

u⁶

sur L' HYDROLOGIE

~~SECRET~~

(NAIROBI, 16 - 26 Janvier 1961)

DOCUMENTATION

ANALYSE

DETERMINATION des DEBITS de CRUES des COURS d' EAU
de ZONE DESERTIQUE

par J. RODIER

Ingénieur en Chef à Electricité de France

Chef du Service Hydrologique de

1^{er} Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

Coordinateur du Réseau de Correspondants de

la Commission de Coopération Technique en Afrique au Sud du Sahara
pour l' Hydrologie

ORSTOM
HYDROLOGIE
DOCUMENTATION

70946

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 33 373

Cote B

Août 19

CONFERENCE INTERAFRICAINNE
sur l'HYDROLOGIE

(NAIROBI, 16 - 26 Janvier 1961)

DETERMINATION des DEBITS de CRUES des COURS d'EAU
de ZONE DESERTIQUE

La détermination des hauteurs maximales des crues présente de sérieuses difficultés. Le rapport ci-après donne quelques indications sur les échelles à maximums. L'exploitation des limnigraphes est délicate : les crues très violentes renversent les appareils et ensablent les puits de prises. Le changement des feuilles de diagrammes pose des problèmes ardues. L'emploi de limnigraphes à bulles d'air supprime une partie de ces inconvénients.

Pour certains types de climat, il est possible grâce à l'emploi d'équipe volante de mesurer directement les débits de crues, toujours de très courtes durées, mais en général le débit est calculé a priori à partir des délaissés de crues. Ceux-ci permettent de reconstituer la hauteur de la crue et la pente.

Une formule d'écoulement telle que celle de STEICKLER MANNING est utilisée pour déterminer le débit à partir de ces données, moyennant le choix d'une valeur du coefficient de rugosité.

Les études effectuées à partir de jaugeages réguliers montrent que ce coefficient varie de 30 à 35 (unités métriques) (^{44 à 52}) pour des lits sableux assez réguliers. Il peut parfois descendre à 13 (¹³).

Une liste de débits maximaux observés en zone désertique termine ce rapport.

DETERMINATION des DEBITS de CRUES des COURS d'EAU
de ZONE DESERTIQUE

Par J. RODIER

Ingénieur en Chef à Electricité de France

Chef du Service Hydrologique de
l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

Coordinateur du Réseau de Correspondants de
la Commission de Coopération Technique en Afrique au Sud du Sahara
pour l'Hydrologie

DSTOM
HYDROLOGIE
DOCUMENTATION

20966

Septembre 1960

Les crues des cours d'eau des régions désertiques présentent généralement les caractéristiques suivantes qui en rendent l'étude difficile :

- Elles sont rares, donc l'hydrologue a peu de chances de pouvoir les observer directement.
- Elles sont courtes et violentes, ce qui pose des problèmes délicats pour la mesure.
- Les lits sont souvent instables : il est donc fréquent qu'il n'y ait pas correspondance entre les hauteurs et débits, les installations en rivières exigent des précautions particulières.
- Les crues ne sont pas généralisées à l'ensemble du bassin et les lits ne présentent pas un caractère continu de l'amont à l'aval : les cours d'eau se perdent, c'est la dégradation hydrographique. Il est très fréquent que le débit maximal décroisse très rapidement de l'amont à l'aval.

Les stations d'observations permanentes sont très peu nombreuses. Dans le cas le plus fréquent, on reconstitue a posteriori les débits maximaux de crues où, lorsque les pluies sont susceptibles de se produire dans une courte période de l'année, les bassins à étudier sont parcourus par des équipes mobiles qui observent directement les phénomènes d'écoulement ou reconstituent ces phénomènes à partir de traces récentes.

A la limite Sud du SAHARA, les hydrologues bénéficient d'une courte saison des pluies, ce qui a permis d'organiser des missions de ce genre. Le présent rapport rassemble les données recueillies à la suite de ces missions.

A/- MESURE des HAUTEURS MAXIMALES :

L'installation de limnigraphes est très coûteuse dans ces régions. Elle rencontre les difficultés suivantes : ensablage de la

prise, dégradation des berges d'où renversement du limnigraphe, entrées de sable dans le dispositif enregistreur, conditions climatiques très dures pour l'enregistrement, difficulté du changement des feuilles de diagrammes, risques de dégradation ou de vol, frais d'installation très élevés.

Les deux premiers inconvénients sont les plus graves, le choix d'une zone rocheuse permet d'éviter l'ensablement et de trouver des redans où les tubes de limnigraphes à flotteurs soient abrités du courant, mais il est souvent impossible de trouver une section de ce genre.

sur cube gard
Pour éviter l'ensablage de la prise en zone sableuse, on l'entoure de matériaux de grosseurs soigneusement graduées ; signalons également la réalisation de massifs de prise en béton poreux à très faible dosage de ciment : 50 kg par m³. Le limnigraphe à bulles d'air évite une grande partie de ces inconvénients, mais les modèles actuellement en vente ne sont pas encore tout à fait au point et ne sont pas encore d'un fonctionnement très sûr.

Il est possible de disposer de mécanismes enregistreurs résistant au sable, à la sécheresse et à la chaleur. Par contre, pour éviter dégradation et vol, c'est beaucoup plus difficile. Il suffit, dans certains cas, d'enfermer le mécanisme enregistreur dans une guérite très robuste et solidement fermée mais il arrive souvent que la sécurité obtenue soit illusoire. Nous avons vu des massifs de béton détruits pour récupérer les tubes de fer du flotteur du limnigraphe ; les petits tubes de cuivre des limnigraphes à bulles d'air sont également bien tentants s'ils ne sont pas cachés. Chaque fois qu'on peut le faire, il est préférable d'installer un gardien à côté du limnigraphe.

On voit que le moyen utilisé le plus fréquemment pour déterminer la hauteur atteinte par les crues sera une échelle limnimétrique à maximums ; il faut qu'une telle échelle conserve la trace de la cote maximale, que cette trace ne soit pas effacée par la pluie et, autant que possible, que cette échelle ne soit pas volée.

Divers types d'échelles à godets ont été mis au point, chaque inventeur défendant farouchement les mérites de son type d'échelles. Certains ont obtenu satisfaction avec une échelle constituée par un fer cornière, les godets étant constitués par des triangles de métal soudés à l'intérieur de cette cornière. Ils sont remplis soit de poussière de charbon, soit d'huile de vidange ; ces produits qui sont emportés par le courant, risquent moins de l'être par la pluie.

D'autres échelles sont constituées par des tubes à l'intérieur desquels est tendu un fil ; un colorant soluble dans l'eau est placé à l'intérieur du tube et vient colorer le fil. Ce dispositif n'est malheureusement pas à l'abri du vol et souvent la chaleur décompose le colorant. Certaines compositions de peinture changent de couleur ou sont emportées par l'eau mais il faut les protéger de la pluie, d'où nécessité d'un couvercle qui risque d'être volé. La solution idéale serait constituée par une composition qui ne puisse pas être entraînée par la pluie et le soit par le courant, ce qui permettrait de peindre des bandes verticales sur les rochers ou les troncs d'arbres, ce qui éliminerait le risque de vols. Jusqu'ici, nous n'avons pas trouvé de composition donnant satisfaction dans tous les cas.

Il reste heureusement l'observation directe des délaissés de crues ; les meilleurs sont constitués par les petits débris assez fins laissés sur les berges ou les plaines d'inondation : petites feuilles, crottes de gazelles ou de chameaux. Mais de tels délaissés disparaissent assez vite après la crue. Si l'hydrologue arrive sur les lieux plusieurs mois après, il doit utiliser les branches ou les arbres transportés par la crue et la détermination est moins nette : des paquets d'herbes et de branches s'accumulent sur un arbre donnant une hauteur trop forte ou, au contraire, l'arbre plie plus ou moins, ce qui conduit à une hauteur trop faible. Il est nécessaire de ne pas se fier à un seul repère mais à une ligne de repères. Les délaissés très anciens sont encore plus délicats à utiliser. Quant à la date de la dernière crue, on peut parfois l'obtenir des nomades, surtout lorsqu'elle est récente.

B/- DETERMINATION des DEBITS :

Une équipe volante peut rencontrer une rivière en crue et procéder à des mesures régulières de débits, mais ce ne sera pas, en général, une opération de tout repos pour les raisons suivantes :

- 1°) Le personnel subalterne local aura "peur de l'eau" et ne sera pas d'un grand secours.
- 2°) Les installations de jaugeages devront être effectuées avant la crue, des installations importantes ne se justifient pas, en général, pour une crue par an et des installations légères risquent d'être volées ou détruites.
- 3°) Il est difficile de transporter un bateau sur les véhicules tous terrains utilisés ; les canots pneumatiques se détériorent vite au désert et les fortes vitesses en interdisent souvent l'emploi.

- 4°) Les variations de hauteurs sont rapides.
- 5°) Le sable rend fréquentes les pannes de moulinet hydro-métrique.
- 6°) Les fonds de sables argileux thixotropiques assez fréquents gênent considérablement la mesure au wading.

On résoud tant bien que mal ces difficultés par les moyens suivants : les très forts débits sont mesurés par des flotteurs par la méthode des deux chronomètres qui permet de tracer la courbe des vitesses superficielles moyennes.

Les faibles et moyens débits sont mesurés au moulinet, au besoin par la méthode des jaugeages continus si les variations de hauteurs d'eau sont trop rapides. Il ne faut pas hésiter à attendre si les vitesses sont trop fortes et à mesurer, même de faibles débits de décrue, ils fourniront des renseignements précieux.

Les profils en travers et en long seront soigneusement relevés, nous reviendrons plus loin sur ce point.

Les installations comporteront un câble gradué, une échelle limnimétrique et des repères pour déterminer les bases de mesures au flotteur. Tout ceci devra être aménagé en permanence.

Il est parfois possible d'améliorer des déversoirs naturels, mais, malheureusement, de tels sites sont caractérisés par de fortes vagues qui rendent incertaine la détermination de la hauteur.

Il est nécessaire, pour chaque jaugeage, de calculer le coefficient de rugosité de la formule d'écoulement choisie.

Mais, dans le cas le plus général, il n'est pas possible d'observer directement les crues, il faut alors reconstituer les débits à partir des délaissés de crues. On est donc amené à utiliser des formules d'écoulement. Le choix de la formule elle-même importe assez peu puisque toutes utilisent un coefficient de rugosité dont la détermination constitue la partie la plus délicate du calcul.

Nous utilisons, en général, la formule de STRICKLER MANNING, d'après laquelle la vitesse moyenne d'écoulement dans une section de contrôle U est égale à :

$$K R^{2/3} I^{1/2}$$

- R : rayon hydraulique en mètres *par*
- I : pente en mètres par mètre

On doit veiller autant que possible à choisir une section rectiligne à largeur constante et à berges assez nettes. S'il y a une plaine d'inondation, on fera le calcul dans le chenal principal et un calcul séparé pour la plaine d'inondation. Ce dernier calcul est d'ailleurs bien délicat et ses résultats sont illusoires. Il est heureux que, dans la plupart des cas, cette dernière partie du débit soit beaucoup plus faible que le débit dans les chenaux principaux.

R sera déterminé grâce à la hauteur maximale obtenue comme il a été indiqué plus haut et grâce au relevé du profil en travers. Ce dernier relevé doit être effectué si possible avant et après la crue, on prendra pour R la valeur moyenne correspondant aux deux profils en travers. Il est d'ailleurs préférable, si on le peut, de choisir un lit stable.

I est la pente des délaissés de crues, si on a pu les relever avec assez de précision ou la pente du fond du lit. Comme il s'agit de lignes irrégulières, il y aura intérêt à calculer la pente moyenne par la méthode des moindres carrés : si x_i et y_i sont respectivement l'abscisse et la cote d'un point du profil avec des origines quelconques, N le nombre de points relevés, la pente est donnée par la formule :

$$I = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

K résulte des mesures régulières sur des cours d'eau de régions désertiques. Nous donnons en annexe une série de résultats obtenus dans les massifs de l'ENNEDI et de l'AIR. Nous avons indiqué chaque fois que c'était possible, la hauteur à l'échelle, le rayon hydraulique, le débit, la vitesse moyenne et la hauteur de K.

De façon générale, pour une section donnée, K est faible pour les faibles hauteurs, croît assez rapidement pour les premiers décimètres (*first foot*) de variation de hauteur, puis croît plus lentement et tend à se stabiliser.

Pour des lits sableux de plusieurs dizaines de mètres (yards) de largeur, à forte pente 1,5 à 5 m par km (8/10 à 26 ft per mile) K peut atteindre 50 (*74*) si le rayon hydraulique atteint ou dépasse 1 mètre (*3.3 ft*), ce qui peut correspondre à des débits compris entre 50 et 500 m³/s (*1,170 and 1,1700 u. u.*).

Si le débit est faible, quelques centaines de litres (*10 u. u.*), le lit étroit, encombré de rochers ou d'arbustes, il peut descendre à 15 (*22*).

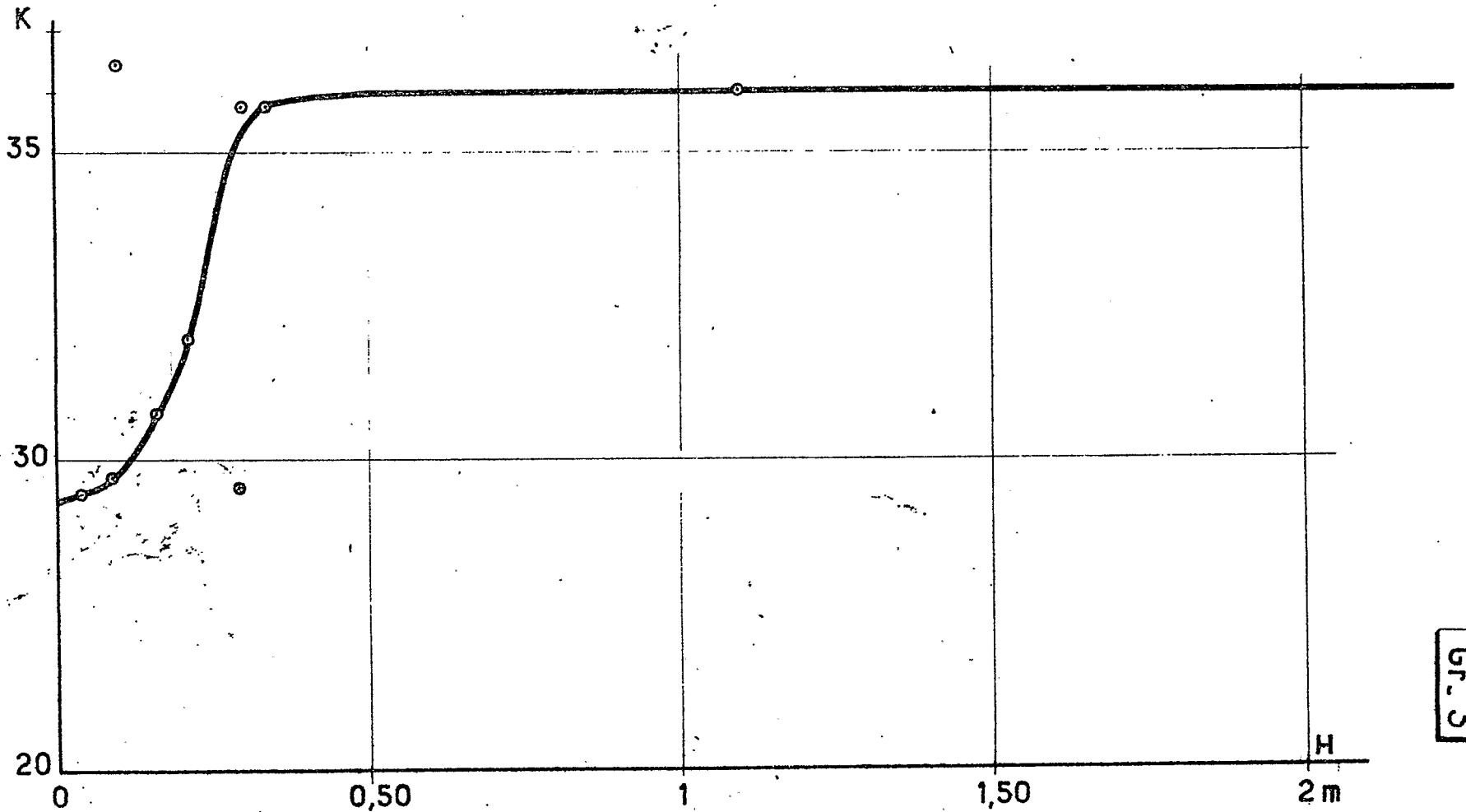
ICH 8406

BACHIKELE

VARIATION DE "K" AVEC LA HAUTEUR A L'ECHELLE

$$K = \frac{u}{R^{2/3} i^{1/2}}$$

ED: ELECTRICITE DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER
LE: Janvier 59
DES: GEOTRANS
VISA:
TUBE N°:
AO



Gr. 3

Y

Pour des lits relativement réguliers de 10 à 100 m de large (33 to 330 ft) avec les mêmes pentes, 1,5 à 5 m par km (1 to 26 ft per mile), pour des rayons hydrauliques de 20 à 50 cm (8 to 20 in.), on trouve généralement des valeurs de K de l'ordre de 30 à 35 ($\frac{44}{10}$ to $\frac{35}{10}$).

K tend à être plus fort si la pente augmente, plus faible bien entendu si le lit est rocheux, et beaucoup plus faible s'il est encombré de rochers et d'arbustes.

Il y aurait le plus grand intérêt à publier et rassembler les valeurs des coefficients K de MANNING obtenus au cours de jaugeages réguliers sous réserve, bien entendu, que le mode de calcul soit le même. En particulier, il est très important, si le lit comprend plusieurs chenaux, de calculer K pour chaque chenal et si la profondeur varie beaucoup dans le profil en travers, de séparer les parties peu profondes des parties profondes.

A l'aide de cette documentation, il serait possible de donner des règles précises pour l'appréciation de la valeur de K à utiliser.

- Résultats obtenus :

Nous avons groupé dans le tableau ci-après les valeurs des débits maximaux observés. En tête de ce tableau figurent les données de quatre bassins versants expérimentaux : il s'agit là de fréquence décennale. Pour les autres résultats, la période de retour doit varier de 4 ans à 15 ans sans qu'il soit guère possible de le préciser.

On voit, d'après ce tableau, que la réputation des crues sahariennes n'est pas usurpée. L'objet de ce rapport n'est pas de commenter ces résultats. Contentons-nous de noter la rapide décroissance des débits spécifiques due à la dégradation hydrographique. Les bassins très peu dégradés comme ceux du KORI TELOUA conservent des débits spécifiques élevés, 437 l/s.km² (0 cu. ft. / sq. mile) après un long parcours mais la comparaison avec l'ENNERRI NOHI à NOHI CHILIO est particulièrement instructive.

| Cours d'eau | Superficie du bassin versant km ² (sq. miles) | Pluviométrie moyenne annuelle mm (inches) | Débit de crue observé m ³ /s (cuft/sec) | Débit spécifique correspondant l/s.km ² (cuft/sq. mile) |
|-----------------|---|--|---|---|
| IN TIZIOUEN 2 | 0,55 : (.21) | 170 : (6.7) | | 27.000 : (370) |
| IN TIZIOUEN I | 1,81 : (.70) | 170 : (6.7) | 32 : (1.130) | 17.500 : (240) |
| KOURIEN DOULIEN | 8 : (3.1) | 100 : (3.9) | 78 : (2.760) | 9.750 : (133) |
| BACHIKELE | 19 : (7.3) | 150 : (5.9) | 150 : (5.300) | 8.000 : (110) |
| AOUE | 10 : (3.9) | 150 : (5.9) | 40 : (1.440) | 4.000 : (55) |
| ANGRETAHA | 18 : (7.0) | 100 : (3.9) | 46 : (1.620) | 2.600 : (35.5) |
| AFARAK | 100 : (38.6) | 170 : (6.7) | 500 : (17.700) | 5.000 : (68) |
| AGANDAOUINE | 150 : (58) | 170 : (6.7) | | 2.700 : (36.8) |
| MAYA | 160 : (62) | 120 : (4.7) | 280 : (9.900) | 1.750 : (24) |
| EL MEKI | 165 : (64) | 120 : (4.7) | | 940 : (12.8) |
| BARABA | 200 : (77) | 100 : (3.9) | 150 : (5.300) | 750 : (10.2) |
| TOURBA | 280 : (108) | 100 : (3.9) | 260 : (9.200) | 930 : (12.7) |
| ELI | 300 : (116) | 100 : (3.9) | 30 : (1.060) | 100 : (1.4) |
| ERDI | 350 : (135) | 100 : (3.9) | 130 : (4.600) | 370 : (5.0) |
| BAABA à BAABA | 420 : (162) | 100 : (3.9) | 450 : (15.900) | 1.070 : (14.6) |
| BAABA à DAIBA | 470 : (182) | 100 : (3.9) | 140 : (4.950) | 300 : (4.1) |
| IOHI à DAIBA | 460 : (178) | 100 : (3.9) | 110 : (3.900) | 240 : (3.3) |
| HOUKA | 550 : (212) | 100 : (3.9) | 350 : (12.400) | 635 : (8.7) |
| ROUE | 580 : (224) | 120 : (4.7) | 330 : (11.700) | 570 : (7.8) |
| DOU | 1000 : (386) | 100 : (3.9) | 46 : (1.620) | 46 : (.6) |
| ELOUA | 1170 : (452) | 150 : (5.9) | | 437 : (6.0) |
| IOHI CHILIO | 1450 : (560) | 100 : (3.9) | 51 : (1.800) | 35 : (.5) |
| INI | 1450 : (560) | 120 : (4.7) | 160 : (5.650) | 110 : (1.5) |
| AOUACH | 7700 : (2.980) | 150 : (5.9) | 3,06 : (107) | 0,4 : (.004) |

A N N E X E

QUELQUES VALEURS MESUREES du COEFFICIENT K de MANNING

I - MASSIF de l'ENNEDI

- a) Enneri OHOUKA

- Pente $I = 1,42 \times 10^{-3}$ †
- Largeur = 80 m (262 ft)
- Lit sableux

| : | H | in. | : | Q | m ³ /s | : | U | ft./sec | : | K | : |
|---|------|----------|---|-----|-------------------|---|------|---------|---|----|--------|
| : | 0,12 | (4.7) | : | 0,4 | (14) | : | 0,31 | (1) | : | 40 | (59) |
| : | 0,22 | (8.7) | : | 2 | (71) | : | 0,42 | (1.4) | : | 40 | (59) |
| : | 0,28 | (11.0) | : | 3,5 | (124) | : | 0,47 | (1.5) | : | 37 | (55) |

H : hauteur à l'échelle en mètres (inches)

Q : débit en m³/s (m³/sec)

U : vitesse moyenne en m/s (ft./sec)

K : coefficient de MANNING $\frac{U}{R^{2/3} I^{1/2}}$

- b) KOURIEN-DOULIEN

- Pente $I = 9 \times 10^{-3}$ { }
- Largeur = 9 à 11 m (30 to 36 feet)
- Lit rocheux assez régulier

| H | in. | Q | m ³ /sec | U | ft ³ /sec | K |
|-------|---------|-----|---------------------|------|----------------------|-----------|
| 0,075 | (3.0) | 0,6 | (4.2) | 0,75 | (2.5) | 33 (49) |
| 0,10 | (3.9) | 1,1 | (39.0) | 1,23 | (4.0) | 38 (57) |
| 0,15 | (5.9) | 2,8 | (99) | 2,3 | (7.5) | 36 (53) |

- c) Enneri AOUE

- Pente $I = 15 \times 10^{-3}$ { }
- Largeur = une dizaine de mètres (about 35 feet)
- Lit très encombré : rochers, arbustes
- K = 13 (19)

- d) Ouadi BACHIKELE

- Pente $I = 4,5 \times 10^{-3}$ { }
- Largeur pour $H < 0,15$ = 8 m. ($H < 5.9$: 26 feet)
 " $H > 0,15$ = 14 à 20 m ($H > 5.9$: 46 to 66 feet)
- Lit sableux mais stable

| H | in. | R | in. | Q | m. sec. | U | ft. sec. | K |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|------|----------|---------------|
| 0,04 | (1.6) | 0,127 | (5.0) | 0,225 | (8.0) | 0,50 | (1.6) | 29,5 (43.8) |
| 0,09 | (3.5) | 0,136 | (5.4) | 0,433 | (15.3) | 0,53 | (1.7) | 29,8 (44.3) |
| 0,10 | (3.9) | 0,128 | (5.0) | 0,48 | (17.0) | 0,62 | (2.0) | 36,5 (54.2) |
| 0,16 | (6.3) | 0,123 | (4.9) | 0,82 | (29.0) | 0,51 | (1.7) | 30,8 (45.7) |
| 0,215 | (8.5) | 0,183 | (7.2) | 1,77 | (62.5) | 0,69 | (2.3) | 32,9 (48.8) |
| 0,29 | (11.5) | 0,30 | (11.8) | 3,63 | (128) | 0,89 | (2.9) | 29,6 (43.9) |
| 0,30 | (11.8) | 0,31 | (12.2) | 4,65 | (164) | 1,10 | (3.6) | 35,8 (53.1) |
| 0,33 | (13.0) | 0,34 | (13.4) | 5,75 | (203) | 1,17 | (3.8) | 35,8 (53.1) |
| 1,10 | (43.3) | 0,94 | (37.0) | 50,5 | (1785) | 2,32 | (7.6) | 36 (53.4) |

- r : rayon hydraulique

II - MASSIF de l'AIR

- a) Kori TELOUA

- Pente I = $2,6 \times 10^{-3}$ à 3×10^{-3} en forte crue

- Largeur = 60 à 90 m (200 to 300 ft)

- Lit sableux

| H | in. | R | in. | Q | cu. sec. | U | ft./sec. | K |
|------|----------|------|----------|------|------------|------|----------|-----------|
| 0,42 | (16.5) | 0,22 | (8.7) | 3,9 | (138) | 0,29 | (1.0) | 15 (22) |
| 0,53 | (20.9) | 0,26 | (10.2) | 13,6 | (480) | 0,65 | (2.1) | 31 (46) |
| 0,60 | (23.6) | 0,31 | (12.2) | 18,5 | (655) | 0,68 | (2.2) | 29 (43) |
| 0,73 | (28.8) | 0,47 | (18.5) | 40 | (1.415) | 1,00 | (3.3) | 32 (48) |
| 0,95 | (37.4) | 0,66 | (26.0) | 66 | (2.330) | 1,14 | (3.7) | 29 (43) |
| 1,92 | (75.6) | 1,22 | (48.1) | 300 | (10.600) | 2,73 | (9.0) | 44 (65) |

Les irrégularités des variations du K sont dues en grande partie aux déformations du lit qui n'est pas très stable.

- b) Kori EL MEKI

- Pente I = $2,5 \times 10^{-3}$ †
- Largeur = 30 m (100 ft)
- Lit sableux

| H | in. | R | in. | Q | cu. sec. | U | ft./sec. | K |
|------|----------|------|----------|-----|-----------|------|----------|-----------|
| 0,23 | (9.1) | 0,32 | (12.6) | 6,5 | (230) | 0,72 | (2.4) | 31 (46) |
| 0,34 | (13.4) | 0,42 | (16.5) | 10 | (354) | 0,82 | (2.7) | 29 (43) |
| 0,56 | (22.0) | 0,61 | (24.0) | 22 | (780) | 1,17 | (3.8) | 32 (48) |
| 0,70 | (27.6) | 0,74 | (29.2) | 46 | (1.625) | 1,98 | (6.5) | 48 (71) |
| 0,85 | (33.5) | 0,86 | (33.9) | 73 | (2.580) | 2,60 | (8.5) | 57 (85) |