



02581

MICROFICHE 19

République Tunisienne

MINISTRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F 1

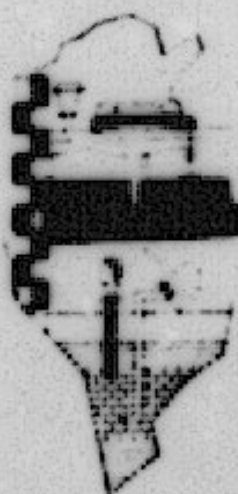
CNDH 02581
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE DE DOCUMENTATION AGRICOLE

22 MAI 1980

DIVISION DES RESSOURCES EN EAU

EVALUATION DES DEBITS DE CRUES MAXIMA EN TUNISIE



M. KALLAL

Septembre 1979

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTRE DE L'AGRICULTURE

D. R. E. S.

EVALUATION DES DROITS DE CANAL

MINISTRE DE L'AGRICULTURE

NOVEMBRE 1979

R. KALLAL

- Ingénieur Principal
Hydrologue

EVALUATION DES DEBITS DE CRUES

MAINTENANT EN TUNISIE

Introduction

Le service hydrologique est souvent sollicité pour émettre un avis sur les estimations des débits maxima de différentes recurrences à craindre sur des cours d'eau où sont projetés des ouvrages hydrologiques variés. Il n'est pas toujours aisé de répondre d'une manière satisfaisante à ces demandes, il est alors conseillé aux projecteurs d'adopter telle ou telle formule qui semble le mieux convenir à des cas précis en s'étayant si possible sur les quelques résultats de mesures connus. Toutes ces formules proposées pour résoudre les problèmes, ont le défaut majeur d'avoir été établies pour d'autres climats et d'autres régimes hydrologiques. Peu de formules, sauf celles mises au point pour des climats méditerranéens proches du notre sont relativement utilisables. Cependant elle amènent souvent à des résultats plus ou moins erronés...

Un premier essai, pour établir un abaque spécifiquement tunisien, a déjà été fait en 1957. Cet essai avait abouti à l'établissement du "Barème du D.I.R.H." Ce barème mis au point à partir de données très régionales (Nord de la Tunisie et bassin versant de la Medjerda) ne pouvait être extrapolé aux autres régions du Pays sans risques.

En 1977, un travail d'inventaire de tous les débits spécifiques connus a été entrepris au service de l'hydrologie. Cette étude (1) a fait apparaître une "réévaluation" des débits spécifiques maximaux en Tunisie. L'étude fréquentielle de ces débits maximaux permet aujourd'hui, d'établir des courbes spécifiques à chaque région, représentant la relation entre les débits spécifiques maximaux et les superficies des bassins versants.

Le service de l'hydrologie propose donc un travail original, dont les bases sont étayées d'intérêt. Cependant il faut garder à l'esprit que les courbes tracées et les formules mises à la disposition des utilisateurs devront être affinées dans quelques années, les séries d'observations sur certains cours d'eau seront plus longues, et les mesures intensives faites dans les régions du Sud commenceront à porter leur fruit.

1. - Recapitulation des résultats obtenus antérieurement et déjà publiés :

Avant de procéder à l'analyse des résultats à l'échelon des différentes régions naturelles du pays, il est intéressant de passer en revue les différentes valeurs calculées ou citées pour quelques cours de pays. Ces résultats découlent dans la majorité des cas d'une étude statistique.

Nous ne considérons à cet effet que les chiffres qui ont été publiés dans des études hydrologiques, (citées en référence bibliographique). Les tableaux ci-après permettent de préciser l'ordre de grandeur des valeurs obtenues et de constater leur fréquente concordance.

1. 1. Tunisie du Nord

1.1.1. Oued Kébir Région Tabarka ($S = 105 \text{ km}^2$)

T	q (1)	q (2)
5	0,798	0,99
10	0,955	
20	0,922	
50	0,984	
100	1,039	3,09

1.1.2. Oued Jemina Jabal Nefza ($S = 235 \text{ km}^2$)

T	q (1)	q (2)
5	0,751	0,81
10	0,950	1,06
20	1,152	1,20
50	1,425	1,79
100	1,438	2,17

Les chiffres entre parenthèses qui suivent l'indication "q" dans les tableaux ci-dessus renvoient à la référence bibliographique donnée à la fin de cette étude et d'où sont tirées les valeurs correspondantes.

1.1. - Geographical

Station	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A
5	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
1	9 (1)	9 (4)	9 (1)	9 (4)	9 (1)	9 (4)	9 (1)
5	0.100	0.210	0.210	0.145	0.100	0.100	0.100
10	0.400	0.200	0.200	0.210	0.100	0.100	0.100
20	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100
50	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100
100	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100
200	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100
500	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100
1000	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100

1.1. - Geographical

Station	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A	PT. LINDEN A
5	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
1	9 (1)	9 (4)	9 (1)	9 (4)	9 (1)	9 (4)	9 (1)
5	0.100	0.210	0.210	0.145	0.100	0.100	0.100
10	0.400	0.200	0.200	0.210	0.100	0.100	0.100
20	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100
50	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100
100	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100
200	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100
500	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100
1000	0.400	0.400	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100

1.1.5. - Regen Central et Centre

T	VERRELLER A NAFFONE	BRASSE BRASSE BON AIN LAMIN	BRASSE BRASSE BON BRASSE LAMIN	BRASSE BON LAMIN
S ₁	875	815	2700	8875
T	q(T)	q(T)	q(T)	q(T)
5	1.150	0.851	0.434	0.166
10	1.890	1.054	0.695	0.330
20	2.729	1.207	0.929	0.490
50	3.974	1.602	1.371	1.170
100	5.011	2.557	1.765	1.831

1.1.6. - Taxiste du Sud

QUID	ENTREE	S ₁ Km ²	q (6) Centrale	q (6) Exceptionnel
Sidi Aïch	Confinance Batach.	2000	1.65	2.22
Batach	"	3100	1.60	1.90
Grand Batach	Gafsa	5530	1.21	1.40

QUID	ENTREE	S ₂ Km ²	q (7) Centrale	q (7) Exceptionnel
Leban	Pont voie fer- rée Sfax Gafsa	2000	1.74	2.15
Batach	"	5500	1.12	1.35

Les chiffres entre parenthèses qui suivent l'indication "q" dans les tableaux ci-dessus renvoient à la référence bibliographique donnée à la fin de cette étude et d'où sont tirées les valeurs correspondantes.-

2. - Analyses des résultats de l'étude statistique

2.1. Signalisation des résultats

L'examen sommaire de ces tableaux permet de dégager une similitude de certaines valeurs entre elles. Cette homogénéité est loin d'être aléatoire elle semble répondre à des critères physiques bien définis : unité géographique climatique et hydrologique. Il a été d'ailleurs démontré dans une étude récente sur les débits spécifiques annuels annuels (1) que les valeurs observées sur certaines grande cours d'eau de pays ayant des périodes de retour identiques ou rapprochées s'ajustent bien graphiquement.

Il s'est aussi dégagé de la même étude une répartition géographique que l'on rappelle ci-après.

2.1.1. Répartition géographique

Les grandes zones géographiques Tassiliennes qui ont apparus aux tracés des courbes sont au nombre de quatre :

- la région septentrionale
- la région du Fouta Djallon
- la région Soudan, Sahel, Ifas, Letan
- la région méridionale

Il est évident, que la disponibilité d'un plus grand nombre des données, aurait permis de "régionaliser" de façon plus précise les courbes.

Mais nous considérons le Sud et le Sud-Est comme étant une zone unique. Cette façon de voir est insuffisante mais le manque d'éléments de base nous oblige présentement à formuler cette hypothèse.

2.1.1.1. La région septentrionale de la Tassili

Cette grande zone géographique située au Nord de la dorsale est caractérisée par :

- les Foutas, la Boudouma et la région de Boudouma.
- le versant de la Fouta Djallon
- le versant de l'Ifas
- le Cap-Sud

Nous n'entrons pas ici dans les détails climatiques et géomorphologiques de cette entité, déjà étudiée plus particulièrement par les Monographies de la Méditerranée (4) de Milane (5) et de façon plus succincte pour le Nord Littoral (2 et 3).

2.1.1.2. La région du Sud Littoral

Cette région couvre les Monts de Rabat (Oujda - Barba - Kara Sars - Barba) soit les cours supérieurs de : la Sillane (Oujda), du "Hilou" (Barba), du Rabba (Barba - Oujda et Barba) et du Barba. Cette zone à relief élevé peut être considérée comme un des "Oueds" de la Tunisie algérienne, entre les oasis cités, y prend sa source l'Oued Barba (Branche Nord du Barba).

2.1.1.3. La région de la Tunisie Centrale

Cette partie englobe, les branches Nord et Sud du Barba, soit pratiquement la Tunisie Centrale. Nous avons établi une extrapolation de la régionalisation des courbes obtenues pour cette zone au Sud de Sfax, mais pour les grands besoins uniquement.

Par extension le Liban a été aussi inclus dans cette région. Cette hypothèse peut se révéler fautive dans l'avenir. Il apparaît de façon évidente que du point de vue climatique et morphologique le versant du Liban fait transition entre la Tunisie Centrale et la Tunisie Méridionale. Pourtant les valeurs observées lors des crues de 1959 indiquent une similitude des écoulements non négligeable avec la base du Barba.

2.1.1.4. Région Méridionale de la Tunisie

Pour le Sud de la Tunisie, le manque d'information ne permet pas de préciser la division adéquate qui semble logique à savoir :

- le Sud-Est (Gafsa)
- le Sud-Ouest (Gafsa)

Cette grande région a donc été traitée comme une entité unique. L'avenir permettra une régionalisation plus adéquate.

Les paramètres favorisant la régionalisation climatique n'ont pas été étudiés ici. Il s'agit cependant et relevant d'études pluridisciplinaires (Géologie - Pédologie - Morphologie - Climat etc...).

2.1.2. Analyse des résultats - Synthèse de relation analytiques

2.1.2.1. Application de la formule de FROSTEN-RADLER

Des notes à maintes reprises et dans différentes études réalisées au sein du Service hydrologique utilisent la formule dite de FROSTEN-RADLER (8).

Les travaux de cette formule, après étude de milliers de résultats dans le monde ont montré, que pour un bassin donné (pas trop hétérogène) les débits de crue d'une fréquence déterminée varient en fonction de la superficie selon la formule suivante :

$$\frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{S}{S_0} \right)^{1 - K/10}$$

$$\text{avec en unités métriques } Q_0 = 10^6 \text{ m}^3/\text{s} \\ S_0 = 10^6 \text{ km}^2$$

K étant un coefficient dépendant du bassin et de la fréquence des crues considérées. Ce coefficient caractérise de façon "géographique" la puissance des crues indépendamment des unités choisies.

Par ailleurs il dépend de la forme du bassin qu'on peut quantifier et représenter par le coefficient de Gravelius $K_G = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$

(où P et S sont respectivement le périmètre et la superficie du bassin; on peut donc écrire pour le coefficient K de FROSTEN-RADLER la fonction $K = f_1(K_G)$, K dépendant lui même de la superficie, nous avons pour simplifier le problème considéré les variables K et S et représenté la fonction uniquement de S : $K = f_2(S)$)

Ceci est confirmé par les faibles écarts trouvés dans les valeurs de K calculées pour les plus grands bassins d'un même grand bassin (le Rho-dan par exemple) écarts qui sont attribués aux formes différentes de ces bassins.

.../...

Tableau 2. 1. 2.

Valeurs de K coefficient de Francis Radler
pour les différents résultats de l'étude
Statistique

PAYS	STATION	SURFACIE (ha.)	K			
			10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
MAROC	Mardjana	1481	3,95	3,8	4,17	4,45
"	Jendouba	2113	3,41	3,65	4,01	4,39
"	Bou Salou	5429	3,19	3,40	3,75	4,00
ALGERIE	K 13	9000	3,07	3,29	3,61	3,82
MAROC	Medjinet el Rab	10710	3,03	3,25	3,54	3,80
LIBYIE	Ferrania	138	3,7	3,8	4,0	4,0
LIBYIE	M 12	300	4,1	4,4	4,6	4,8
LIBYIE	Tubaria	165	3,4	3,50	3,4	3,5
LIBYIE	Jebel Antra	235	3,5	3,7	3,8	3,9
LIBYIE (NEBIR)	Sidi Aoudat	228	4,2	4,5	4,7	4,8
LIBYIE	Chaplan	1419	3,5	3,8	4,2	4,4
LIBYIE	La Madelaine	1945	3,5	3,9	4,4	4,7
EL MARSA	Aval	222	3,2	3,3	3,5	3,6
EL BAY	El Bay	411	3,3	3,4	3,6	
LIBYIE	Casria	50	3,7	4,0	4,2	
LIBYIE	Cadissa	67	4,1	4,2	4,4	
LIBYIE	Agfyan	675	4,5	4,9	5,4	5,8
LIBYIE	Agfya	815	4,0	4,5	5,1	5,5
LIBYIE	Changant Jaria	2200	3,9	4,2	4,6	4,8
LIBYIE	Sidi Sidi	6275	3,8	4,4	5,1	5,6

On définit ainsi pour chacune des périodes 10, 20, 50 et 100 ans un ensemble de valeurs de K pour les différentes gammes de superficie et pour les diverses régions.

Pour rendre compte de la variation de K en fonction de la période de retour T on peut intégrer dans la fonction K cette nouvelle variable nous aurons alors la fonction $K = f(S, T)$.

2.1.2.1. Fonction choisie

Nous avons opté pour exprimer la variation de K avec S et T la fonction puissance et nous avons posé a priori.

$$K = K_0 S^a T^b$$

En appliquant cette formule aux différentes valeurs de K obtenues nous avons pu pour le cas des Gués du Nord trouver des valeurs très voisines pour les coefficients a , b et K_0 : les moyennes de ces valeurs sont :

$$K_0 = 5,05$$

$$a = -0,08$$

$$b = 0,17$$

Ainsi donc pour les Gués du Nord du pays et pour les bassins de superficie supérieur à 100 km^2 on pourrait éventuellement utiliser les formules suivantes pour l'estimation du débit de pointe pour des périodes de retour $T = 10, 20, 50, 100$ et même 1000 ans.

$$Q = \left(-\frac{1}{5} \right) \frac{1-2/10}{T^{0,17}}$$

ou

$$K = \frac{5,05}{5} T^{0,17}$$

$$C_0 = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S_0 = 10^8 \text{ km}^2$$

2.1.2.2. Application des résultats obtenus :

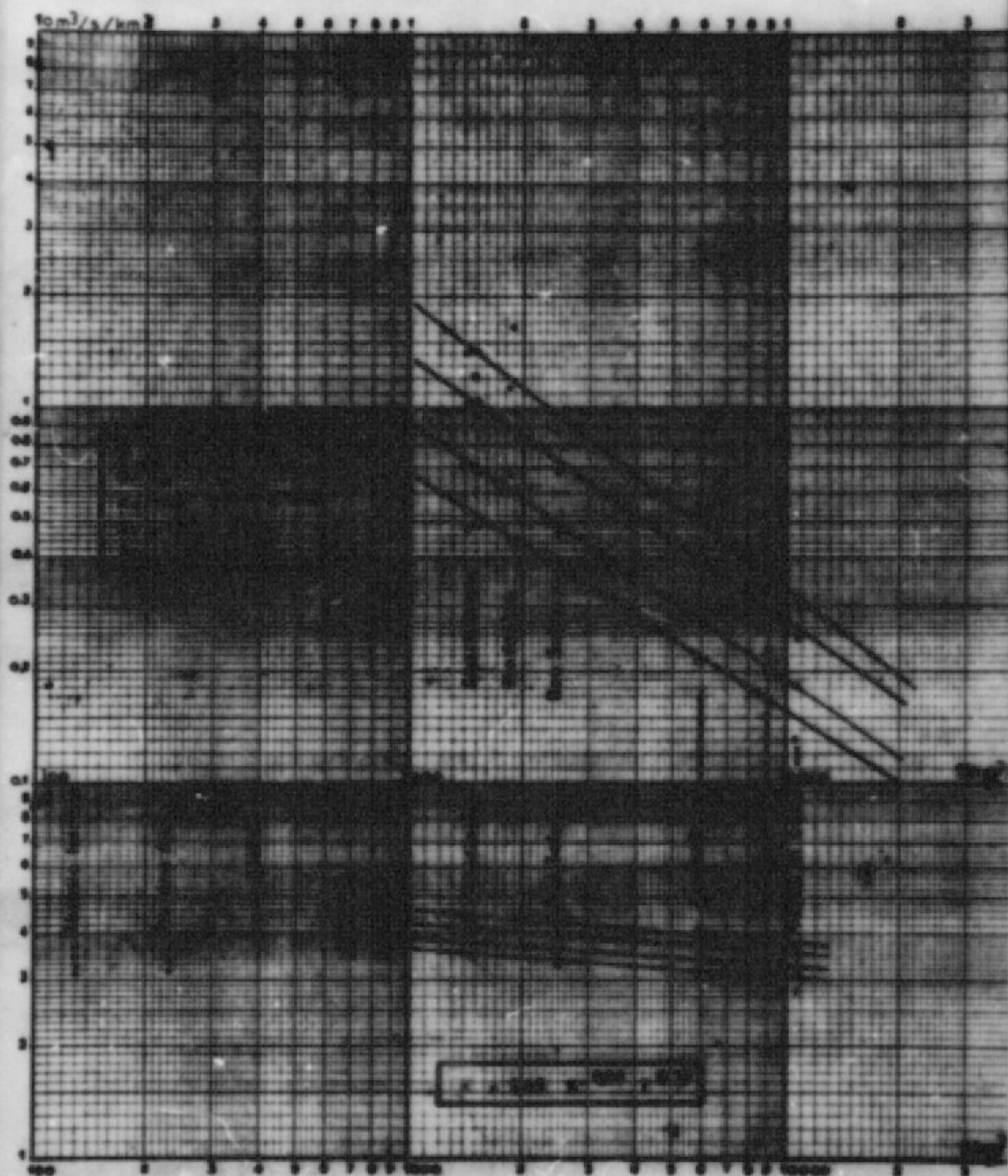
La traduction graphique de ces formules aboutit aux droites de la figure 2.1.2.2..

Les droites semblent converger pour les surfaces très élevées ce qui fait ressortir une certaine divergence par rapport aux résultats de l'étude statistique.

Le tableau (2.1.2.2.) ci-dessous permet de comparer quelques valeurs de K et q dites observées (résultats étude statistique) et celles dites calculées (relatives à partir du graphique 2.1.2.2.).

TABLEAU 2.1.2.2.

		K					q				
ANNEES D'ENTRETIEN		5	10	20	50	100	10	20	50	100	
Modjhe-Elkhar-El- dakh.	1981	3,5	3,8	4,10	4,30	4,40	0,44	0,47	0,48	1,22	
		3,55	3,85	4,17	4,35	4,45	0,42	0,45	1,17	1,41	
Modjhe-Elkhar-El- dakh.	1982	3,30	3,55	4,0	4,20	4,30	0,42	0,45	0,48	0,80	
		3,41	3,65	4,05	4,25	4,35	0,40	0,42	0,71	0,75	
Modjhe-Elkhar-El- dakh.	1983	3,10	3,35	3,85	4,10	4,20	0,41	0,43	0,45	0,53	
		3,15	3,40	3,90	4,15	4,25	0,40	0,42	0,43	0,53	
Modjhe-Elkhar-El- dakh.	1984	3,00	3,25	3,75	4,0	4,10	0,40	0,42	0,43	0,43	
		3,07	3,29	3,81	4,05	4,15	0,40	0,42	0,43	0,43	
Modjhe-Elkhar-El- dakh.	1985	3,0	3,2	3,5	3,7	3,8	0,40	0,40	0,40	0,40	
		3,00	3,25	3,55	3,8	3,9	0,40	0,40	0,40	0,40	



2.1.2.3. Essai de la méthode dans d'autres régions

Si les résultats sont assez satisfaisants pour le Nord de la Dorsale et qu'on a pu définir des valeurs moyennes pour les paramètres K_0, n et σ , il n'en a malheureusement pas été de même pour les autres régions du pays pour lesquelles nous disposons de quelques résultats intéressants. En effet l'application de la fonction $K = K_0 S^n T^\sigma$ pour les valeurs de K calculées donnent des valeurs différentes pour les paramètres n et σ .

Pour les Oueds du Centre du Pays nous avons trouvé aux stations de Ain Saboun, Kanquet Zarfa et Sidi Sand des valeurs de n comprises entre 0,6 et 0,24 ce qui se traduit pour $T = 100$ par exemple de 1,32 à 2,63 soit 2 fois plus grand, et pour σ des valeurs très hétérogènes - 0,24 à 0,01 - K_0 est impossible à déterminer.

La même chose a été constatée pour le Royaume Dorsal.

Cependant nous verrons plus loin que pour l'estimation des débits spécifiques des Oueds du Sud nous avons utilisé les valeurs de K qui gardent toujours leur caractère régional.

2.1.3. Etude de la variation des débits spécifiques avec les superficies

Les raisons invoquées ci-dessus, notamment l'impossibilité d'exprimer d'une manière uniforme la variation de K avec la superficie et la période de retour pour les régions situées au-dessous de la Dorsale nous ont amené à travailler directement sur les débits spécifiques.

Nous avons à priori supposé que le débit spécifique s'exprime de la même manière que K en fonction de S et de T c'est à dire que q répond à la formule

$$q = q_0 S^n T^\sigma$$

Partant de ce fait qui nous a été dicté par le parallélisme observé dans les courbes régionales, nous avons calculé pour les régions précitées les valeurs des paramètres q_0, n et σ .

Les résultats obtenus sont très intéressants, comme on pourra le constater ci-après et reflètent bien l'homogénéité du schéma "débit de pointe" à travers les différentes régions hydrologiques du pays.

2.1.3.1. Tunisie Septentrionale

Bassins versants de superficie $\geq 50 \text{ km}^2$

Le graphique 2.1.3.1. montre d'une façon claire l'homogénéité des résultats statistiques obtenus aux 10 stations Abida, Qudiano, Kibir, Rhazala Joumine, Ghardinou, Jendouba, Bou Salem, Mellique K 13 et Medjaz el Bab qui s'alignent de façon assez parfaite. L'application de la formule $q = q_0 \cdot S^a \cdot T^b$ aux droites tracées pour les périodes de retour 10, 20, 50 et 100 aboutit aux résultats suivants :

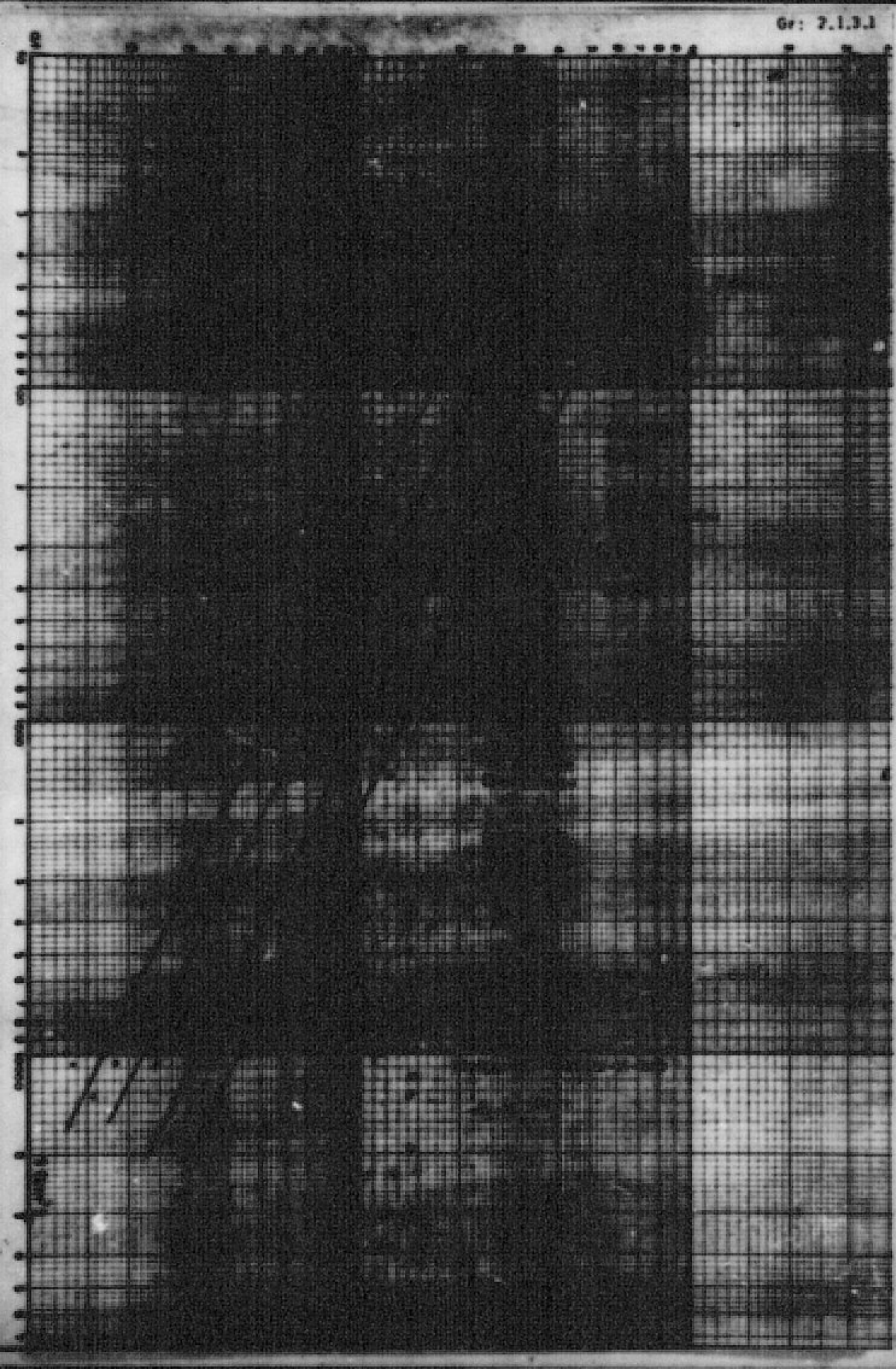
$$\begin{aligned} q_0 &= 6,5 \\ a &= -0,50 \\ b &= 0,41 \end{aligned}$$

Ainsi pour la Tunisie au Nord de la Dorsale, les débits spécifiques de pointe sont régis par la formule

$$q = q_0 \cdot \frac{6,5}{S} \cdot T^{0,41} \quad (1)$$

Quoique pour les bassins de superficie moyenne (100 à 300 km^2) les résultats de l'étude statistique s'écartent un peu du réseau de droites du graphique 2.1.3.1., seule la station de Abida cassis donne des résultats conformes avec ces courbes, nous avons choisi d'étendre la formule à ces bassins et admettre sa validité pour les superficies supérieures à 50 km^2 .

Pour les superficies inférieures à 50 km^2 , plusieurs facteurs influent nettement sur les débits de crue notament l'intensité des averses, leur durée ainsi que les temps de concentrations qui dépendent beaucoup de la forme des bassins, du relief et de la couverture végétale. L'extension des résultats obtenus à des petits bassins doit par conséquent être exclue. Si le cas se présente, il faut recourir par conséquent à d'autres formules et modes de calcul données et décrites dans les manuels classiques d'hydrologie ou d'hydraulique.(9)



2.1.3.2. Nouveau Derga?

Il s'agit comme on l'a indiqué plus haut de la région couvrant les monts de Haffar et englobant les cours supérieurs des Oueds Silliana, Miliana (Kibir), Nabhane et Merguallil.

Le report des débits spécifiques q (T) en fonction de la superficie S sur un graphique à coordonnées logarithmiques a donné lieu à l'ensemble des droites parallèles de la figure 2.1.3.2. ci-après.

L'équation traduisant ces courbes est la suivante :

$$q = 2,35 S^{-0,19} T^{0,44} \quad (3)$$

Nous donnons dans le tableau 2.1.3.2. les valeurs de q "observées" et calculées aux trois oueds Kibir à Sidi Aoudet, Merguallil et Haffouz et Silliana à M 12.

T	Kibir S = 228			Merguallil S = 625			Silliana S = 390		
	q obs	q calcul	écart relatif	q obs	q calcul	écart relatif	q obs	q calcul	écart relatif
10	2,39	2,31	3 %	1,89	1,89	0,5 %	1,07	2,07	93,5 %
20	3,26	3,14	4 %	2,73	2,54	7 %	1,94	2,80	44 %
50	4,45	4,70	5 %	3,98	3,80	4,5 %	3,79	4,19	11 %
100	5,36	6,37	19 %	5,01	5,16	3 %	5,95	5,69	4 %

Les écarts trouvés ne doivent pas nous effrayer surtout qu'il s'agit là de valeurs décimale et vingtenale et que la formule 3 donne des résultats qui nous semblent plus conformes à la réalité.

Si nous voulons ramener cette formule à la forme générale.

$$q = \lambda q_0 \frac{T^{0,41}}{\sqrt{S}}$$

λ serait exprimé comme suit :

$$\lambda (S, T) = 0,36 T^{0,03} S^{-0,31}$$

$T^{0,03}$ varie de 1,07 à 1,15 pour T variant de 10 à 100, on peut prendre pour $T^{0,03}$ une valeur moyenne égale à 1,11.

$$\lambda (S) = 0,46 S^{-0,31}$$

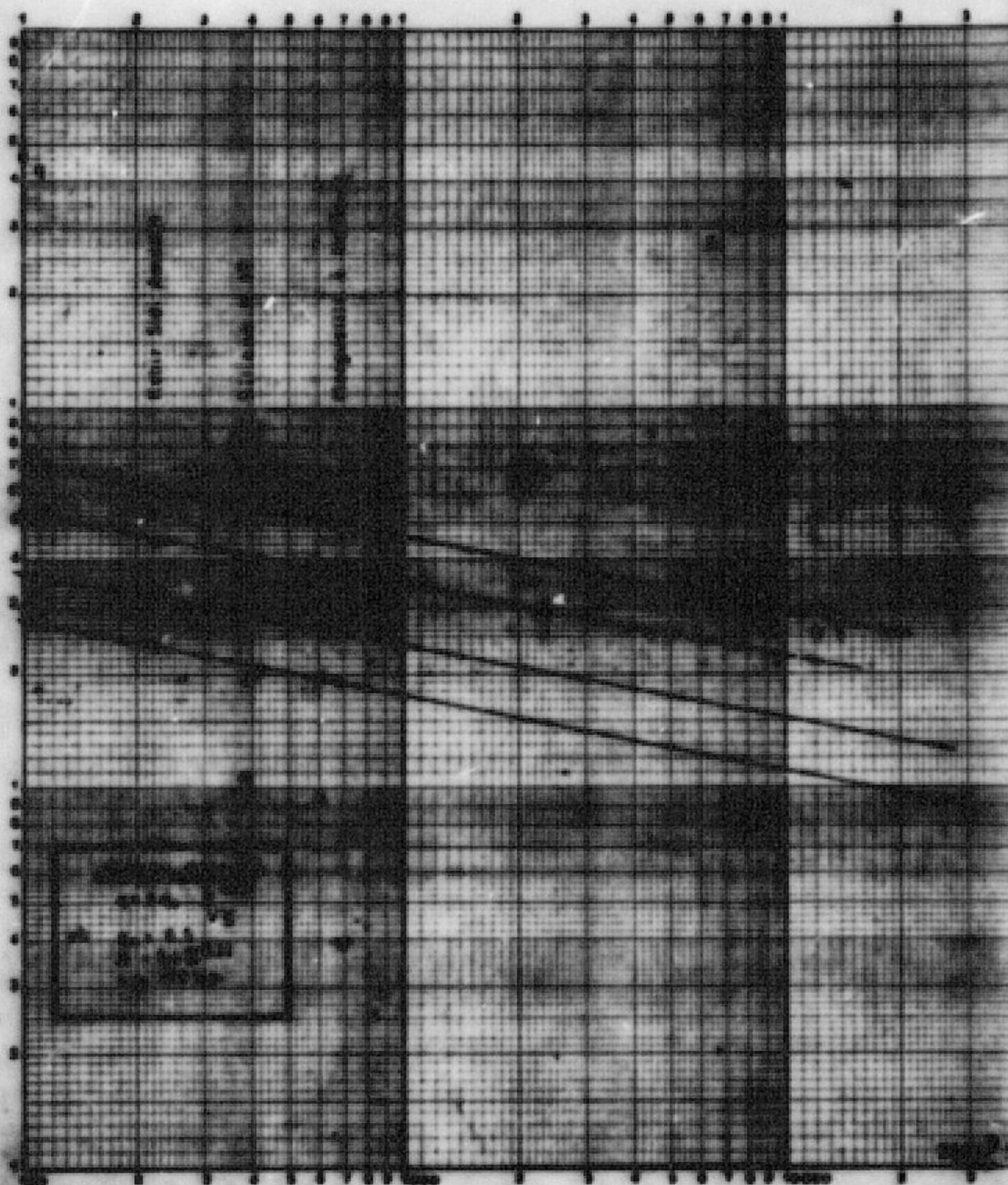
Ainsi donc pour le moyen devers le débit spécifique de période de retour T suit la relation générale suivante :

$$q = \lambda q_0 \frac{T^{0,41}}{\sqrt{S}} \text{ avec}$$

$$q_0 = 6,5$$

$$\lambda (S) = 0,4 S^{-0,31}$$

$$S > 200 \text{ km}^2$$



L'application de la formule 4 aux oueds considérés aboutit aux résultats du tableau suivant :

T	Kebir 22800 km ²			Hammam 1111 5675 km ²			Silliana 5390 km ²		
	$\lambda(S)$	q calc	q (1)	$\lambda(S)$	q calc	q (1)	$\lambda(S)$	q calc	q (1)
10	2,15	2,38	2,39	3,01	1,93	1,89	2,54	2,15	1,07
20	2,15	3,17	3,26	3,01	2,58	2,73	2,54	2,86	1,94
50	2,15	4,60	4,45	3,01	3,74	3,98	2,54	4,16	3,79
100	2,15	6,12	5,36	3,01	4,98	5,01	2,54	5,53	5,95

L'examen de ce tableau permet de constater la validité des résultats fournis par la formule et leur concordance avec les résultats $q(1)$ de l'étude statistique.

Les courbes correspondantes sont données dans le graphique 2.2. final.

2.1.3.3. La Tunisie Centrale

Cette partie de la Tunisie groupe notamment les bassins des oueds Matob et Hattab ; (les deux principales branches du Zéroud), du Zéroud du Leben et les grands bassins du Sahel de Sousse et de Sfax.

Le report des résultats de l'étude statistique effectuées sur le bassin du Zéroud (Ain Saboun, Sidi Saad et Khanguet Zazia) sur graphique à échelle logarithmique a abouti aux résultats du graphique 2.1.3.3., la relation traduisant ces courbes est :

L'application de la formule 4 aux oueds considérés aboutit aux résultats du tableau suivant :

T	Kebir 228 km ²			Merguellil 6675 km ²			Siliana 5-390 km ²		
	$\lambda(S)$	q calc	q (1)	$\lambda(S)$	q calc	q (1)	$\lambda(S)$	q calc	q (1)
10	2,15	2,38	2,39	3,01	1,93	1,89	2,54	2,15	1,07
20	2,15	3,17	3,28	3,01	2,58	2,73	2,54	2,86	1,94
50	2,15	4,60	4,45	3,01	3,74	3,98	2,54	4,16	3,79
100	2,15	6,12	5,36	3,01	4,98	5,01	2,54	5,53	5,95

L'examen de ce tableau permet de constater la validité des résultats fournis par la formule et leur concordance avec les résultats q(1) de l'étude statistique.

Les courbes correspondantes sont données dans le graphique 2.2. final.

2.1.3.3. La Tunisie Centrale

Cette partie de la Tunisie groupe notamment les bassins des oueds Hatob et Hattab ; (les deux principales branches du Zéroud), du Zéroud du Leben et les grands bassins du Sahel de Sousse et de Sfax.

Le report des résultats de l'étude statistique effectués sur le bassin du Zéroud (Ain Saboun, Sidi Saad et Kanguet Zaria) sur graphique à échelle logarithmique a abouti aux résultats du graphique 2.1.3.3., la relation traduisant ces courbes est :

$$q = 5,5 S^{-0,5} T^{0,76}$$

En ramenant cette formule à l'équation générale $q = \lambda q_0 \frac{T^{0,41}}{S}$

on peut écrire

$$q = \lambda' q_0 \frac{T^{0,41}}{S}$$

$$\text{soit } q_0 = 5,5 \text{ et } \lambda = 0,85 T^{0,35}$$

$$\lambda = 2,2 \text{ pour } T = 10 \text{ et } 20$$

$$\lambda = 3,8 \text{ pour } T = 50 \text{ et } 100$$

Dans le tableau 2.1.3.3. ci-après, nous donnons les valeurs de $q^{(1)}$ (statistique) et q calculées aux trois stations considérées :

T	Branch Nord			Branch Sud			Branch Sud Est		
	Mén. Schem			Bouquet Zaria			Mén. Sidi Sidi		
	q (T)	q calc	écart rela.	q obs	q calc	écart relat.	q obs	q calc	écart rela.
10	1,05	1,38	21%	0,66	0,77	17%	0,33	0,31	10
20	1,99	1,68	16%	0,93	1,03	11%	0,60	0,51	15
50	4,06	4,24	5%	1,35	2,58	88%	1,17	1,29	10
100	6,56	5,62	14%	1,79	3,44	92%	1,83	1,72	6

Les valeurs observées considérées très faibles au départ.

La faiblesse des valeurs des erreurs relatives (comprise entre 4 et 21%) confirme l'utilisation de la formule citée. Nous avons été amenés à considérer les deux hypothèses pour T à cause du grand écart des résultats respectivement pour les périodes de retour.

T = 10 où on a $T^{0,35} = 2,24$ et T = 100 pour laquelle $T^{0,35} = 5,01$ soit le double.

2.1.3.4. La Tunisie méridionale

Nous incluons dans cette région tout le Centre Sud, le Sud Est et le Sud Ouest du pays.

Le manque d'observation dans cette région ne nous permet que d'avancer des ordres de grandeur des débits spécifiques. Pour cela, et comme nous l'avons mentionné au début de cette étude nous utilisons le coefficient de Francou-Radier K pour les bassins dépassant 200 km². Les valeurs de K peuvent être appliquées pour cette région sont les suivantes :

$$K_{10} = 4,0$$

$$K_{20} = 4,2$$

$$K_{50} = 4,6$$

$$K_{100} = 4,9$$

Ces valeurs de K donnent les résultats suivants pour des superficies variant entre 200 et 10.000 m².

S en m ²	200	500	1000	5000	10000
T en an					
10	1,89	1,32	1,0	0,53	0,40
20	2,47	1,68	1,26	0,64	0,41
50	4,18	2,74	2,0	0,95	0,69
100	6,20	3,96	2,80	1,23	0,88

Le report de ces résultats sur un graphique à échelle logarithmique donne lieu aux droites de la figure 2.1.3.4.

Les courbes convergent pour les fortes superficies, pour l'homogénéité des résultats et partant des résultats centenaire et cinquante naire nous avons modifié les droites décennale et vingtenale, pour obtenir un réseau de droites parallèles facilement exprimables par la relation générale.

$$q = q_r \cdot S^a \cdot T^b$$

Les paramètres du nouvel ensemble de droites sont :

$$q_r = 9,2$$

$$a = 0,5$$

$$b = 0,49$$

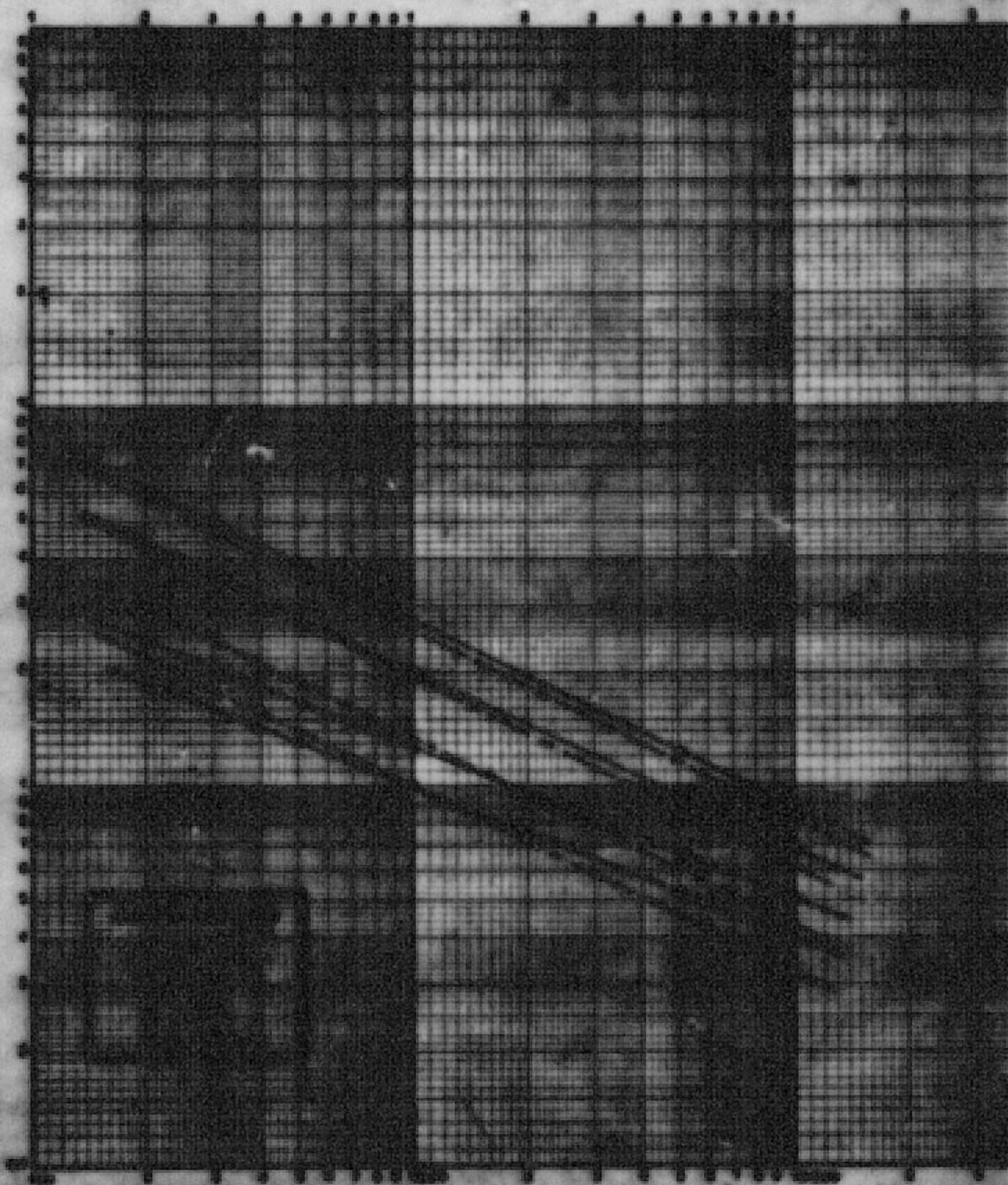
$$\text{soit } q = 9,2 \cdot S^{0,5} \cdot T^{0,49} \quad (6)$$

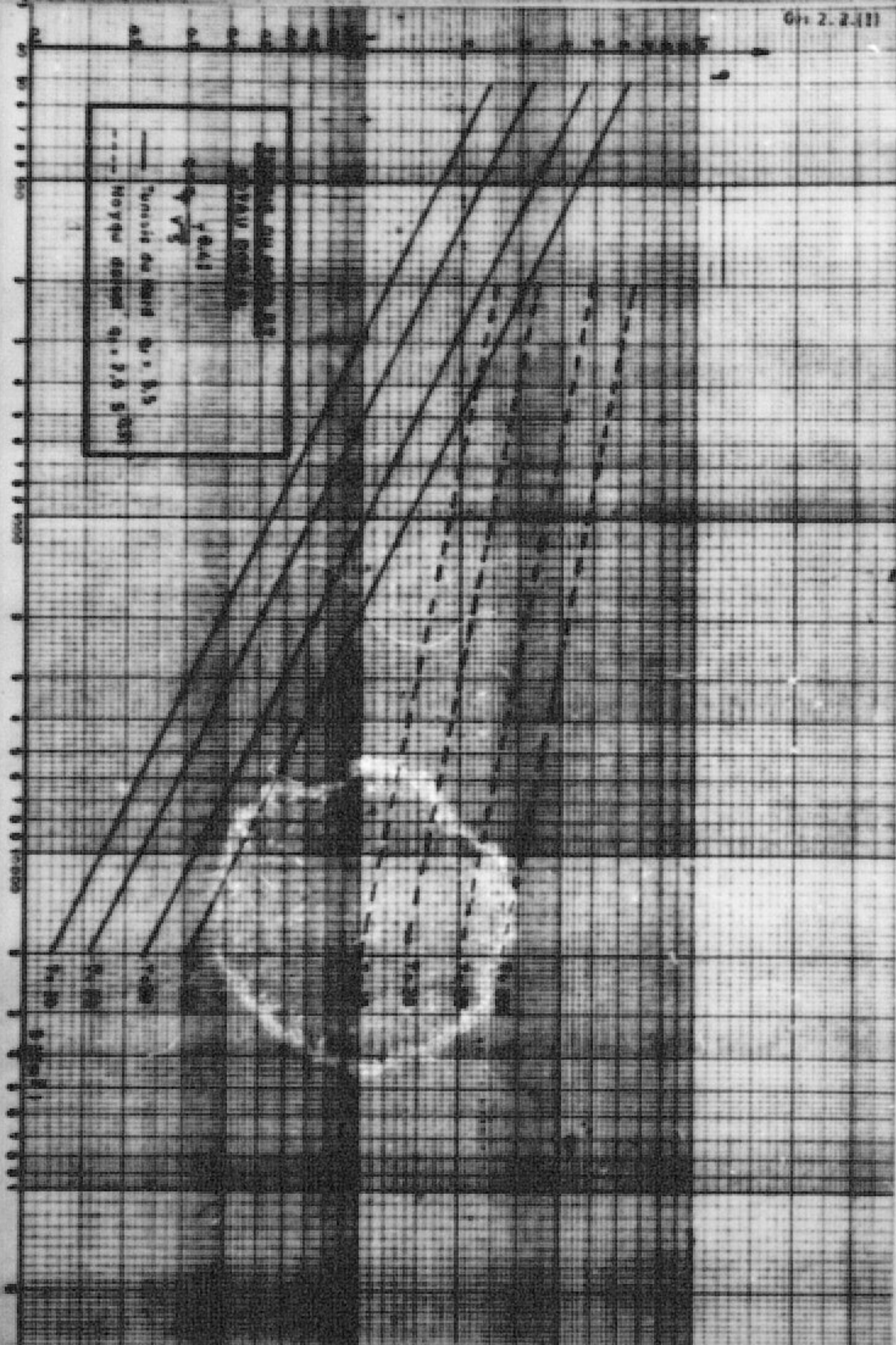
$$\text{ou } q = 1,42 \cdot 6,5 \cdot S^{0,5} \cdot T^{0,68}$$

$T^{0,68}$ variant 1,30 (pour T = 10) et 1,45 (pour T = 100).

on peut prendre une valeur moyenne pour $T^{0,68}$ égale à 1,32.

$$(6) \text{ devient } q = 1,90 \cdot 6,5 \cdot S^{0,5} \cdot T^{0,41}$$





Appliquée aux bassins de superficie 200, 500, 1000 et 10000 m^2 , cette formule aboutit aux résultats ci-dessous.

S en m^2	200	500	1000	10000
10	2,24	1,42	1,00	0,32
20	2,19	1,39	1,14	0,42
50	4,34	2,74	1,94	0,61
100	5,77	3,45	2,50	0,82

Les écarts relatifs des deux séries de valeurs obtenues par la formule de Francis Sadler et par la nôtre sont assez faibles comme le montre le tableau suivant concernant pour les fréquences cinquantaires et centimales

S	100	500	1000	10000
10	19%	6%	3%	20%
20	21%	13%	6%	3%
50	4%	6%	3%	12%
100	7%	8%	6%	7%

Ainsi donc pour la Tunisie Orientale on peut admettre que le débit spécifique des bassins de superficie supérieure à 200 m^2 est donné par la formule générale.

$$q = \gamma \cdot q_0^{\frac{1}{2}} S^{0,5} \gamma^{0,41}$$

$$\text{soit } \begin{cases} q_0 = 6,5 \\ \gamma = 1,9 \end{cases}$$

La traduction graphique de ces résultats aboutit au schéma ci-dessous de graphique final donné à la fin de cette étude.

2.2. Récapitulation des résultats

Nous résumons les différents résultats obtenus pour chaque région

a) Touriste septentrionale

$$q = \frac{1 - 90 \cdot T^{0,41}}{\sqrt{S}}$$

$$q_0 = 6,4$$

$$\lambda = 1 \text{ pour } S \geq 90 \text{ km}^2$$

b) Touriste Borsale

$$q = \lambda \cdot q_0 \cdot \frac{T^{0,41}}{\sqrt{S}}$$

$$q_0 = 6,5$$

$$\lambda(S) = 0,4 \cdot S^{0,31}$$

pour $S \geq 200 \text{ km}^2$

c) Touriste Centrale

$$q = \lambda \cdot q_0 \cdot \frac{T^{0,41}}{\sqrt{S}}$$

$$q_0 = 6,5$$

$$\lambda = 2,2 \text{ pour } T = 10 \text{ et } 20$$

$$\lambda = 1,80 \text{ pour } T = 50 \text{ et } 100$$

d) Touriste Méridionale

$$q = \lambda \cdot \frac{90 \cdot T^{0,41}}{\sqrt{S}}$$

$$q_0 = 6,5$$

$$\lambda = 1,9 \text{ pour } S \geq 270 \text{ km}^2$$

On peut résumer ces différents résultats par la formule générale suivante dans laquelle on pose

$$q_T(S) = q_0 \cdot \lambda$$

$$Q = q \frac{T^{0,41}}{\sqrt{S}}$$

avec T = période retour en année

S = superficie en km^2

q = débit spécifique en $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$

et $q_p(z)$ = paramètre qui prend les valeurs du tableau suivant

Région	q_p
Tunisie du Nord et Cap-Rouge	pour $S > 50 \text{ km}^2$ $q_p = 6,5$
Bassin versant	pour $S > 200 \text{ km}^2$ $q_p = 2,60 S^{0,31}$
Tunisie Centrale et Sahel	pour $T = 10,20 \text{ ans}$ $q_p = 14,30$ pour $T = 50 \text{ ou } 100 \text{ ans}$ $q_p = 24,70$
Sud Est et Sud Ouest	pour $S > 200 \text{ km}^2$ $q_p = 12,35$

Les abaques relatifs à ces résultats sont donnés dans les graphiques 2.2. 1 et 2 ci après.

3.- ESSAI DE JUSTIFICATION DES FORMULES TRIVIALES

Le débit spécifique de crue $q = \frac{Q}{S}$ (en $m^3/s/km^2$) d'un cours d'eau est fonction de la taille de son bassin versant. Il prend des valeurs d'autant plus élevées que la superficie est plus réduite, toutes choses égales d'ailleurs. Autrement dit le débit de crue croît beaucoup moins vite que la surface des bassins. En effet l'intensité de la pluie durant un intervalle de temps t décroît quand t augmente, or le débit de pointe d'une crue est en liaison étroite avec l'intensité moyenne de la pluie calculée sur le temps de concentration qui est généralement fonction de la pente et du coefficient de forme du bassin versant c'est à dire, au vu de la relation donnant ce coefficient $K = 0,33 \frac{L}{S^{0,5}}$, fonction de $\frac{1}{S^{0,5}}$.

Ceci peut expliquer l'apparition de ce paramètre ($S^{0,5}$) dans les formules. Par ailleurs le débit spécifique dépend de la pluviosité moyenne sur le bassin et il a été montré que le coefficient d'abattement est d'autant plus grand que la superficie est petite. Ceci montre encore une fois que le débit spécifique varie en sens inverse de la superficie des bassins.

Par ailleurs nous avons essayé dans tout ce qui précède de ramener les formules adoptées à une forme générale de type

$$q = q' S^{-0,5} T^0$$

En plus de caractère régional qu'exprime la formule adoptée elle présente l'avantage de tenir compte des fréquences d'apparition des crues.

En effet les résultats obtenus par l'étude statistique et leur représentation graphique ont montré qu'il existe une relation entre le maxime de débit spécifique qu'on a des chances de rencontrer une fois au cours d'une période de T années et l'aire de bassin versant en km^2 .

CONCLUSION :

Les formules données pour les différentes régions notamment ceux du Nord et du Centre Tunisien et qui découlent de l'interprétation statistique de résultats de séries d'observations assez longues relevées sur des bassins de différentes tailles, sont acceptables une fois examinées et elles permettent de donner des valeurs "repères" auxquelles tout utilisateur de différentes estimations pourra se référer.

Pour les régions du Sud, nous pensons que la formule adoptée à partir des coefficients de Forman-Sailler qu'on a usage d'appliquer à cette région, peut être aussi utilisée pour les estimations globales et en attendant de l'affiner dans quelques années à partir de séries d'observations plus importantes.

Pour conclure cette étude il est utile de rappeler toutes fois qu'en peut reprocher à la méthode employée les faits.

1) les données utilisées ne sont pas homogènes

2) l'erreur peut varier de 5 à 10 % dans le cas le plus favorable à 20% et plus dans les cas les plus avérés il est en effet très difficile de mesurer certains débits quand les vitesses dépassent 5 m/s et quand la proportion des débits actifs transportés est très mal connue par ailleurs il faut avoir toujours présent à l'esprit ce que signifie une période de retour quant aux risques encourus.

En effet, si on recherche la probabilité pour que la crue annuelle dépasse ou égale une fois dans une période de T années consécutives une valeur dont la période de retour est donnée on aboutit (grâce à une loi de Poisson), aux résultats suivants :

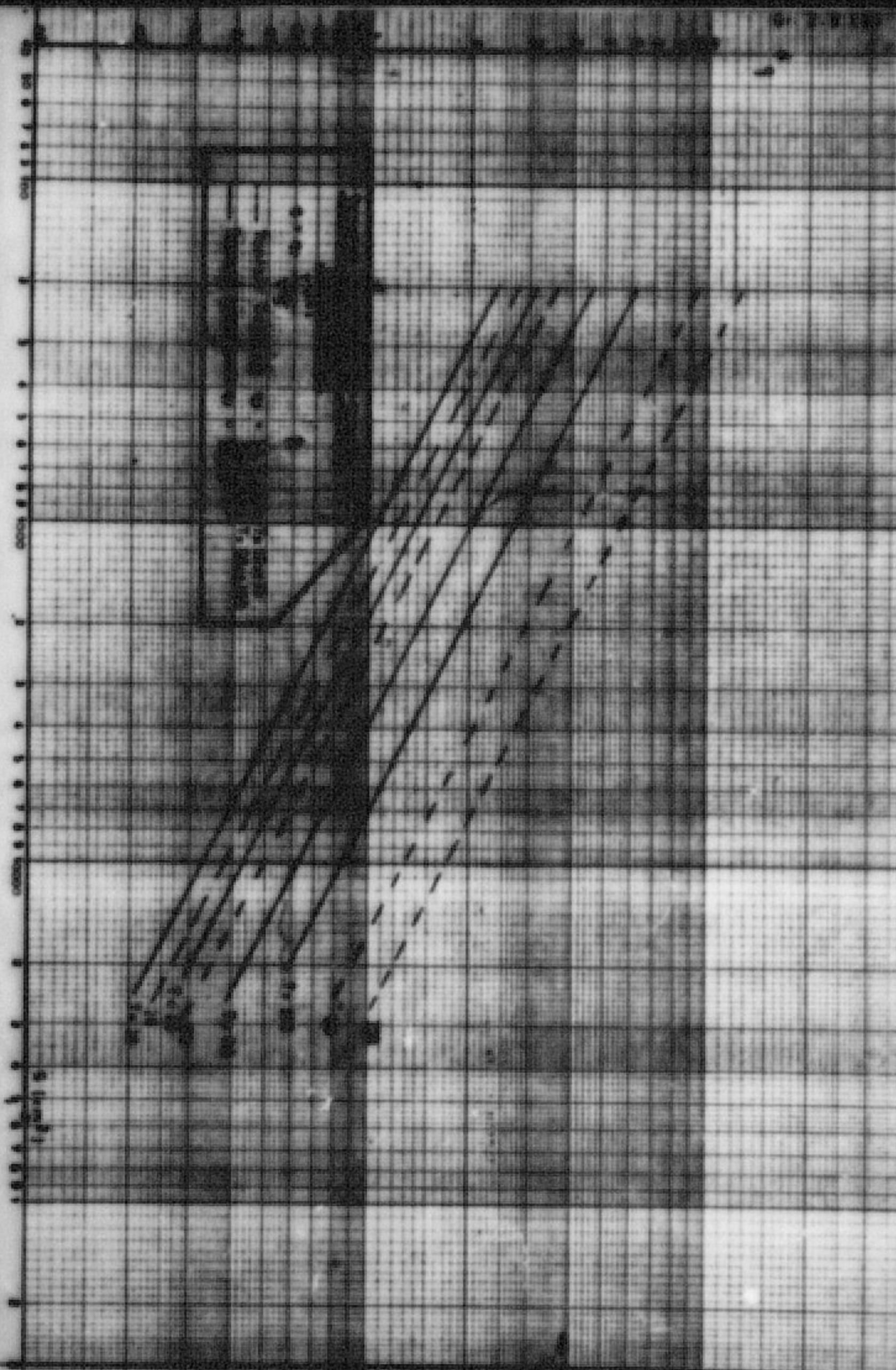
T		P	T				
Période de retour			10	20	50	100	200
Décennale	10	0,1	0,501	0,368	0,270	1	1
	20	0,05	0,373	0,232	0,142	0,089	1
	50	0,02	0,181	0,103	0,052	0,023	0,002
Centennale	100	0,01	0,093	0,051	0,023	0,012	0,003
	200	0,005	0,043	0,024	0,011	0,005	0,002
	500	0,002	0,019	0,010	0,004	0,001	0,000
Millénaire	1000	0,001	0,009	0,005	0,002	0,000	0,001

On voit par exemple que la probabilité d'observer au moins une crue centennale dans les 20 années à venir est d'un peu plus de 10 chances sur 100 ce qui est une probabilité loin d'être négligeable. Inversement, on voit aussi que la probabilité de ne pas observer de crue décennale dans les 20 années à venir est de 13,5 chances sur 100. Ceci explique la prudence qu'il convient d'observer lorsqu'on se dispose que de courtes séries d'observation assure que parfois on puisse, à l'aide de corrélations hydrologiques, tirer un meilleur parti des observations si les relevés pluviométriques ont été faits sur une période plus longue.

Il importe enfin de noter que les lois statistiques appliquées sur les séries chronologiques de données continues ne sont qu'une tentative pour donner un ordre mathématique aux observations pures. L'utilisation de ces lois par extrapolation pour définir la fréquence des phénomènes futurs suppose que le climat reste inchangé et qu'aucune intervention humaine ne s'opère. Les facteurs qui modifient la régime hydrologique pendant les observations pures.

En ce qui concerne le climat, il peut subir des fluctuations de moyenne durée (1^{re}, 5^e ou 10^e ans par exemple), ou même des fluctuations ou tendances de plus longue durée (quelques siècles ou plus encore). Les fluctuations de courte durée peuvent rendre erronées des évaluations de risques faites à partir des observations d'une période de 40 ou 50 années séchées par exemple si la période qui suit est plus humide (dans un climat stable en moyenne à l'échelle de millénaires). Nous insistons sur ce point car il semble possible que ce soit le cas actuellement en Tunisie. En 1980 à 1990 environ, on aurait eu une période sèche qui aurait suivi depuis 1950 jusqu'à nos jours par une période plus humide. Rien ne permet, dans l'état actuel des connaissances, de prévoir si cette période humide se prolongera et de combien d'années.

En conclusion s'expriment joints aux les résultats d'études statistiques aussi intéressants qu'ils soient doivent être utilisés avec beaucoup d'esprit critique. Malgré toutes ces fluctuations à la evidence, il est certain que les résultats ainsi obtenus sont utilisables et présentant les meilleures garanties pour les utilisateurs, surtout si l'on dispose d'un état global d'un bassin versant permettant des comparaisons entre stations et concernant aussi la fonte et la propagation des crues en relation avec les pluies observées.



Bibliographie

- 1) Etude fréquentielle des débits marins (DRE Esche Duval)
- 2) Dossier hydrométrique de l'Oued Mbir (DRE R. Kallel)
- 3) Dossier hydrométrique de l'Oued Joumine (DRE R. Kallel)
- 4) Monographie de la Medjerda (DRE Service Hydrologique)
- 5) Monographie du Nilane (DRE Service Hydrologique)
- 6) Aperçu sommaire sur l'hydrologie de l'Oued Safet (DRE P. KALLEL)
- 7) Voie Ferrie Sfax - Sidi (DRE R. Kallel et J. CHABANE).
- 8) Essai de classification des crues maritimes observées dans le monde (Frenou (J) et Rodier (J) Cahier ONSP, Série Hydrologie Vol. IV n° 3 (1967).
- 9) A propos de l'estimation des débits de pointe en Tunisie (R. KALLEL et J. CHABANE) (Recherches en Eau de Tunisie n°3 1976.)

Evaluation des débits maximaux
en TUNISIE .-

E R R A T A

Page	Alinéa	ligne	lire	au lieu de
1	1er	3	hydrauliques	Hydrologiques
9	3	3	$k = k_0 S^n T^b$	
9	5	5	$Q = Q_0 \left(\frac{S}{S_0} \right)^{1-k/10}$	$Q = \left(\frac{Q_0}{S_0} \right)^{1-\frac{k}{10}}$
11	1	4	nous ne disposons que	nous disposons
11	7	2	homogénéité	homogénéité
12	1	2	"	"
13	6	1	formule obtenue pour le Nord du pays	formule générale
13	6	7	$\lambda (S) = 0,45 S^{0,31}$	$\lambda (S) = 0,45 S^{0,31}$
16	4	6	ou $q = 1,42 \times 6,5 S^{-0,5} \cdot T^{0,08 T^{0,41}}$	
			ou $q = 1,42 \times 6,5 S^{-0,5} T^{0,08}$	
20	4	2	maximum	maxima
21	2	12	0,095	0,005

FIN

... **33** ...

WMA