 8 mars 1975

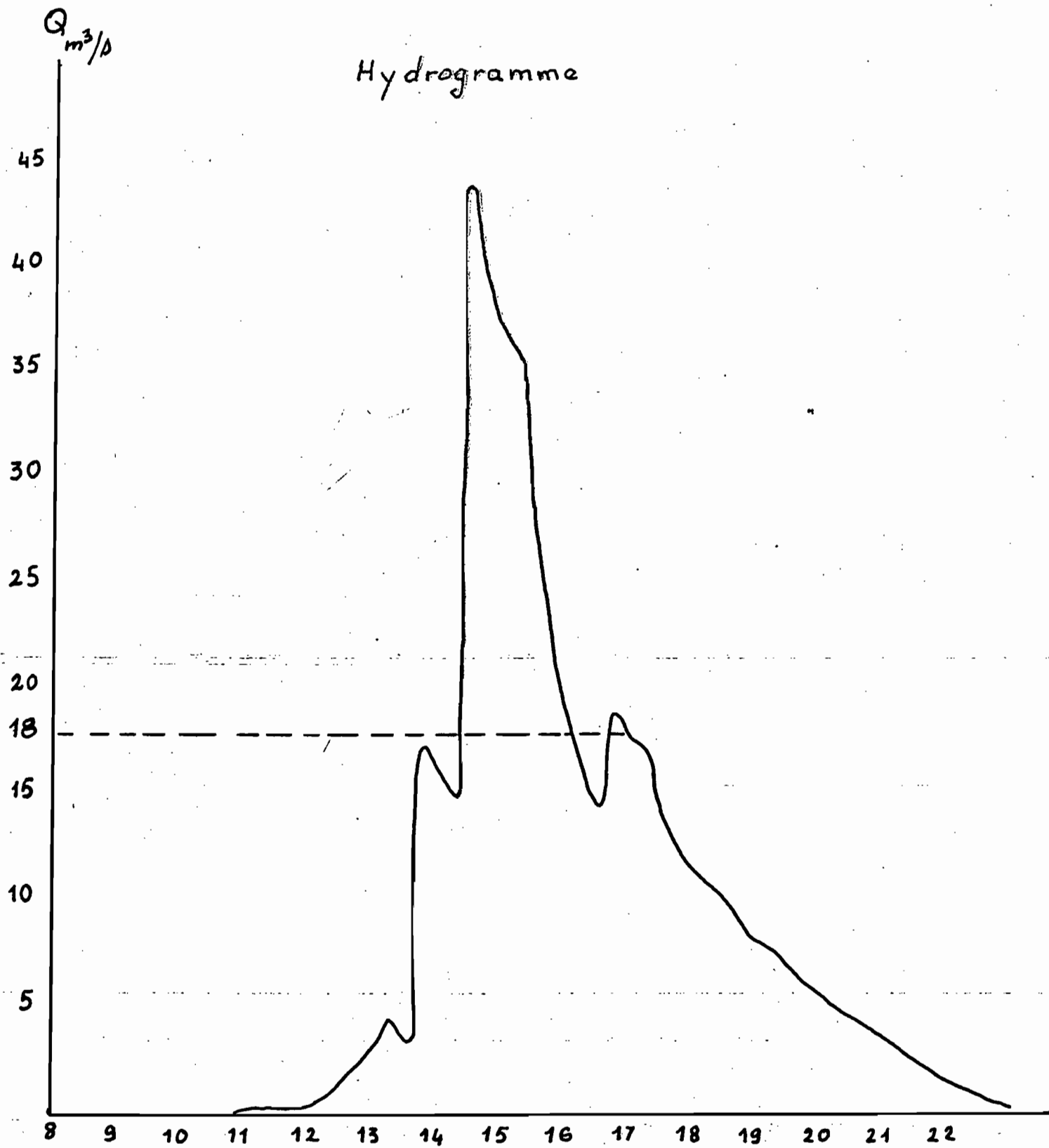


Hydrogramme

O. Kairat
Crue du 29-6-1976



Hydrogramme



O.Kairat : crue du 8.10.1977

Q
m³/s

O. Khairat
Crue du 1.10.1978

30

20

18

15

10

4

2

16

18

20

22

0

2

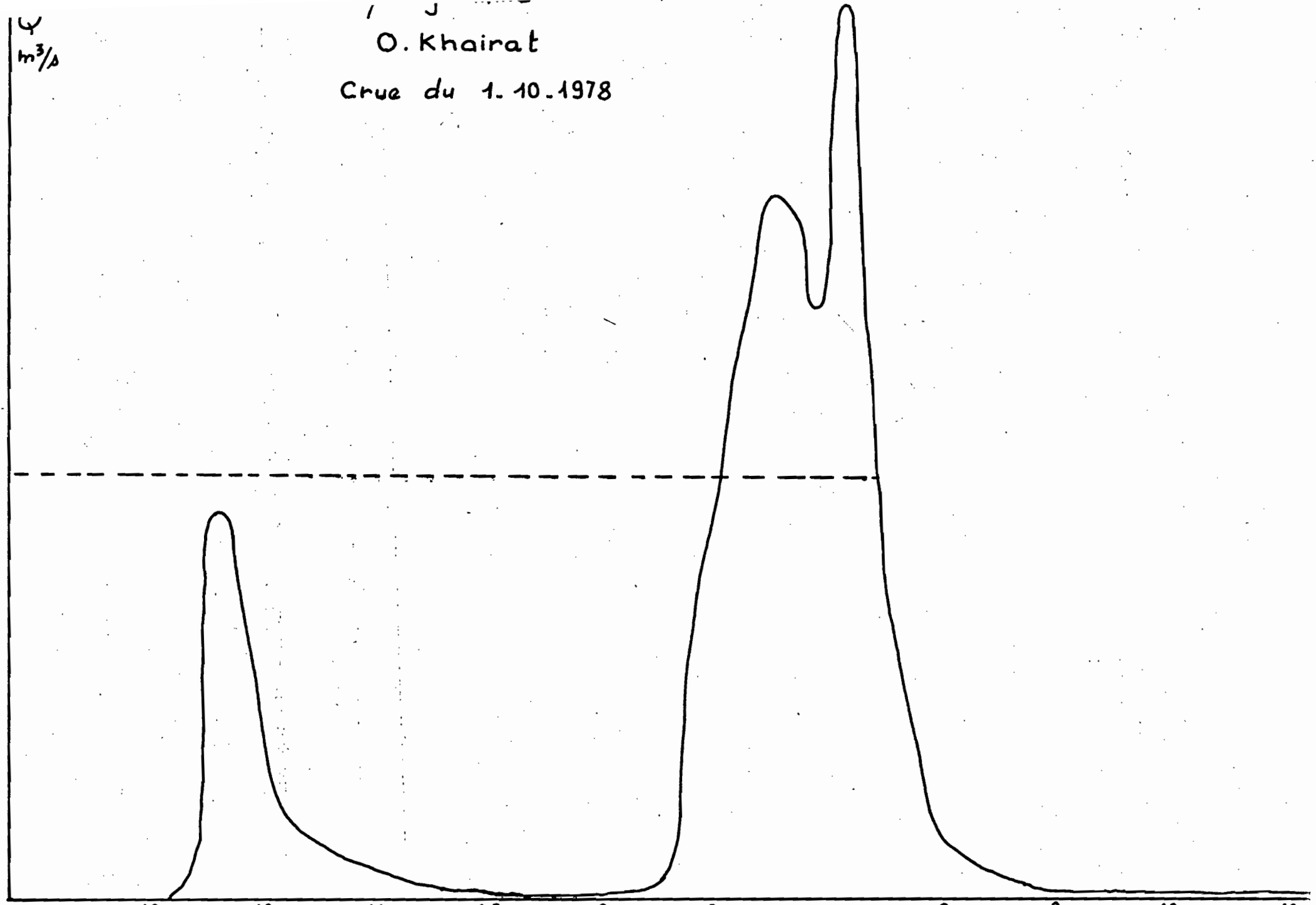
4

6

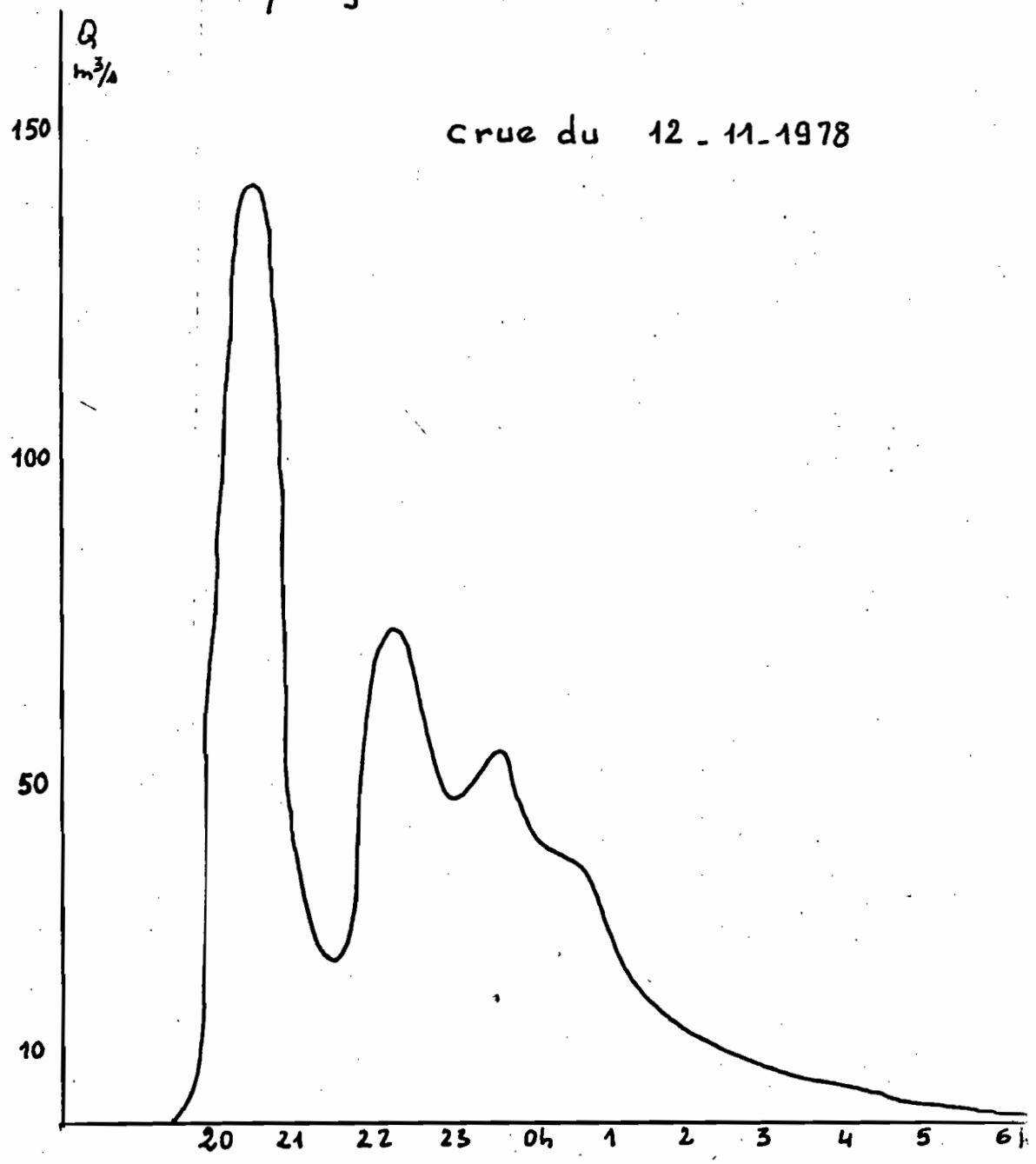
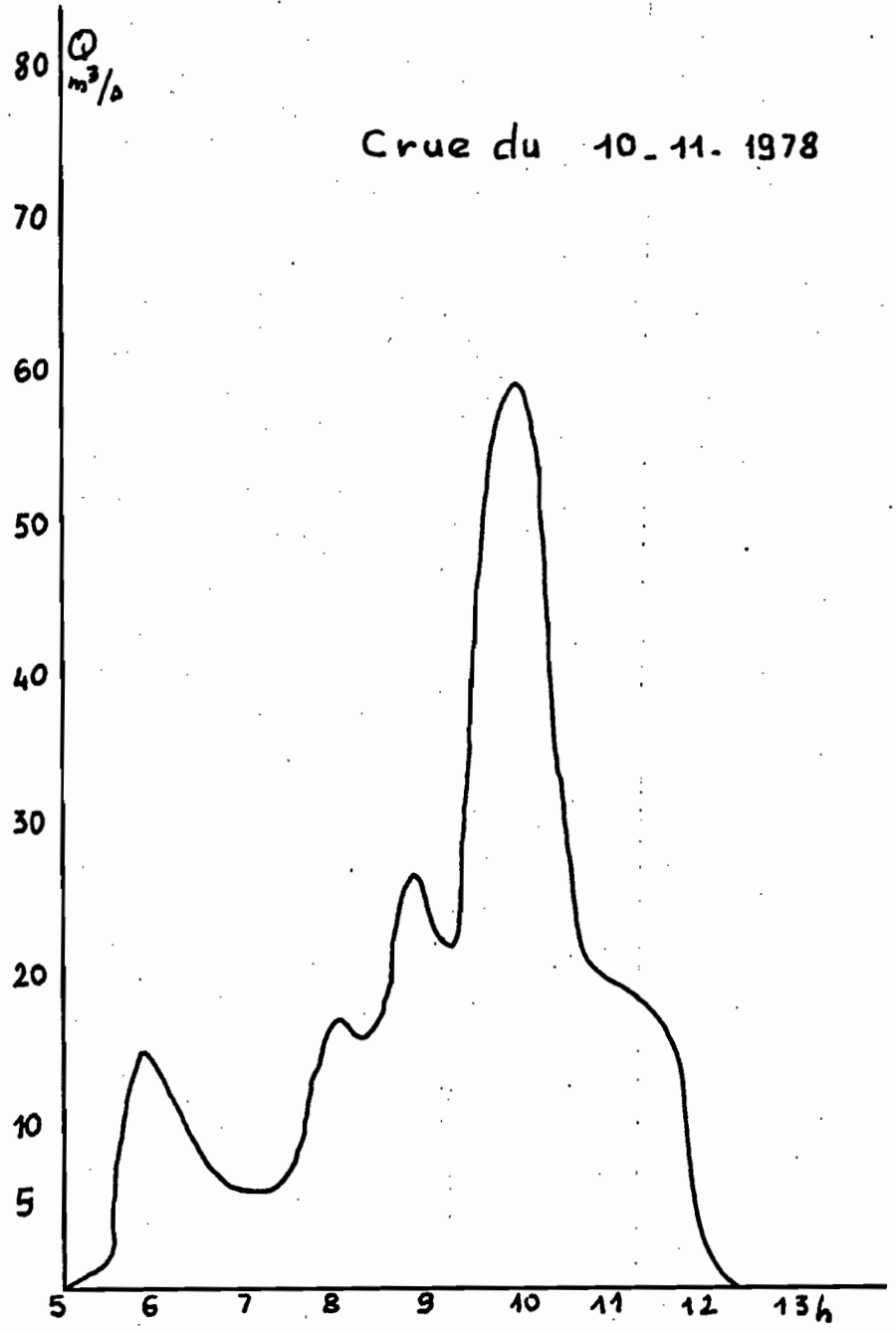
8

10

12

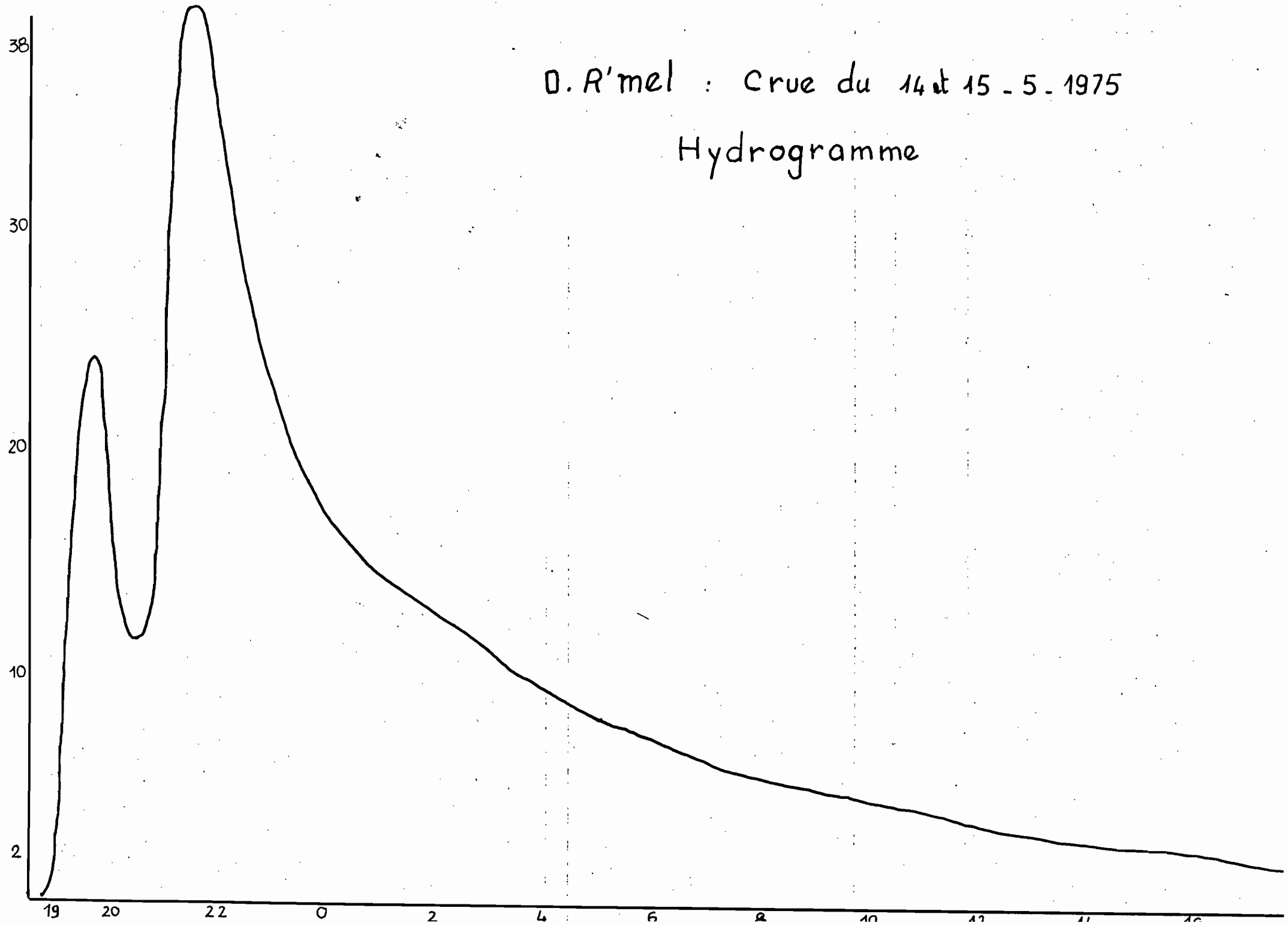


O. Kairat : Hydrogrammes



D. R'mel : Crue du 14 et 15 - 5 - 1975

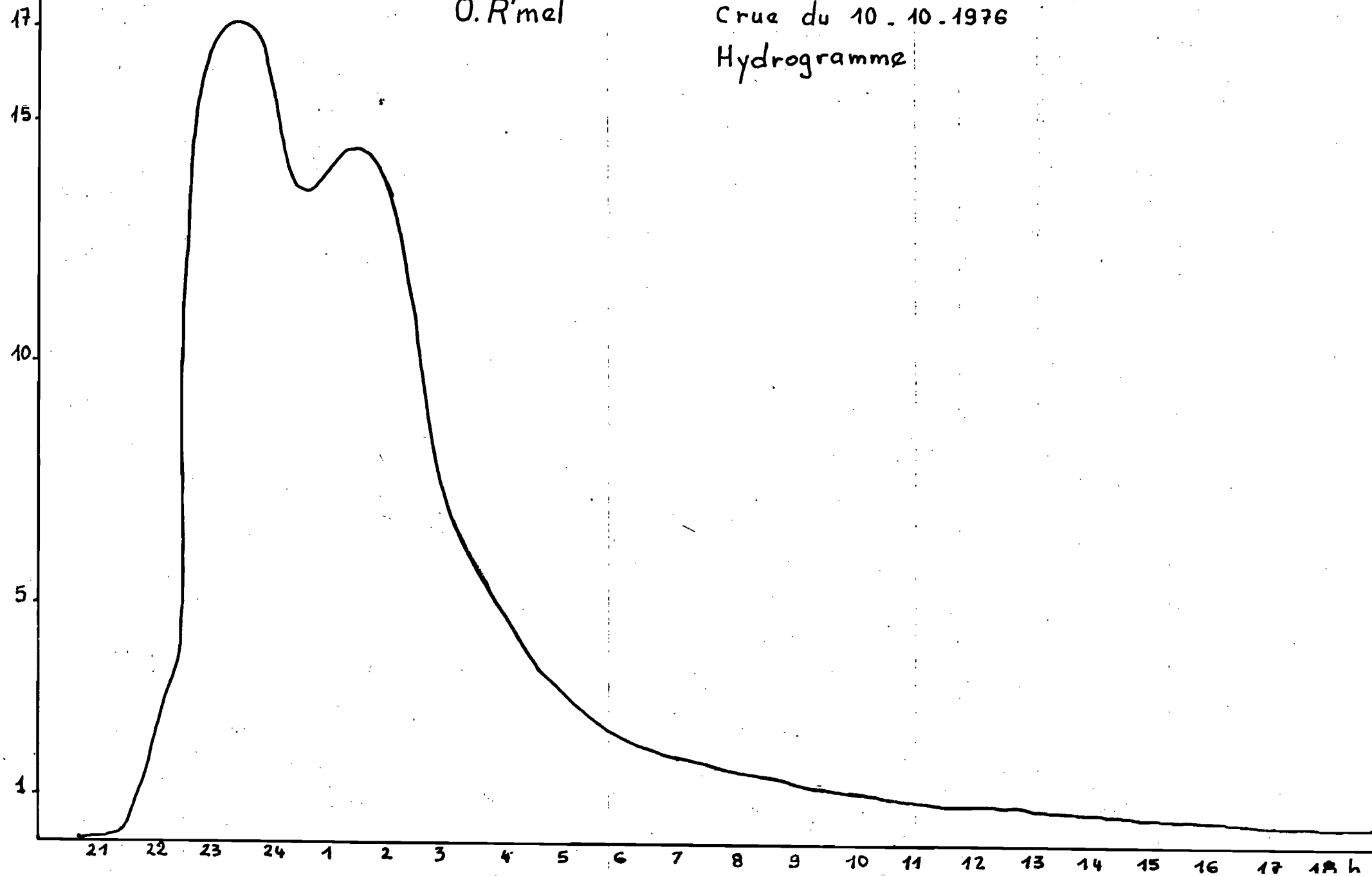
Hydrogramme



Q
m³/s

O. R'mel

Crue du 10.10.1976
Hydrogramme



Q
m³/s

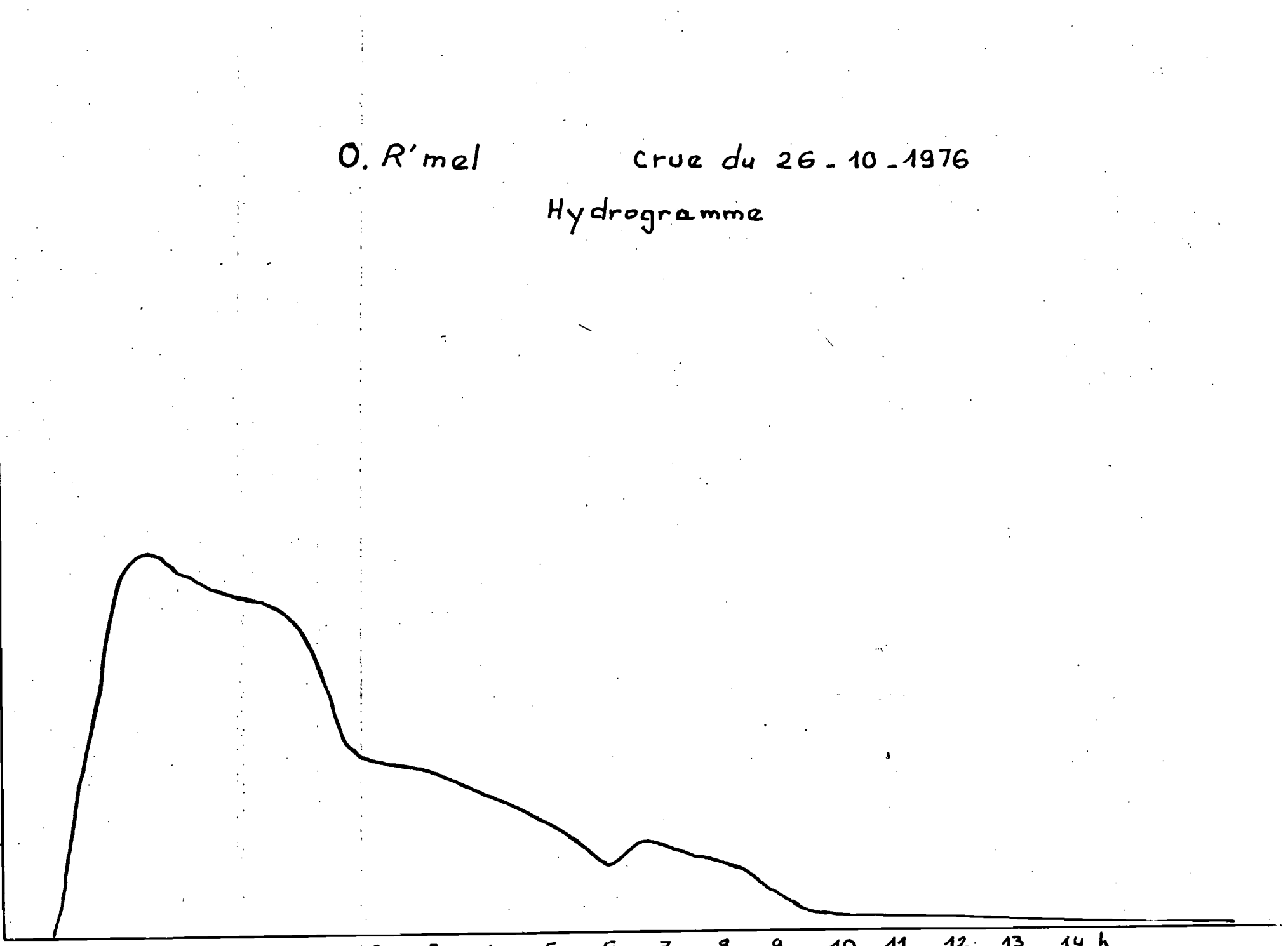
O. R'mel

crue du 26 - 10 - 1976

Hydrogramme

40
35
30
25
20
15
10
5

20 21 22 23 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 h

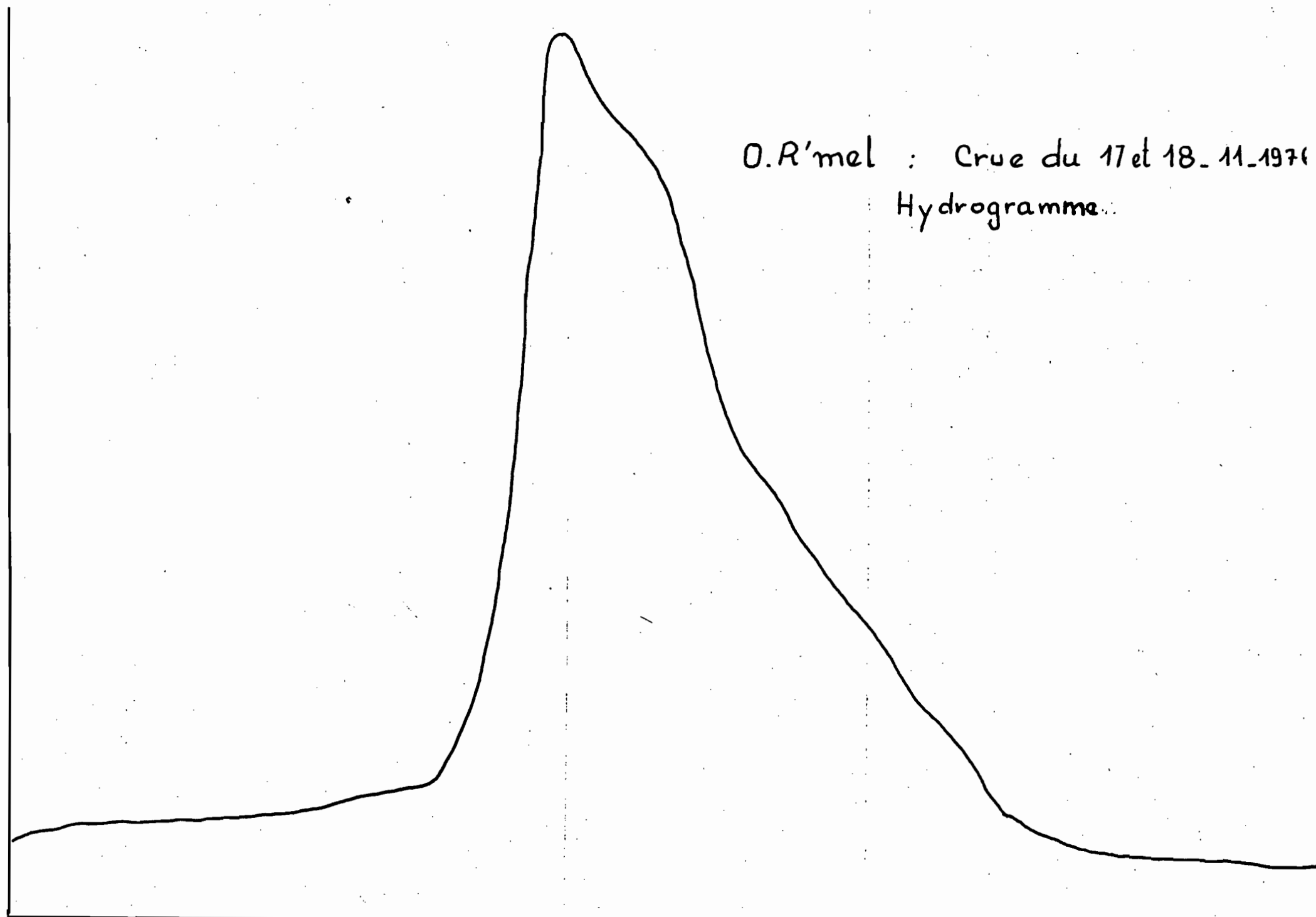


2
13/0

16
14
12
10
8
5
2
1

O.R'mel : Crue du 17 et 18. 11. 1976
Hydrogramme.

10 15 17 18 19 20 21 0 1 4 6 8 h



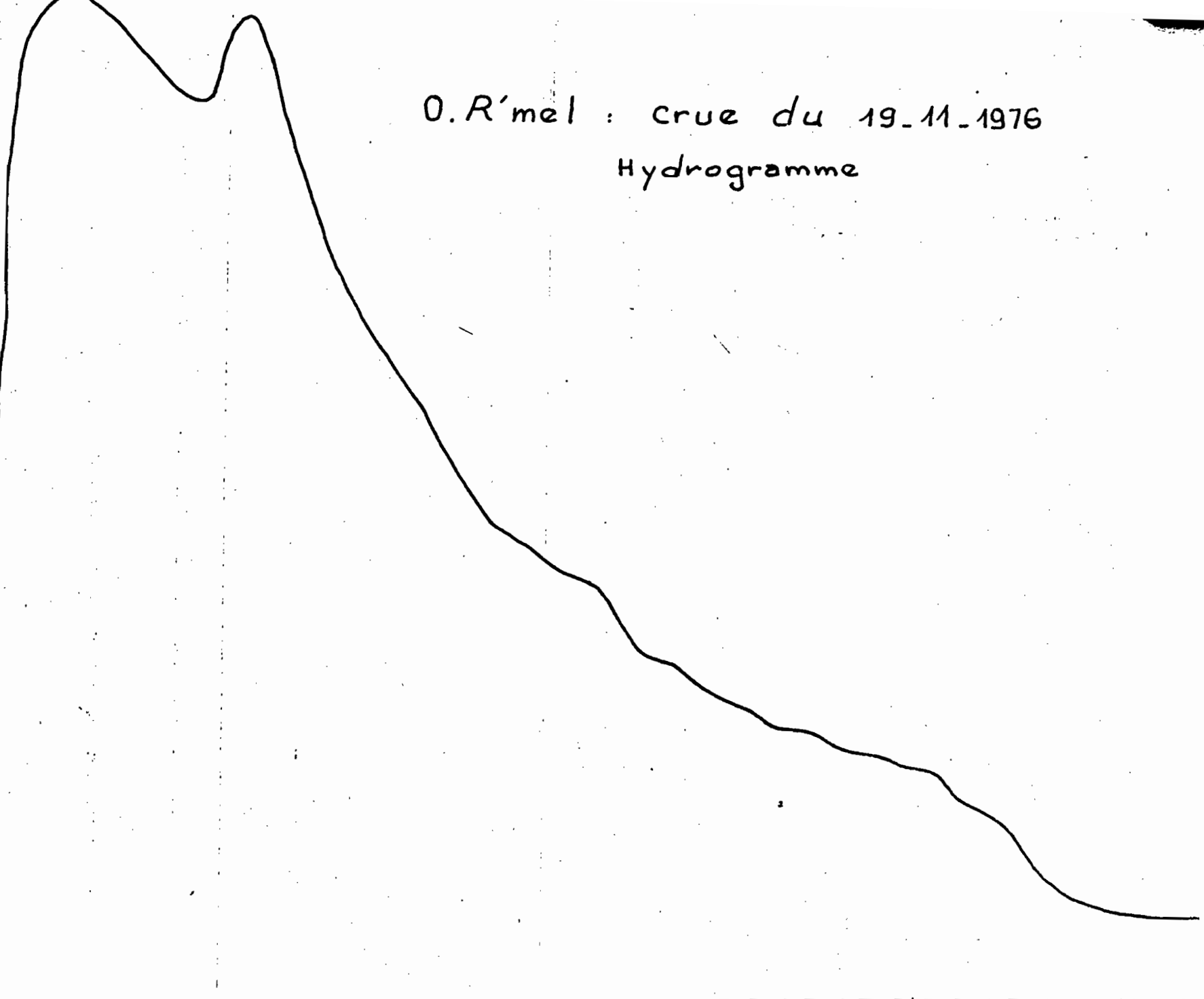
Q

m³/s

18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

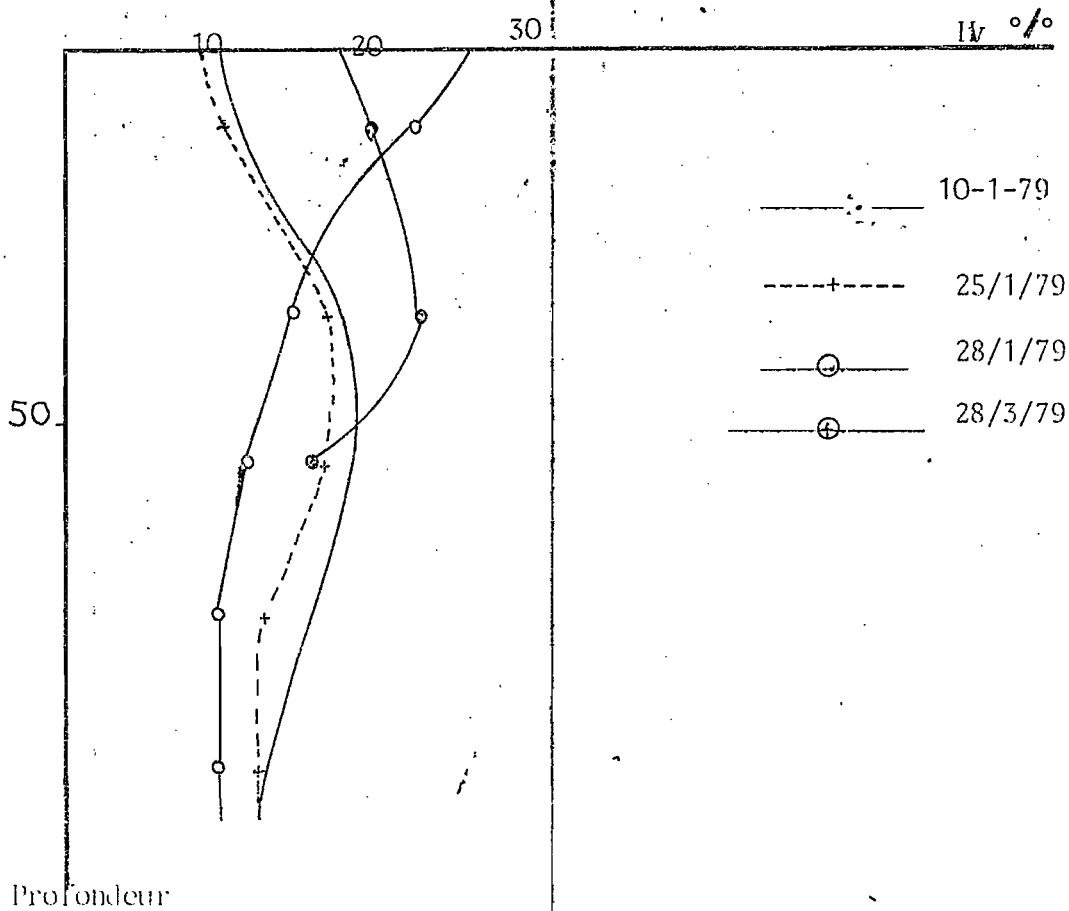
O.R'mel : crue du 19-11-1976
Hydrogramme

20 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 h

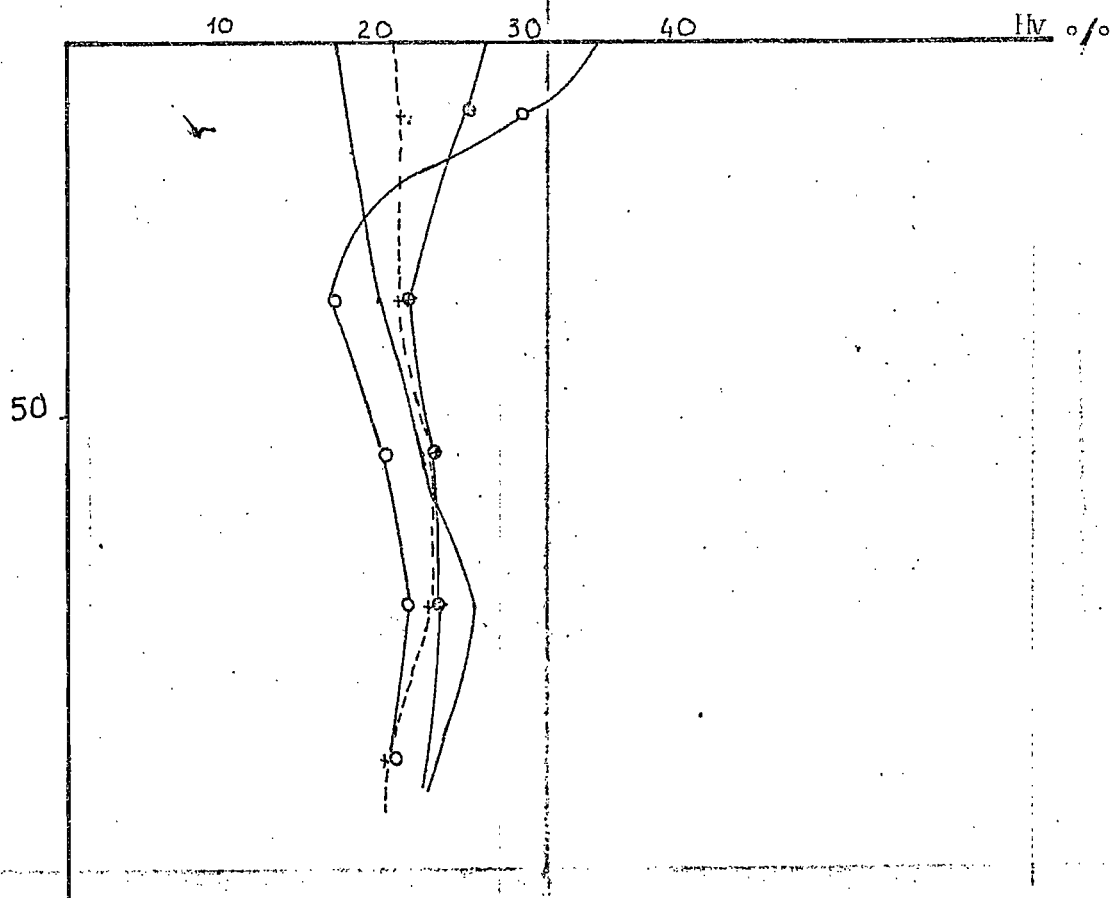


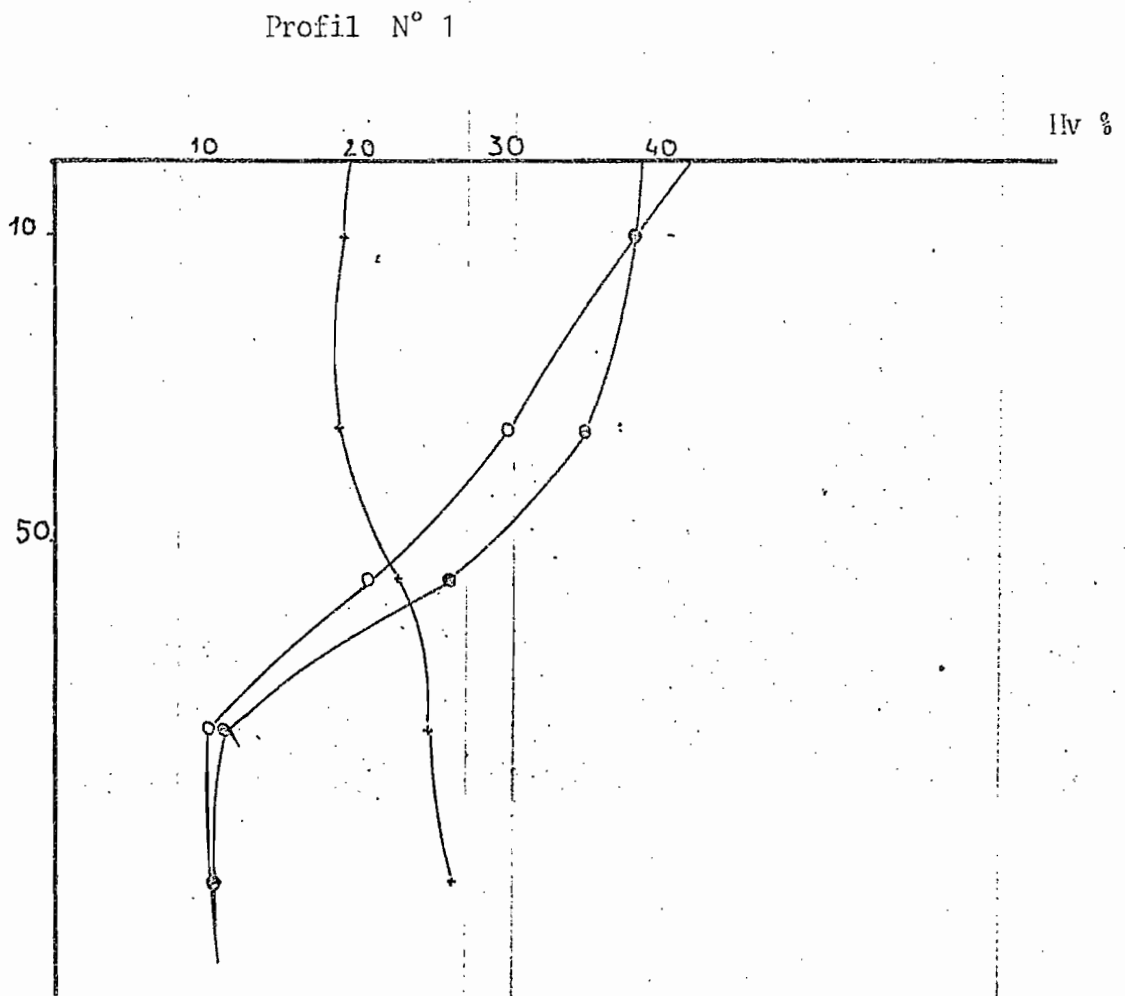
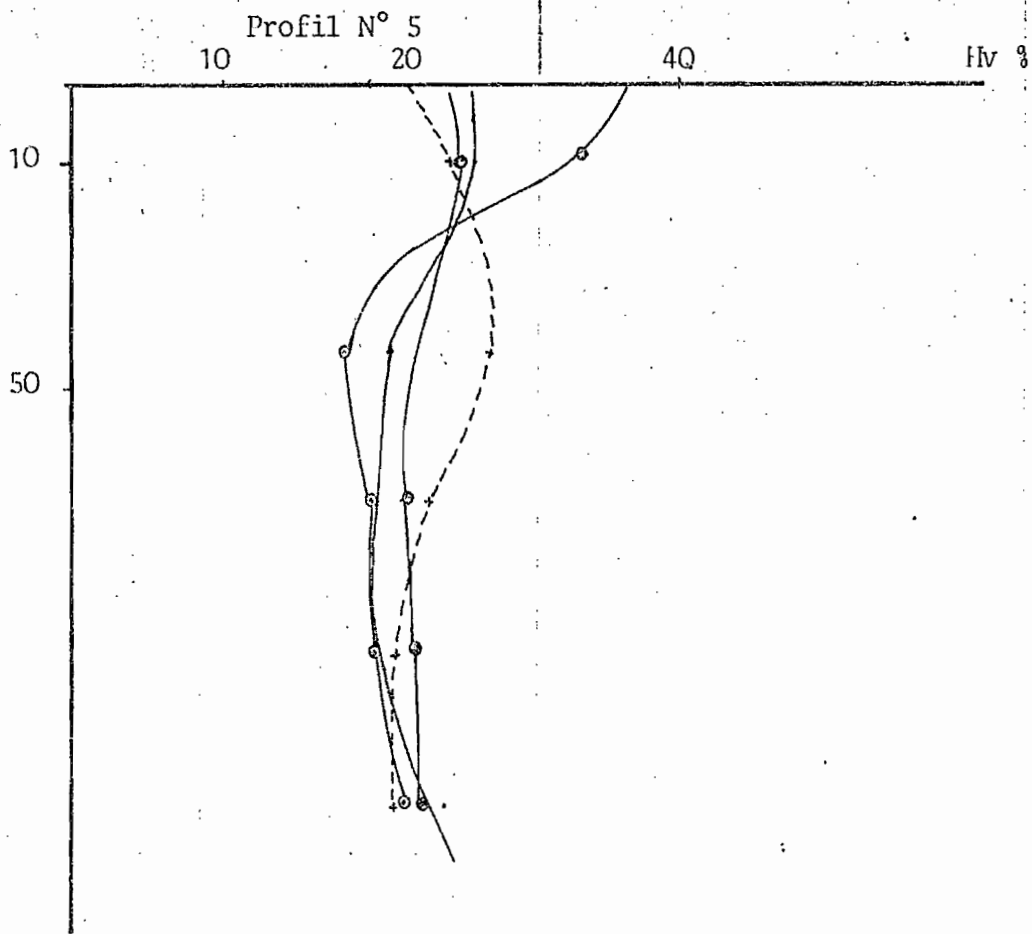
Annex 4'

PROFIL N° 4



PROFIL N° 3





Profil. N°2

10

20

30

Ил. %

10
20
30
40
50

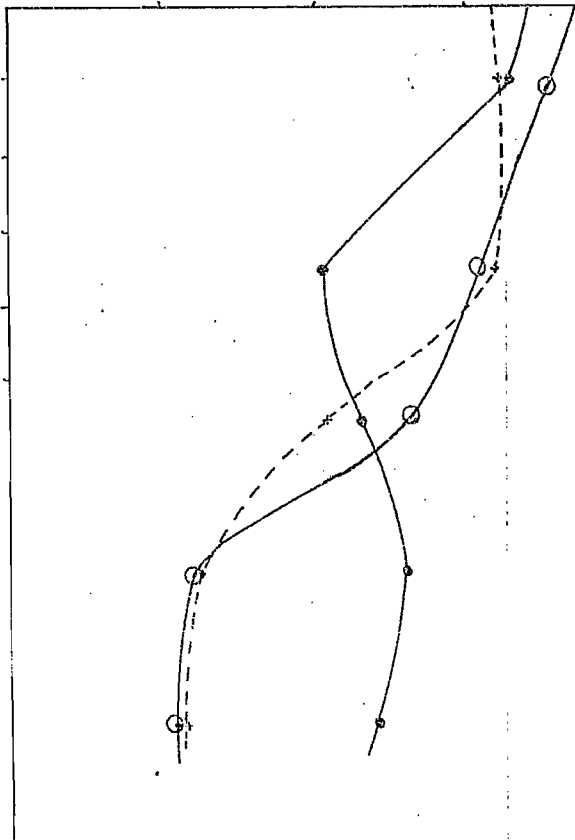


Tableau 50 : O.Khairat : Volume total et volume dévié (estimation)

Année	Ensemble de l'année		Période céré alière: Oct. Av.		Période: Oct. Dec.		Période: Fev; Av.	
	V _T	V _u	V _T	V _u	V _T	V _u	V _T	V _u
1911.12	14376	6611	14215	6450	13565	5950	650	500
13	5645	6097	4565	5227	1097	2717	1668	1240
14	975	800	795	800	0	0	365	320
15	5617	2550	4818	1850	0	0	484	400
16	12083	4102	11746	3792	2270	2270	3192	1522
17	5152	3323	2240	1533	1002	800	1045	733
18	4588	3170	4588	3170	2861	1790	1727	1390
19	4490	3180	3978	2760	585	530	3393	2230
20	943	860	943	860	315	290	628	570
21	13807	8420	12620	7490	7356	3660	4370	2990
22	1378	1089	1378	1089	1249	960	0	0
23	5206	3300	5206	3300	200	200	2320	1600
24	4455	3282	3548	2632	1369	1000	1612	1100
25	3482	2410	3289	2220	3289	2220	0	0
26	8126	4960	7811	4670	5483	2840	1262	1040
27	1392	980	1392	980	0	0	1392	980
28	6069	4309	4535	3269	482	409	1493	1100
29	10923	5800	8469	5200	3284	1950	5185	3250
30	6078	3680	3546	2340	0	0	3169	2010
31	2617	2047	2357	1797	530	417	260	240
32	24628	11430	24628	11430	20678	9500	3950	1930
33	5155	4250	4190	3310	750	550	1400	1210
34	5968	3890	5296	3380	1230	830	4366	2550
35	13261	7980	11518	6730	8430	4410	1064	930
36	3821	2240	557	440	0	0	557	440
37	6461	3670	6461	3670	5917	3230	544	440
38	587	530	588	530	0	0	228	210
39	8011	5290	7818	5100	1495	1170	6323	3930
41	2563	2126	1829	1500	993	700	585	560
42	8341	3718	8341	3718	6620	2488	308	300
43	16847	9790	16330	9300	13887	7470	2433	1830
44	1296	1132	786	712	644	570	142	142
45	6553	3133	6553	3133	6553	3133	0	0
46	1344	1142	1192	990	0	0	347	330

47	1813	1340	1513	1060	1913	1060	0	0
48	3551	2390	3551	2390	0	0	3551	2390
49	3119	2500	3119	2500	559	540	1260	960
50	5903	3967	3753	2727	638	500	601	527
51	2976	1630	2976	1630	2976	1630	0	0
52	9200	5480	5100	3430	4200	2630	385	380
53	3417	2503	1064	783	284	283	780	500
54	12789	8063	12596	7870	6136	4120	6460	3750
55	2016	1720	2016	1720	200	200	1816	1520
63	4134	2900	3624	2480	1362	900	2262	1580
67	739	660	739	660	370	330	369	330
68	7589	3670	5797	2810	5587	2600	210	210
Moyenne	6075	3654	5307	3161	2996	1670	1612	1090
écart type	4970	2508	4940	2451	4333	2061	1722	1029

Périmètre de O. Khairat :

Pluviosité - Pluviosité améliorée

Tableau 53 :

	Ensemble de l'année.		Période céréa-		OCT.	NOV.	DEC.	FEV.	MARS.	AVRII
	P	P _a	P	P _a	P	P _a	P	P _a	P	P _a
1911-12	374	594	331	546	231	429	73	90		
13	528	731	392	566	216	307	117	158		
14	120	147	86	113	5	5	55	66		
15	301	386	213	275	64	64	64	77		
16	413	550	338	464	131	207	132	182		
17	330	441	203	254	84	111	103	127		
18	401	506	350	455	162	221	175	222		
19	250	356	194	286	97	115	76	150		
20	247	275	199	228	68	78	94	113		
21	598	874	460	709	222	344	172	272		
22	207	244	183	219	87	119	74	74		

23	371	481	324	434	56	62	163	216
24	269	378	234	322	108	137	76	113
25	301	381	200	274	144	218	53	53
26	438	604	380	536	176	270	115	150
28	132	165	99	132	17	17	74	107
28	416	559	360	469	134	148	114	151
29	488	681	314	487	114	179	185	293
30	362	485	187	265	36	36	137	204
31	234	302	186	246	60	74	60	68
32	715	1095	675	1056	462	778	199	264
33	472	613	353	463	82	100	167	207
34	427	556	304	417	118	145	160	245
35	712	978	554	769	366	513	109	140
36	318	393	179	194	48	48	131	146
37	291	413	254	376	201	309	53	67
38	263	281	120	138	16	16	63	70
39	546	723	450	620	149	188	288	419
41	307	378	249	299	114	138	109	128
42	579	703	485	609	258	341	158	168
43	624	950	533	843	353	602	177	238
44	261	299	196	220	96	115	72	77
45	331	436	204	309	176	281	14	14
46	188	226	168	201	58	58	60	71
47	177	222	141	177	103	138	265	26
48	227	307	143	223	62	62	79	158
49	397	481	334	418	197	215	101	133
50	264	396	238	329	48	65	127	145
51	157	212	121	175	103	157	18	18
52	475	658	296	410	188	276	83	96
53	261	344	146	172	60	70	80	97
54	434	703	374	636	205	348	156	281
55	250	307	215	272	67	74	141	192
63	365	462	208	291	66	96	115	168
67	220	242	158	180	85	96	73	84
68	407	529	285	379	107	193	133	140
Moyenne	357	483	275	380	131	186	110	145
Médiane	330	434	201	300	104	138	109	143

suite

1952	2050	2630	-	-	420	-	180	200	-	-	-	-
53	-	123	-	160	-	-	500	-	520	590	-	600
54	193	2850	1270	-	-	-	-	3750	-	-	-	-
55	-	-	200	-	-	-	-	1520	-	-	-	-
63	-	900	-	-	-	520	1000	-	-	-	420	-
67	-	330	-	-	-	330	-	-	-	-	-	-
68	420	-	2600	-	-	210	-	-	440	-	-	-