



MICROFICHE N°

03776

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F 1

CMS 4 377.1

DIVISION DES RESSOURCES EN EAU

---:|:---

METHODES D'ESTIMATION DU RUISSELLEMENT

2EME Semaine de l'Hydraulique

Tunis 13-14-15 Mai 1981

MAI 1981

A. GHORREL

REPUBLIQUE TUNISIENNE

---§---

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

---§---

D. R. E. S.

Division des Ressources en Eau

Service Hydrologique

CNDA 3776

METHODES D'ESTIMATION DU RUISSELLEMENT

2EME Semaine de l'Hydraulique

Tunis 13 - 14 - 15 Mai 1981.

E. N. I. T.

---§---

MAI 1981.

A. GHORBEL
Ingénieur Principal
Hydrologue.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION

2. DEFINITION DU FUISELLEMENT

3. ESTIMATION DES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE

3.1. Existence de station hydrométrique au site d'aménagement

3.1.1. Opérations à faire

3.1.2. Difficultés à rencontrer

3.1.3. Etude des données hydrologiques

3.2. Transfert de l'information hydrologique

4. FORMULES ETABLIES EN TUNISIE.

5. CONCLUSION

6. BIBLIOGRAPHIE

1.- INTRODUCTION

Des études hydrologiques plus ou moins poussées sont indispensables dès le début de la mise sur pied d'un aménagement hydraulique tel que.

- une fourniture d'eau :
 - . pour la fabrication d'électricité
 - . Pour l'agriculture, l'élevage, l'industrie l'urbanisme
- laminage des crues, afin de protéger une ville contre les débordements dangereux.

Le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont toujours liés à une saine évaluation des débits.

La préparation des plans généraux d'aménagement tels que le Plan Directeur des eaux du Nord, du Centre et du Sud Tunisien, implique une très bonne connaissance des ressources en eaux des régions considérées.

2.- LE RUISSELLEMENT

C'est la portion des précipitations qui atteint l'exutoire considérée en empruntant uniquement la voie de l'écoulement superficiel direct ; autrement dit c'est la tranche résiduelle subsistant après soustraction des quantités d'eau absorbées par l'interception, l'infiltration, le stockage superficiel et l'évaporation au cours de l'averse.

3.- ESTIMATION DES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE

En Tunisie ou d'une façon générale dans la plupart des pays, on dispose d'informations hydrologiques fournies soit par les réseaux hydrométriques, soit par les bassins représentatifs. Ces informations hydrologiques, quelle que soit la densité des dispositifs de mesures, ne concernent qu'un certain nombre de bassins versants. Il y a toujours des bassins versants non observés même si on a d'excellents réseaux de mesures.

Or, les besoins connaissance de la ressource en eau se posent aussi bien pour les bassins des réseaux que pour les bassins non observés.

.../...

3.1. Cas le plus favorable : existence de station hydrométrique au site d'aménagement

3.1.1. Opérations à faire

- collecte des données : hauteurs d'eau, débits ...
- dépouillement de ces données
- critique de ces données
- établissement de ou des courbes de tarage $Q = f(H)$
- traduction des hauteurs d'eau en débits
- établissement de tableaux de débits moyens journaliers

3.1.2. Difficultés à rencontrer

- données de mauvaises qualités (existence de lacunes, observateurs peu consciencieux. ...)
- variation du fond du lit de l'oued (général pour presque tous les oueds en Tunisie).
- parfois il est impossible de mesurer les débits avec un moulinet (existence d'angles très importants).

3.1.3. Etude des données hydrologiques

Si on dispose à la station de mesure d'une série d'informations de longue durée (15 à 20 ans au moins), dans ce cas les études des éléments intéressant l'hydrologue peuvent être menées sans difficultés. Dans le cas où la série de données est trop courte on essayera d'étendre cette dernière à partir de données pluviométriques généralement de longue durée et de corrélations hydropluviométriques ou d'une façon générale entre variables hydrologiques et paramètres de l'environnement. Le problème consiste en l'établissement de relations entre des variables hydrologiques V_1, V_2, \dots définies, a priori et certains paramètres, P_1, P_2, \dots, P_m du milieu physico-climatique, de la forme $V_1 = f(P_1, P_2, \dots, P_m)$ de telle sorte que l'écart résiduel soit minimal. On peut citer comme exemple :

a) Méthode des variations résiduelles

C'est une méthode graphique qui cherche à relier la variation de y à celle des variables X_1, X_2, \dots, X_r . On commence par chercher dans un graphique (Y, X_1) la liaison entre Y et X_1 la liaison peut être quelconque

.../...

d'où le tracé d'une courbe (si la liaison existe) et la connaissance de la fonction F_1 telle que $Y = F_1(X_1) + \Delta Y_1$. On cherche la liaison entre les variations résiduelles ΔY_1 et la deuxième variable X_2 d'où $Y_1 = F_2(X_2) + \Delta Y_2$ soit $Y = F_1(X_1) + F_2(X_2) + \Delta Y_2$ et on recommence l'opération autant de fois qu'il est nécessaire.

Problèmes : : tracé des courbes qui représentent les fonctions F_1 , F_2 ne dépend que de celui qui la trace de même l'ordre dans lequel on envisage les différentes variables explicatives X_1 , X_2 .

b) Méthode de l'hydrogramme unitaire

Employée surtout pour les bassins de superficie inférieure à 50 km².

Les principes essentiels de cette méthode sont les suivants :
pour une averse homogène dans l'espace, dont la durée à forte et à moyenne intensité est inférieure à une limite donnée (en pratique, moins de la moitié du temps de la crue), tous les hydrogrammes de ruissellement ont la même forme, ce sont des courbes affines.

Problèmes:

- Choix de l'HU - on obtient en général autant d'HU différents que de couples hydrogrammes-pluviogrammes.

- Estimation de la pluie nette.

c) Si on a une série courte de données hydrologiques et on ne s'intéresse qu'à l'estimation de crues de faible fréquence dans ce cas, on peut appliquer la méthode du "Gradex".

Cette méthode consiste à extrapoler la distribution de fréquence des débits maximums annuels parallèlement à la distribution de fréquence de pluie.

En théorie cette opération n'est justifiée qu'avec une distribution de pluie assimilable à une distribution exponentielle dans la zone d'extrapolation

$$F(p) = 1 - \exp(-u)$$

$$u = (p - p_0) / a$$

Le passage des débits journaliers maximums annuels aux débits instantanés de pointe se font par simple affinité effectuée avec la moyenne empirique de R estimée sur un grand nombre de crues $R = \frac{\text{débit de pointe}}{\text{débit moyen journalier maximal}}$

.../...

application non appliquée aux bassins recouvrant des données climatiques hétérogènes et aux bassins très perméables.

- Il faut disposer d'une série d'observations hydrométriques qui ne doit pas être très inférieure à 10 ans.

3.2. Transfert de l'information hydrologique

Si le problème d'estimation se pose pour un site d'aménagement hydraulique, compris entre deux stations d'observations, dans ces conditions, le transfert d'analogie est facile puisque les caractéristiques hydrologiques du lieu d'estimation sont comprises entre celles des stations d'observations dont elles diffèrent d'ailleurs assez peu.

La majorité des problèmes d'estimation se posent pour des bassins non observés c'est à dire pour des bassins versants de superficie faible à modérée sur lesquelles n'existent aucune station de mesure. La résolution de ces problèmes exige le recours à l'information disponible dans des bassins voisins de la même région climatique. Le transfert d'information repose sur le postulat selon lequel deux bassins auront des caractéristiques hydrologiques identiques si leur milieu physico-climatique - leur environnement est le même.

Le problème consiste donc à analyser ce milieu physico-climatique, en dégager les paramètres susceptibles d'influencer les caractères hydrologiques afin de mettre en évidence le rôle de ce milieu sur les dits caractères.

Deux cas peuvent se présenter

1/ Lorsqu'un bassin versant non observé est situé dans une région dans laquelle une synthèse de l'information hydrologique disponible a conduit à un ensemble de liaisons $V_i = F(P_1, P_2 \dots P_k)$, ou s'il est situé dans une région d'environnement comparable, l'estimation des principales caractéristiques hydrologiques de ce bassin est chose aisée. Il suffit d'en calculer les paramètres du milieu utilisés dans les liaisons hydrologiques-environnement et d'appliquer celles-ci.

.../...

Exemples de relations entre variables hydrologiques et paramètres de l'environnement

a) Les formules donnent les caractéristiques de l'hydrogramme unitaire de crues-temps de réponse en fonction de la longueur du bassin, débit de pointe en fonction de la surface, de la durée de la pluie et de l'état du bassin comme celles de SNYDER.

$$t_p = 1,2 \text{ à } 1,5 (L - L_g)^{0,3} \quad t_p = \text{temps de réponse}$$

L = longueur en miles du cours d'eau principal depuis la station de jaugeage considérée jusqu'à la ligne de partage des eaux.

L_g = distances en miles (mesurée le long du cours d'eau principal) entre la station de jaugeage considérée et le centre de gravité de son bassin versant.

La durée de l'averse unitaire $t_e = \frac{11}{5,5}$

p

C = coefficient empirique qui varie de 0,56 à 0,69

$$q_p = \frac{640 C A}{t_p}$$

q_p = débit de pointe

A = Superficie du bassin

q_p = débit de pointe de l'hydrogramme unitaire pour une averse unitaire donnant une hauteur de ruissellement de un pouce

b) Formules donnant le débit maximal d'une crue de fréquence choisie

b.1) Formule de Caquot

$$Q = KI^m C^n A^p$$

Q = débit maximum correspondant à l'averse decennale

K = coefficient numérique

I = valeur moyenne de la pente sur le développement total du parcours de l'eau

C = coefficient de ruissellement du bassin

A = superficie du bassin

.../...

b2) Formule de Fuller

$$q(T) = q_1 (1 + 0,3 \log T)$$

q_1 = moyenne des débits maxima de chaque année

q et q_1 sont des débite moyens journaliers

q_m = débit instantané de pointe correspondant

la formule de passage de q à q_m est

$$q_m = q \left(1 + \frac{2,66}{A^{0,5}} \right) \text{ A étant la surface du bassin versant en km}^2.$$

c) Formule donnant les débits maxima en utilisant uniquement les surfaces A des bassins versants

c1) Formule de Myer $Q = CA$ α en général pris = 1/2

c2) Formules italiennes

$$q = \frac{a}{(A+b)} + c$$

a, b, c constantes

A = superficie

q = débit spécifique

Remarque :

Ces formules ont été établies à partir de données expérimentales en quantité limitée et en provenance d'une certaine région ; par conséquent le domaine des utilisations doit être limité à la région de laquelle proviennent les données expérimentales ayant contribué à leur élaboration ou à des régions d'environnement comparables. Ces formules appliquées sans discernement peuvent conduire à des estimations erronées de 100 à 200 %.

2) L'information hydrologique régionale est insuffisante on l'ensemble précédent de liaisons "hydrologie-milieu" n'a pas été élaboré.

Dans ce cas la méthode de transfert est purement analogique et qualitative. Ce transfert analogique n'a l'inconvénient que de devoir être refait à chaque demande et d'être dépendant de la qualité ou de l'intuition de l'hydrologue, donc d'être imprécis et inconsistant.

Malgré ces défauts, il reste la seule méthode d'estimation en l'absence de liaisons régionales établies.

.../...

4.- FORMULES EMPLIEES EN TUNISIE

4.1. Barème B.L.R.R.

C'est un graphique qui donne le débit maximal d'une fréquence donnée en fonction de la surface du bassin versant.

D'une façon générale ce barème surestime les débits maximaux des petits et moyens bassins.

L'utilisation de ce barème n'est pas conseillée.

4.2. Formule Algérienne

C'est une formule qui est venue de l'Algérie et dont l'auteur n'est pas connu. J. Tixeront l'a adaptée pour la Tunisie $R = P^3 / 3 E^2$

P = ruissellement annuel moyen

P = hauteur de pluie moyenne annuelle

E = évapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration calculée par la formule de Thornthwaite est variable entre 0,8 et 1,20 mm pour la Tunisie.

E est prise égale à la moyenne 1

la formule devient $R = P^3 / 3$

a) cette formule n'est valable que pour la région où les pluies sont inférieures à 600 mm.

b) pour ces régions, le chiffre 3 semble très faible pour les territoires du Sud et il semble préférable d'adopter au dénominateur de la formule 4 pour le Centre-Sud et 5 pour le Sud.

4.3. Formule donnant le débit maximal d'une crue d'une fréquence donnée en fonction de la surface du bassin (R. Kallel)

En 1977 un inventaire de tous les débits spécifiques maximaux en Tunisie a été fait au Service Hydrologique. cet inventaire a fait apparaître une "régionalisation" de ces débits.

.../...

R. Kallel en partant de cette constatation et en utilisant les résultats des études fréquentielles des débits maxima a pu tracer des courbes régionales donnant le débit spécifique d'une fréquence donnée en fonction de la surface du bassin. De ces courbes il a tiré la formule suivante :

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

- q = débit spécifique en m³/s/km²
- S = superficie du bassin en km²
- T = période de retour en année
- q_r = paramètre régional

Cette formule qui est beaucoup plus élaborée que le "barème BIRH" assure une précision de 20 % pour les régions du Nord et du Centre Tunisien. Pour le Sud à défaut de mesures en quantité suffisante l'auteur nous incite à la prudence.

4.4. Méthode d'évaluation du ruissellement en Tunisie , bassins versants de la Dorsale et de la Tunisie Centrale, (Ghorbel)

Pour une région donnée la formule Algérienne adaptée par Tixeront ne tient compte que de la pluviométrie alors qu' on sait que le ruissellement dépend de beaucoup de paramètres comme la surface du bassin, le relief, la couverture végétale etc...

Encouragé par la masse de données dont on dispose au Service hydrologique et par l'idée d'introduire d'autres paramètres que la pluviométrie dans l'estimation du ruissellement l'auteur a rassemblé les données de 24 bassins de la Dorsale et de la Tunisie Centrale et à l'aide de corrélation entre lame écumée et paramètres du milieu a pu obtenir un graphique liant le ruissellement à la pluviométrie, le relief, et la surface.

$$L = [a - b (s - s_0)] \left[x - x_0 \right] + c$$

L = lame ruisselée

S = superficie

X = $\frac{P^3}{\sqrt{H_{med} - H_E}}$

P = pluviométrie

H_{med} : altitude médiane du bassin

H_E = altitude de l'exutoire

a, b, c, s = constantes

.../...

les résultats obtenus par calculs sont comparables à ceux observés à une erreur près de plus ou moins 10 % en maximum, l'application de cette formule en dehors des limites d'applications à savoir pluviométrie comprise entre 300 et 600, > supérieure à 20 km² pas des zones d'infiltration très importantes ect... est déconseillée.

4.5 Relation ruissellement - Pluie : bassins du Sud-Est, du Sud-Ouest et du Sahel-Srl. (L. Fersi)

L'auteur a utilisé les données hydropluviométriques de 9 bassins.
L'équation reliant ces données est la suivante :

$$I_r = 153,9 \cdot 10^4 \cdot P \cdot \sqrt{I_G}$$

I_r = Lame ruisselée en mm

P = Pluviométrie moyenne sur le bassin en mm

I_G = Indice de pente globale en %/km

5. Conclusion

Les abacques régionaux, et le transfert analogique d'information permettent l'estimation des variables hydrologiques avec une précision satisfaisante pour les aménagements simples. Si l'aménagement est complexe, les méthodes exposées ci-dessus deviennent caduques au-delà de l'évent projet. Il est alors indispensable de doter la site d'aménagement d'une station hydrométrique pour affiner les estimations.

BIBLIOGRAPHIE

- 1/ Acte du colloque sur l'élaboration des projets d'utilisation des ressources en eau sans données suffisantes.
- 2/ L'hydrologie de l'ingénieur par G. Régnériès (65)
- 3/ Le ruissellement en Tunisie par J. Tixeront
- 4/ Evaluation des débits de crues maxima. en Tunisie R. Kallel (Nov. 1979)
- 5/ Méthode d'évaluation du ruissellement en Tunisie : bassins versants de la Dorsale et de la Tunisie Centrale A. Ghorbel (Juin 1979).
- 6/ Estimation du ruissellement moyen annuel sur les bassins du Sud Est, du Sud-Ouest et du Sahel Sud. M. Fersi -(Mars 79)

4-3 Essai de dompter le débilités d'une fréquence
en fonction de S

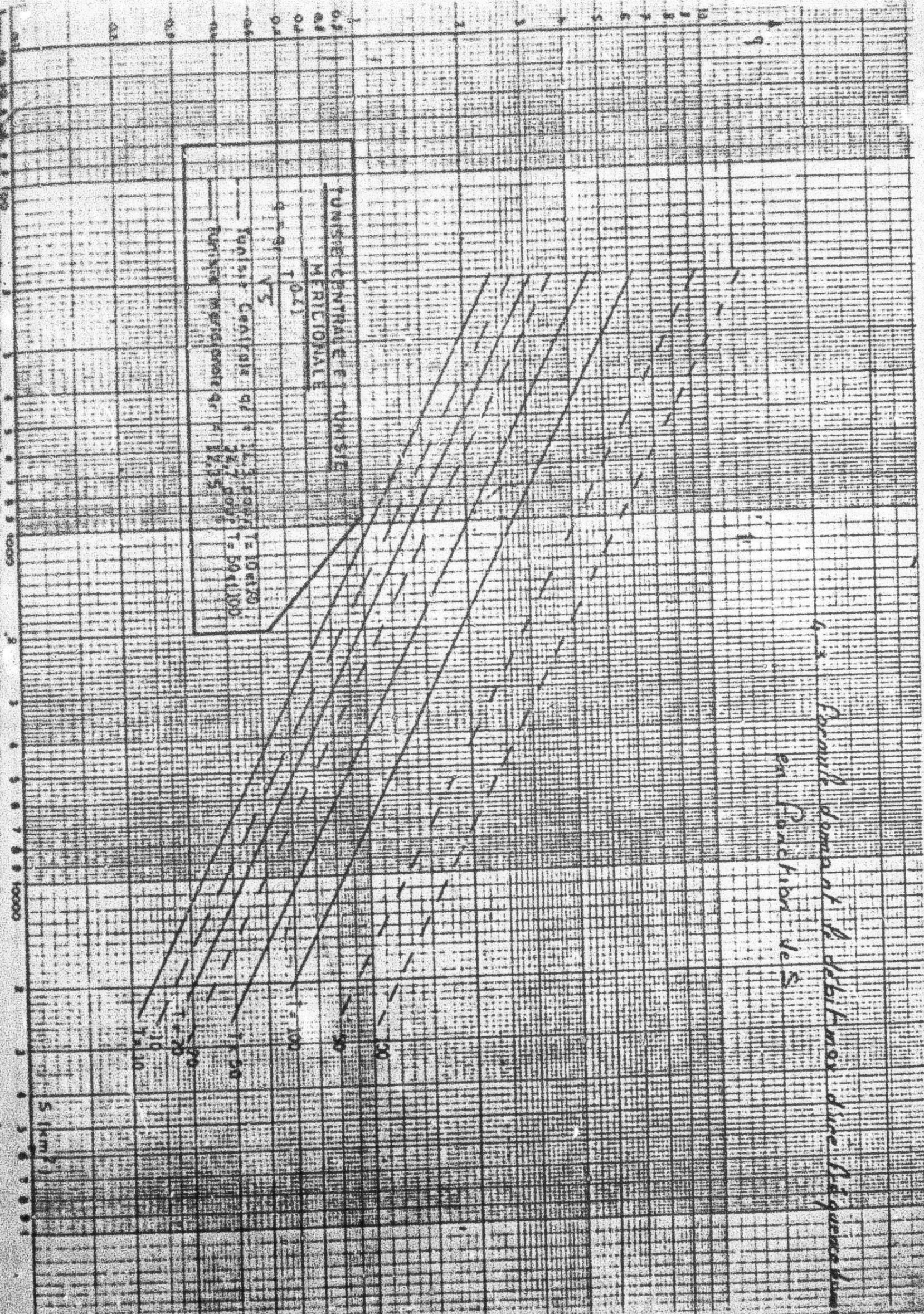


Figure 1

4.5

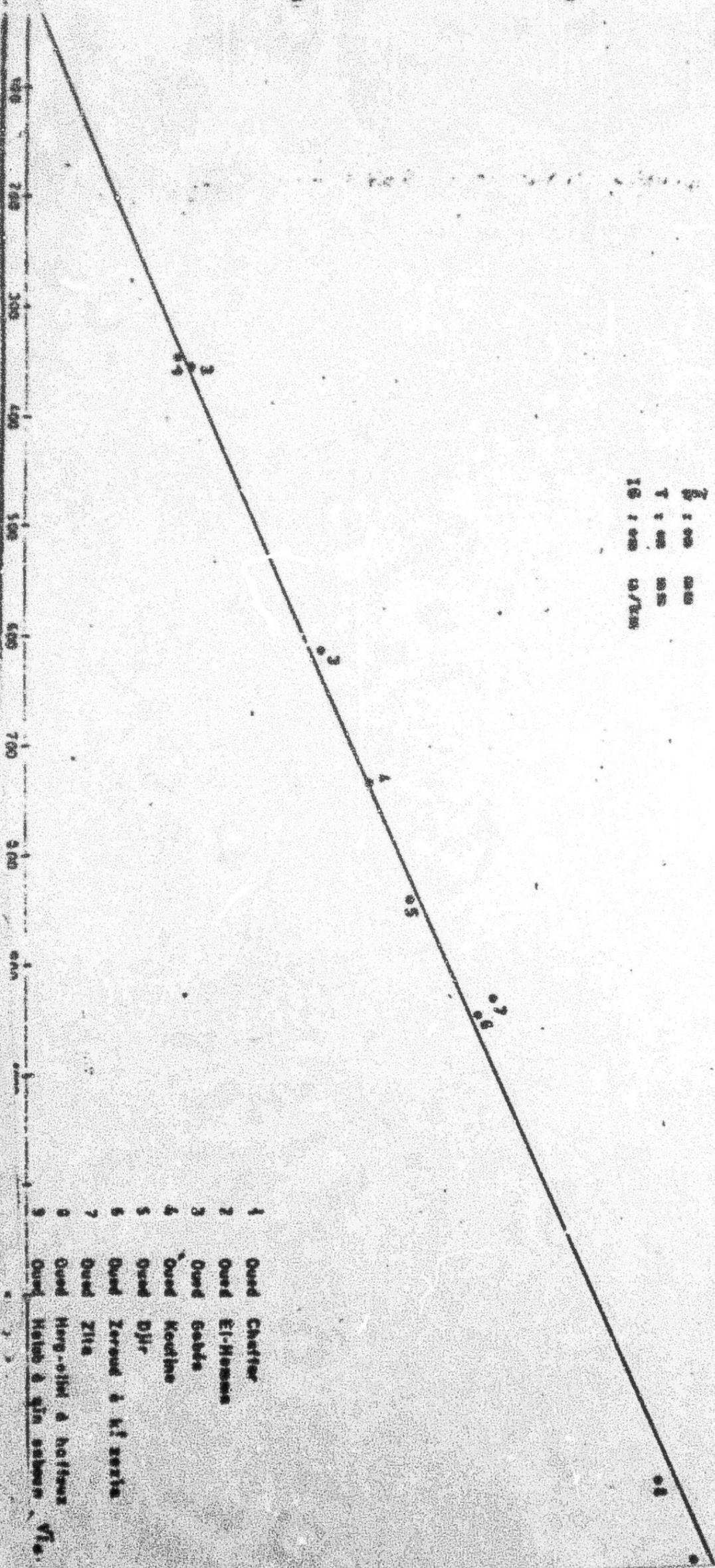
RELATION RUISSELLEMENT: PLUIE
bossins du Sud. Est, du Sud. Ouest
et du Sahel. Sud

$\bar{r} = 163,9 \times 10^4 \text{ P VT}_0$

$K = 163,9 \times 10^4 \text{ (m/km)}^{-1/2}$

R. 0,516 U.S.I

$\bar{r} : 00 \text{ mm}$
 $T : 00 \text{ mm}$
 $16 : 00 \text{ m/2m}$



- 1 Oued Chatter
- 2 Oued El-Houma
- 3 Oued Gabbe
- 4 Oued Koufne
- 5 Oued Djir
- 6 Oued Zeroud 1 ki zaria
- 7 Oued Zita
- 8 Oued Heng-ouel 4 hartsuz
- 9 Oued Helou 3 gin sakou

FIN

18

WUBS