

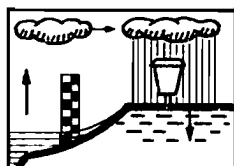
**ÉLECTRICITÉ DE FRANCE**

DIRECTION DES AFFAIRES EXTÉRIEURES  
ET DE LA COOPÉRATION  
-DAFECO-

**CRUE D'ÉTUDE DU DÉVERSOIR  
DU BARRAGE DU ZIZ (MAROC)**



**Rapport sur la valeur adoptée  
pour la crue d'étude du réservoir**



**OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER**

**BUREAU CENTRAL HYDROLOGIQUE - PARIS**



ELECTRICITE de FRANCE  
(DAFECO)

---

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
et TECHNIQUE OUTRE-MER

---

CRUE d'ETUDE du DEVERSOIR du BARRAGE du ZIZ (Maroc)

---

Rapport sur la valeur adoptée pour la crue d'étude du déversoir

---

par  
MM. J.A.RODIER et M.ROCHE

Octobre 1971

Dès la fin de 1966, nous avons été amenés à considérer le rapport du bureau d'études TAMS. Compte tenu des données contenues dans ce rapport, des données disponibles dans nos bureaux de PARIS sur l'hydrologie du MAROC, de l'ALGERIE et de la TUNISIE, ainsi que de nos connaissances sur la genèse des crues étudiées sur le terrain par nos hydrologues sur le pourtour du SAHARA, nous avons suggéré que la crue la plus forte observée, dont le débit avait été estimé à 3 200 m<sup>3</sup>/s, pouvait bien ne présenter qu'une fréquence cinquantenaire et qu'il était prudent d'admettre une crue d'étude nettement plus forte que celle qui avait été admise, soit 7 000 à 8 000 m<sup>3</sup>/s. En outre, dans le calcul de la crue par la méthode de la précipitation maximale probable, la réduction de la hauteur de précipitation ponctuelle à la hauteur moyenne sur le bassin, nous paraissait trop importante.

En Juin 1971, le Chef de la Division des Ressources en Eau nous consultait pour cette étude de crue. Depuis 1966, nous avons eu la chance de procéder sur le terrain à des mesures systématiques de débits et de précipitations pour des crues exceptionnellement fortes (de 2 000 à 30 000 m<sup>3</sup>/s) en TUNISIE, à MADAGASCAR, en NOUVELLE CALEDONIE et en d'autres parties du monde. C'est ainsi qu'on a pu mesurer au moulinet des vitesses atteignant jusqu'à 7,05 m/s à MADAGASCAR, 6,52 m/s en TUNISIE. Des mesures aux flotteurs ont mis en évidence des vitesses ponctuelles de 11 m/s sur l'Oued ZEROUUD.

Nous en avons tiré des renseignements particulièrement précieux : pour les conditions d'écoulement dans le lit des cours d'eau lors de crues de cette importance, pour les caractéristiques des averses et pour les conditions d'infiltration. Cette expérience des très fortes crues étudiées avec des moyens beaucoup plus importants que dans le passé, nous a amenés à une opinion nettement plus pessimiste, de sorte que dans notre lettre du 16 Juin 1971, nous avons proposé de considérer une crue d'étude dont le débit de pointe instantané serait de l'ordre de 10 000 m<sup>3</sup>/s.

Par lettre du 20 Septembre 1971, Monsieur le Directeur de l'Hydraulique nous a demandé de nous rendre à RABAT pour assister à une réunion avec les représentants du bureau d'études TAMS et M. LAZAREVIC, sur ce problème précis. Estimant qu'une opinion, fondée uniquement sur l'étude de documents et nos connaissances dans d'autres régions limitrophes du SAHARA, serait insuffisante sans un examen du terrain, nous avons demandé de nous rendre sur le bassin du ZIZ à cette occasion.

M. M. ROCHE est arrivé à RABAT le 4 Octobre 1971 et a procédé à un dernier examen des documents. M. J.A. RODIER est arrivé dans la soirée du 5 Octobre 1971.

Après une réunion le 6 Octobre au matin, MM. J. CRUETTE, MARION, LAZAREVIC, M. ROCHE et J.A. RODIER sont partis pour KSAR ES SOUK où ils sont arrivés dans la nuit. Ils en sont repartis le 7 Octobre vers 8 heures et jusqu'à 14 heures ils ont parcouru le bassin en examinant plus particulièrement :

- d'une part, les conditions d'écoulement dans le lit du ZIZ entre le Pont de KSAR ES SOUK et AIT KHOJMANE et quelques marques de crues relevées par M. MARION ;
- d'autre part, les conditions générales d'infiltration et le réseau hydrographique drainant le bassin afin d'arriver à une connaissance générale des conditions du ruissellement.

La parfaite connaissance du terrain de M. MARION et les connaissances géologiques de MM. MARION et CRUETTE ont grandement facilité notre tâche, nous les en remercions. C'est grâce à leur participation que nous avons pu tirer le meilleur parti du temps très court passé sur le bassin du ZIZ.

Le 8 Octobre, les experts de la TAMS, M. LAZAREVIC et les experts de l'ORSTOM et d'ELECTRICITE de FRANCE ont pu confronter leurs points de vue et arriver à un accord sur un certain nombre de points.

Le 9 Octobre, au cours d'une réunion présidée par Monsieur le Directeur de l'Hydraulique, il a été demandé aux experts de présenter par écrit leurs conclusions.

Le présent rapport expose les conclusions de MM. ROCHE et J.A.RODIER.

#### I - RAPPEL de QUELQUES ELEMENTS du REGIME des CRUES du ZIZ -

Nous ne rappellerons ici que quelques éléments essentiels.

Le bassin de l'Oued ZIZ est situé sur le versant saharien du HAUT ATLAS. La superficie du bassin au barrage de HASSAN ADDAKHIL est de 4 385 km<sup>2</sup>. A l'entrée des gorges, vers FOUM ZABEL, elle est de 3 974 km<sup>2</sup>. La forme du bassin est irrégulière. Une partie très ramassée avec réseau hydrographique en éventail présente une superficie voisine de 3 000 km<sup>2</sup>. A l'ouest, le bassin supérieur du ZIZ est assez éloigné du centre du bassin, on peut l'arrêter aux Gorges de FOUM TAKKAT où la superficie est de 1 400 km<sup>2</sup>. Nous tendons à porter la limite un peu plus à l'amont, mais ceci est secondaire.

L'Oued ZIZ présente un régime à tendances sahariennes avec écoulement permanent plus d'une année sur deux, crues d'automne et de printemps, les crues d'automne étant en général les plus fortes. Les précipitations neigeuses, dont l'influence n'est pas négligeable sur le régime, sont sans action notable sur les crues exceptionnelles. Les débits les plus faibles sont observés généralement en Juillet - Août - Septembre (comme dans toute l'AFRIQUE du NORD), on peut également les observer au milieu de l'hiver.

L'irrégularité des débits est forte : l'irrégularité des débits moyens annuels, évaluée par la rapport  $K_3$  des déciles humide et sec, peut être représentée par  $K_3 \approx 8$ , l'irrégularité des débits moyens mensuels est beaucoup plus forte puisqu'ils peuvent s'annuler l'un quelconque des 9 mois de avril à décembre et que le débit mensuel le plus fort observé doit être très voisin de 50 m<sup>3</sup>/s si on corrige l'étalonnage dans le sens que nous indiquerons plus loin, alors que le débit moyen annuel pour 1948 - 1965 est de 5,79 m<sup>3</sup>/s (rapport TAMS).

Les crues sont très violentes et de courte durée.

## II - PLUS FORTES CRUES OBSERVEES -

Nous attachons la plus grande importance à l'estimation de ces crues car, d'une part, elles fournissent des données précieuses sur les conditions de ruissellement sur le bassin et, d'autre part, à défaut de base statistique qu'on ne peut pas utiliser pour un régime de ce genre, elles peuvent permettre, dans certains cas, d'arriver à la notion d'une limite inférieure de la crue d'étude du barrage. A priori, avec 23 ans d'observations seulement et un régime très irrégulier, on doit prévoir un débit de crue très nettement supérieur au plus fort débit observé.

Depuis 1948, la plus forte crue s'est produite les 5 et 6 Novembre 1965. C'est la plus forte sans ambiguïté et il est à peu près certain que sa période de retour est nettement inférieure à la durée de la période d'observations. Il n'est pas invraisemblable que sa fréquence soit centenaire ou même un peu plus faible. Il serait de la dernière imprudence de dire qu'elle est millénaire, à supposer que cette fréquence ait un sens dans des régimes de ce genre, car si on pouvait procéder à une étude statistique valable (avec peut-être 3 ou 4 siècles d'observations), on trouverait une distribution hypergaussienne asymétrique présentant par conséquent des différences importantes entre crue décennale et centennale par exemple.

Les chiffres admis jusqu'en Septembre 1971, pour le maximum de 1965, était de 3 200 m<sup>3</sup>/s. L'estimation avait été faite par des formules d'écoulement avec certaines hypothèses sur le coefficient de rugosité. Il n'est plus possible de reprendre ce calcul pour AIT ATHMAN aval qui est maintenant noyé par la réserve du barrage, mais on peut encore effectuer le calcul soit au pont de KSAR ES SOUK, soit à AIT ATHMAN amont, soit à FOUM ZABEL.

Nous avons visité ces trois sites, tous trois donnent pour la crue de Novembre 1965 des indications en bon accord : sections mouillées croissant de 500 m<sup>2</sup> à FOUM ZABEL à plus de 800 m<sup>2</sup> à KSAR ES SOUK (compte tenu d'un déversement important sur la rive gauche), et des pentes croissant vers l'amont compensant la réduction de sections mouillées. C'est à AIT ATHMAN amont que les conditions hydrauliques sont les plus régulières, nous examinerons donc plus spécialement cette station.

On adoptera comme formule d'écoulement celle de STRICKLER-MANNING :

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

U est la vitesse moyenne dans la section en m/s,

R le rayon hydraulique en m,

I la pente de la ligne d'eau.

Comme dans toute formule d'écoulement, la difficulté consiste à évaluer le coefficient de rugosité K. Pour des pentes de plus de 2/1000, avec largeur de 70 à 80 m et hauteur d'eau moyenne de plus de 5 m, l'expérience de mesures régulières effectuées par ORSTOM et EDF en AFRIQUE et à MADAGASCAR nous montre que le coefficient K de STRICKLER peut souvent être voisin de 35 ; de toute façon, il serait imprudent d'admettre moins de 33 dans de telles conditions, ceci à condition que le fond soit relativement régulier (pas de blocs de rochers de plus de 0,1 - 0,2 m<sup>3</sup> au milieu du lit) Or, de FOUM ZABEL à KSAR ES SOUK, nous avons pu vérifier que le lit du ZIZ répondait à ces conditions (avec peut-être une pente nettement plus faible à KSAR ES SOUK) ; les quelques gros blocs qu'on observe contre la rive gauche à ATT ATHMAN amont correspondent à un éboulement de la falaise et n'occupent qu'une partie insignifiante de la largeur de la section. Ceux qu'on peut voir sur la terrasse de la rive droite de FOUM ZABEL n'interviennent pas dans le calcul intéressant le lit apparent. Ils posent un autre problème sur lequel nous reviendrons plus loin.

Des traces de la crue avaient été relevées à ATT ATHMAN amont par M. LAZAREVIC, elles ont été vérifiées par M. MARION qui donne approximativement les mêmes cotes et a établi un nouveau profil en travers. Les deux cotes maximales diffèrent de 47 cm entre la rive gauche et la rive droite, ce qui n'a rien d'étonnant pour qui a déjà vu des crues de ce genre. Nous prendrons la cote moyenne correspondant à H = 8,47 m sur l'échelle actuelle ; la surface mouillée est de 735 m<sup>2</sup> si on admet qu'il n'y a pas eu surcreusement du lit vers le maximum de la crue, le périmètre mouillé est de 115 m :

$$R = \frac{S}{P} = 6,4 \text{ m}$$

La pente est donnée par M. LAZAREVIC : 3,21 ‰.

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

$$\text{Pour } K = 33 \quad U = 33 \times 0,00321^{1/2} \times 6,4^{2/3} = 6,4 \text{ m/s}$$

$$\text{Pour } K = 35 \quad U = 35 \times 0,00321^{1/2} \times 6,4^{2/3} = 6,8 \text{ m/s.}$$

Dans le premier cas, le débit Q est égal à :

$$Q = 735 \times 6,4 = \underline{4\,700 \text{ m}^3/\text{s.}}$$

Dans le second :

$$Q = 735 \times 6,8 = \underline{5\,000 \text{ m}^3/\text{s.}}$$

Si, au lieu de prendre une hauteur de 8,47 m, on adopte la cote de la rive droite (la plus basse), la section est de 712 m<sup>2</sup>

$$Q = 712 \times 6,3 = \underline{4\,400 \text{ m}^3/\text{s}} \text{ pour } K = 33$$

$$\underline{4\,750 \text{ m}^3/\text{s}} \text{ pour } K = 35$$

Il y aurait intérêt à refaire le calcul pour le Pont de KSAR ES SOUK, après mesure de la pente et détermination du profil en travers, la cote de la crue de 1965 donnée par M. LAZAREVIC correspond à la base du tablier du pont amont. Une grossière estimation donne une surface mouillée voisine de  $800 \text{ m}^2$ , avec le fond du lit tel qu'il se présente actuellement.

Les vitesses moyennes de  $6,40 \text{ m/s}$  -  $6,80 \text{ m/s}$  correspondent absolument aux vitesses que nous avons mesurées dans des crues du même genre. Nous en trouvons une confirmation dans les mesures de vitesses faites le 22 Avril 1971 à FOUM ZABEL par M. MARION : à la cote  $2,60 \text{ m}$  à cette station, il a mesuré des vitesses supérieures à  $4 \text{ m/s}$  ; pour la cote maximale atteinte par cette crue ( $2,85 \text{ m}$ ), la vitesse moyenne obtenue par extrapolation était de  $4,41 \text{ m/s}$ . La cote de la crue de 1965, déterminée indépendamment par un témoignage et par le relevé des traces observées, était de  $6,30 \text{ m}$ . Il serait normal, pour cette crue, de trouver une vitesse moyenne de l'ordre de  $7,50$  à  $8 \text{ m/s}$  ; ceci serait en accord avec les vitesses de  $6,40$  -  $6,80 \text{ m/s}$  trouvées à AIT ATHMAN amont où la pente n'est que de  $3,21/1000$ , alors qu'à FOUM ZABEL, elle est de  $4,95/1000$ .

Les calculs du coefficient de STRICKLER dans le lit apparent de FOUM ZABEL, tels qu'ils ont été effectués par M. MARION, ont conduit à  $K = 32,5$  pour la cote  $2,57 \text{ m}$  et  $K = 37$  pour la cote  $2,85 \text{ m}$ . Ce qui confirme le choix de nos valeurs  $33$  et  $35$ .

Un dernier point reste à vérifier : il existe à l'amont de FOUM ZABEL, en rive droite, une trace de ligne d'eau très nette dont la pente paraît assez faible ; elle est très visible de la route à la sortie du tunnel. Il semble également qu'à la station, les blocs de la rive droite aient été roulés et proviennent de l'amont ; on observe au même endroit, sur la terrasse, des traces correspondant à une cote supérieure de  $2$  à  $3 \text{ m}$  à celle de la crue de 1965. Y a-t-il eu, il y a moins de  $300$  ans, une crue beaucoup plus forte que celle de 1965 ? S'est-il produit, à l'amont de FOUM ZABEL, un barrage naturel qui a lâché ? Il faudrait examiner de très près cette hypothétique trace de la ligne d'eau, relever son profil en long, étudier la nature géologique des gros blocs pour voir s'ils proviennent ou non de d'éboulement de la falaise surplombant FOUM ZABEL, procéder à des études granulométriques des alluvions des terrasses au-dessus et au-dessous de la ligne d'eau éventuelle. Mais à notre avis, on doit tout faire pour chercher à quoi correspond cette singularité. On doit aussi chercher au pont de KSAR ES SOUK, à AIT ATHMAN amont, à FOUM ZABEL, où se trouve le rocher dans le fond du lit. Ceci a pour but de rechercher si, au moment du maximum des grandes crues, le lit peut se creuser, ce qui donnerait lieu à des majorations très nettes des débits observés .

En conclusion, il nous semble difficile d'admettre pour la crue de 1965 un débit de crue inférieur à  $4\,500 \text{ m}^3/\text{s}$  au lieu de  $3\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Peut-être même serait-il prudent d'aller jusqu'à  $5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ . L'adoption de tels chiffres conduit à réduire les pertes par infiltration admises dans les études précédentes ; elle conduit également à prévoir pour la crue du projet un chiffre nettement supérieur à  $5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ , nous reviendrons plus loin sur ce point.

### III - HYPOTHESES CONCERNANT L'AVERSE MAXIMALE PROBABLE -

Nous n'avons aucune objection à présenter sur la méthodologie utilisée. Mise au point aux Etats Unis par des hydrologues qui comptent parmi les meilleurs du monde, elle seule peut s'adapter au cas présent. Mais son application exige un certain nombre de choix difficiles en relation avec les conditions du bassin et il n'est pas anormal que plusieurs experts soient d'opinions différentes sur ces différents choix.

Il y a d'abord celui de la valeur de la précipitation maximale probable. En l'absence de données aérologiques suffisantes, l'application de la règle pratique établie par M. HERSHFELD est bien la seule qui qu'on puisse envisager. Cette règle est d'ailleurs mise en oeuvre par TAMS avec prudence et nous sommes parfaitement d'accord sur la valeur de 380 mm en 24 heures à RICH.

Par contre, nous considérons comme nettement sous-estimée la hauteur de précipitation moyenne sur le bassin évaluée à 119 mm en 24 heures.

Nous ne discuterons pas ici le type d'averse dans lequel devra être classée la P.M.P. Nous indiquerons simplement trois faits d'observations prouvant que les très fortes averses peuvent être autre chose que des orages localisés.

1°) L'averse des 21 et 22 Avril 1971 a couvert 95 % environ du bassin du ZIZ à TAOUZ, elle a été observée à 19 pluviomètres sur le bassin arrêté à TAOUZ (ou en bordure) et à 7 pluviomètres sur le bassin arrêté à KSAR ES SOUK. Elle met en évidence une assez belle régularité avec un réseau d'isohyètes en "amande" bien caractéristique de certaines fortes précipitations méditerranéennes.

2°) Pour la même crue, l'enregistrement du pluviographe de FOUM ZABEL, avec ses deux pointes séparées par des précipitations moins intenses, le tout durant 18 heures, est bien caractéristique d'une averse couvrant une vaste superficie, telle qu'on en voit au cours des précipitations cycloniques.

3°) Lors des crues de 1965, les précipitations ont affecté à la fois les bassins du ZIZ, du GUIR et du GHERIS, donc une très vaste étendue.

Cependant, la configuration particulière du haut-bassin du ZIZ nous conduit, comme TAMS, à admettre que, lors d'une averse couvrant la majeure partie du bassin, la région à l'amont de AMOUCHEUR est particulièrement défavorisée. Ceci ne veut pas dire que, en cas d'orages isolés, cette partie amont ne connaisse pas de très fortes crues, comme il y en a des traces très nettes à FOUM TAKKAT. Ces considérations nous conduisent à admettre que si la hauteur de précipitation maximale ponctuelle est de 380 mm, la hauteur moyenne ne saurait être inférieure à 150 mm en 24 heures sur la totalité du bassin en amont du barrage (au lieu de 119 mm).



A titre indicatif, nous avons repris le réseau d'isohyètes de l'averse du 22 Avril qui a eu l'avantage d'exister et nous l'avons transformé en réseau pour précipitation maximale de 380 mm. Nous avons admis que la très courte fraction de l'isohyète 70 mm, qui coupe en coin du bassin à l'Est de FOUM ZABEL, correspondait non pas à 70 mm mais à 375 mm en 24 heures. Nous avons admis que OUTERBATE, à l'extrémité Ouest du bassin, ne recevait que des traces de pluie. Les anciennes isohyètes distantes de 10 mm correspondent maintenant à des différences de précipitation de 50 mm, suivant la correspondance ci-dessous :

70 mm	-	375 mm
60 mm	-	320 mm
50 mm	-	270 mm
40 mm	-	215 mm
30 mm	-	160 mm
20 mm	-	105 mm
10 mm	-	55 mm

La hauteur de précipitation moyenne est, dans ces conditions, de 180 mm.

Notre hypothèse de 150 mm n'a donc rien de particulièrement pessimiste.

Pour la répartition des précipitations dans le temps, nous admettons que le choix d'un diagramme à une seule pointe, comme l'a fait TAMS, est trop pessimiste. Il vaudrait mieux admettre deux pointes, comme cela a été le cas le 22 Avril 1971 : une première préparant le terrain et une seconde provoquant la crue, mais avec des pertes par infiltration faibles ; ceci explique pourquoi, avec un volume de ruissellement beaucoup plus important que TAMS, nous aboutissons à un débit maximal qui n'est que le double.

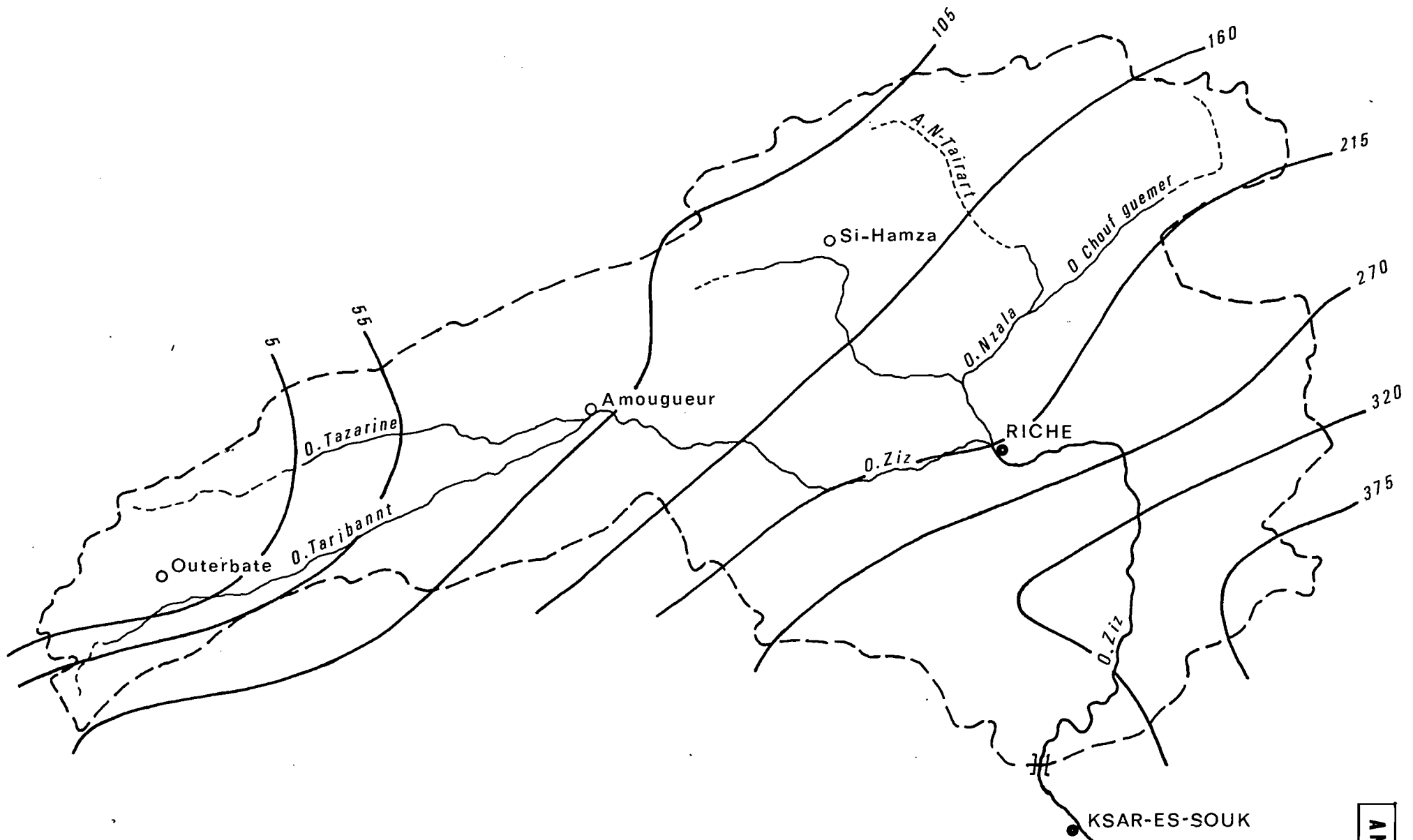
#### IV - PERTES par INFILTRATION - VOLUME de RUISSELLEMENT -

Pour éviter tout malentendu, nous baserons notre raisonnement sur la capacité d'infiltration et les pertes par infiltration, bien que moyennant certaines précautions, la notion de coefficient de ruissellement soit plus facile à utiliser.

Malgré une géologie complexe, il est assez facile d'avoir une idée des possibilités de ruissellement du bassin. L'examen de la carte géologique nous avait donné à penser que le bassin pouvait être le siège de phénomènes karstiques et nous avons recherché également des indices de ces phénomènes.

On peut distinguer cinq types de terrains :

1°) Les massifs, arêtes et falaises, ils mettent en évidence des alternances de bancs calcaires et de marnes. Le banc calcaire supérieur, complètement démantelé, donne certainement lieu à une certaine infiltration, mais celle-ci est arrêtée en général par le banc marneux situé en dessous



Précipitations hypothétiques sur le bassin du Ziz

- \_ maximum ponctuel: 380mm en 24h
- \_ hauteur moyenne de précipitations: 180 mm

(répartition inspirée de l'averse des 21 et 22 avril 1971)

et, les pentes étant très fortes et les massifs très étroits, la rétention qui en résulte concerne un volume faible qui n'est que peu retardé. Ces falaises présentent d'ailleurs des traces de cascades que M. MARION a vu couler lors de la crue d'Avril 1971 ; à leur pied, le réseau hydrographique est très serré.

2°) Les synclinaux perchés : tous ceux que nous avons vus présentent un bon système de drainage et, de plus, leur étendue est faible. Nous n'avons pas vu le bassin en amont de FOUM TAKKAT où existent des sources importantes, mais cette partie du bassin n'intervient que très peu dans le calcul de la crue d'après nos hypothèses et celles de TAMS. Partout ailleurs les sources sont peu nombreuses et de faible débit. Nous pensons que, s'il y a des phénomènes karstiques, ils n'intéressent que de faibles surfaces et n'ont pas de rôle significatif dans la genèse du ruissellement, tout au moins à l'aval d'AMOUGUEUR.

3°) Les zones de piedmont : elles couvrent de très vastes superficies et sont constituées par les produits de l'érosion des falaises : pierres calcaires enrobées dans la marne ou l'argile. Le tout est assez peu perméable comme en témoigne la densité du réseau hydrographique.

4°) Les terrasses quaternaires, bien visibles entre RICH et FOUM TAKKAT. Ce sont à peu près des regs recouverts d'un manteau de cailloutis très mince reposant sur des argiles. Nous les connaissons bien, les ayant étudiés au NIGER dans la région d'AGADES, au TCHAD dans la région d'ABECHER. Ils absorbent quelques millimètres puis ruissellent à fond avec une infiltration insignifiante de l'ordre de 2 mm/heures. Le réseau hydrographique entre FOUM TAKKAT et RICH est extrêmement dense.

5°) Les zones de cultures en bordure de l'oued : elles doivent être assez perméables et absorber une partie du ruissellement du reg ou des apports de l'oued, mais leur extension est très faible.

L'examen des bras principaux du ZIZ met en évidence des lits d'oueds correspondant à des crues assez fréquentes de 1 000 m<sup>3</sup>/s ou plus. Leur aspect et celui des sous-affluents donnent à penser qu'aucune partie du bassin n'échappe à un ruissellement important. Le lit de l'oued principal lui-même ne présente aucun signe de dégradation hydrographique, ce qui est parfaitement en rapport avec la brièveté du temps de base (duration-time) de l'hydrogramme.

Pris dans son ensemble, le bassin présente des conditions favorables au ruissellement, nettement meilleures par exemple que celles de l'oued ZEROUD (9 000 km<sup>2</sup>), dont les crues exceptionnelles ont fait l'objet d'études approfondies basées sur un grand nombre de mesures.

Pour ces raisons nous estimons que, pour l'ensemble du bassin de 4 385 km<sup>2</sup>, la perte en 24 heures, pour une averse de 150 mm, serait de l'ordre de 50 mm, peut-être 55 mm, ce qui entraîne un volume de ruissellement de l'ordre de 400 000 000 m<sup>3</sup> au lieu de 157 000 000.

Notons que si nous reprenons l'hydrogramme de la crue de Novembre 1965, avec un maximum de 4 500 m<sup>3</sup>/s au lieu de 3 200, il en résulte une amplification des ordonnées correspondant à la modification de

la courbe de tarage. Ceci conduit à un volume de ruissellement complémentaire de près de 25 000 000 m<sup>3</sup>, le ruissellement total passe alors à 118 000 000 m<sup>3</sup>, soit 27 mm, les pertes sont de 72 - 27 mm = 45 mm, ce qui n'est pas incompatible avec une limite supérieure de pertes voisine de 50 mm.

Il est difficile de procéder à une discussion plus serrée de cette averse étant donné qu'elle n'a été observée qu'à 3 pluviomètres dans le bassin. Mais il est bien entendu que ceci ne concerne qu'une période de 24 heures ; si l'averse dure plus longtemps, les pertes augmentent au-delà de 50 mm.

Comment peut-on répartir cette perte ?

Notons, d'après le diagramme "précipitation-temps", que des averses de 10 mm (moyenne sur le bassin) ruissellent. Ceci nous autorise à admettre une perte initiale de 10 à 15 mm, puis de répartir le reste au gré des épisodes pluvieux.

L'ORSTOM a étudié un certain nombre de bassins représentatifs subdésertiques en MAURITANIE, au NIGER et au TCHAD, sur des sols analogues à ceux du ZIZ. Le bassin de TARAÏMAN montre bien les conditions de ruissellement sur le reg. On trouvera, en annexe, deux diagrammes relatifs à une averse moyenne de 79,9 mm d'une durée de 6 heures. Les pertes sont au total de 34,3 mm. Ce bassin ruisselle dès que la hauteur de précipitation dépasse quelques millimètres.

Près d'AGADES, un petit bassin montagneux, dont les caractéristiques sont assez voisines de celles des zones de piedmont du ZIZ, a montré également des phénomènes de ruissellement importants dès que les précipitations dépassaient quelques millimètres (voir tableaux en annexe).

Si l'on met à part les bassins d'arènes granitiques très perméables et les bassins très plats, on ne trouve sur les bassins que nous avons observés, aucun élément permettant d'affirmer que les infiltrations limites dépassent 60 - 65 mm/24 heures.

On peut être tenté d'examiner quelles sont les pertes pour des averses atteignant au moins 300 mm, comme ce serait le cas dans la crue du projet pour environ 10 % du bassin. Les hydrologues de l'ORSTOM ont observé plusieurs fois en NOUVELLE CALEDONIE des précipitations de cet ordre de grandeur sur les bassins représentatifs de la DUMBEA, assez près de NOUMEA. Il s'agit de bassins de montagne, pas très perméables, ayant des pentes analogues à celles du bassin du ZIZ.

Pour le cyclone HENRIETTE, qui a duré du 1<sup>er</sup> au 4 Avril 1964, on a trouvé, sur le bassin de la DUMBEA-Est, que pour une hauteur totale de précipitations en 4 jours de 465 mm, les pertes étaient de 141 mm, soit en moyenne 35 mm/jour, dont environ 50 mm le premier jour pour près de 21 heures de précipitations continues, apportant 150 à 160 mm.

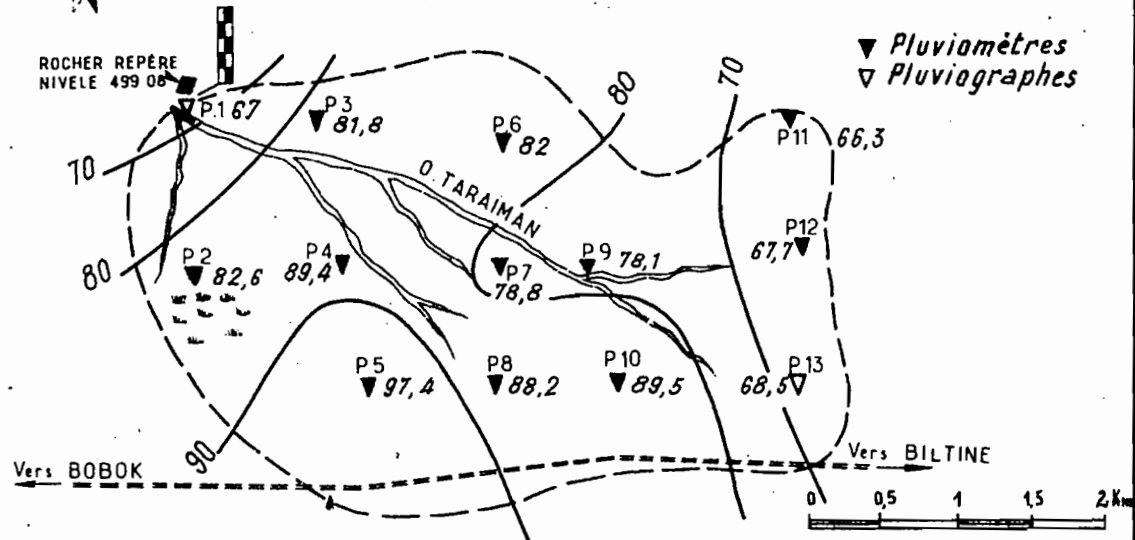
Tout ceci nous conduit à maintenir nos propositions pour une valeur des pertes voisines de 50 mm pour les moyennes en 24 heures sur le bassin de 4 385 km<sup>2</sup>.

La répartition sur le bassin des précipitations, pour la crue du projet, pourrait correspondre à une averse du même genre que celle qui a fait l'objet de l'Annexe n° 1, mais avec une zone de très fortes

# BASSIN EXPÉRIMENTAL DU TARAÏMAN

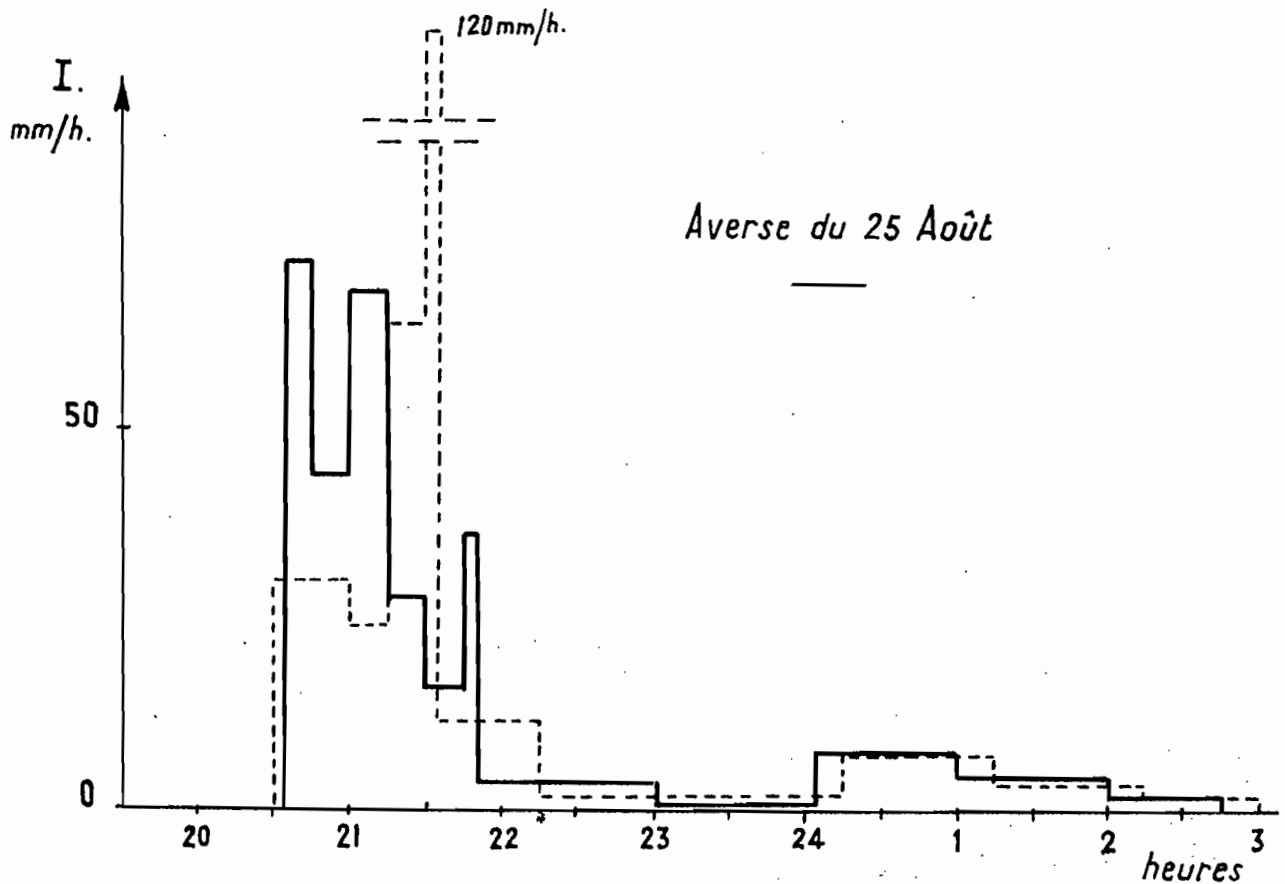
AVERSE N° 13

ANNEXE 2

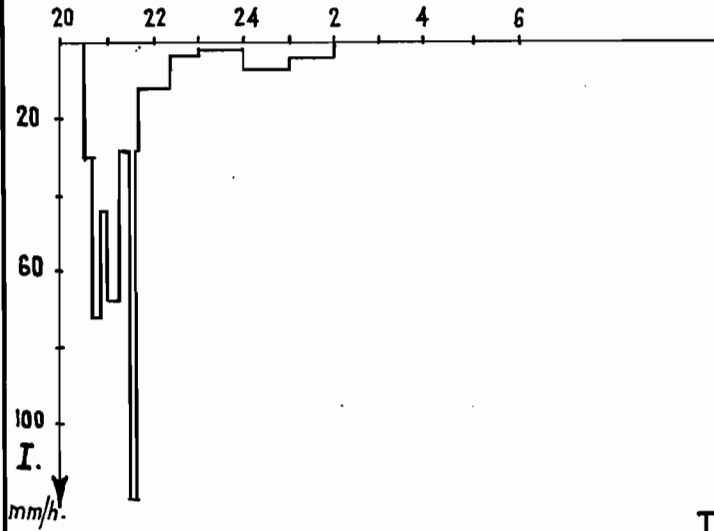


H min :  
H max :  
H moy : 79,9  
Dispersion% :  
Isohyètes pour l'averse du :

PRÉCIPITATIONS ANTÉRIEURES  
1 heure avant :  
3 heures avant :  
24 heures avant :  
3 jours avant :  
10 jours avant :



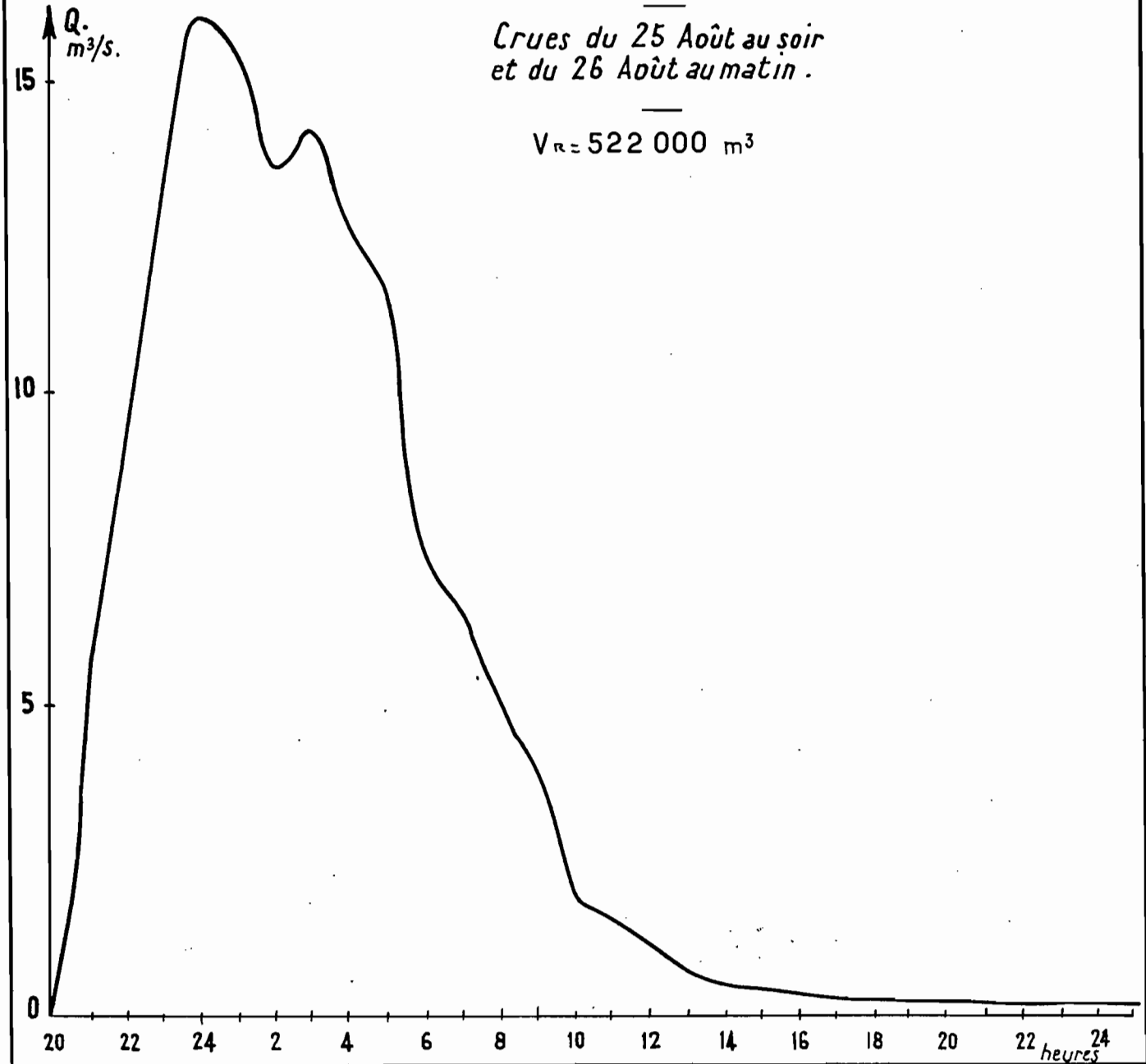
TCH\_81063



TARAÏMAN

*Crues du 25 Août au soir  
et du 26 Août au matin.*

$V_R = 522\ 000\ m^3$



BASSIN IN TIZIOWEN I

ANNEXE 4

7 - PRINCIPALES OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES

7-1 - BILAN HYDROLOGIQUE (en mm)

Année	P mm	Lr mm	Le mm	D. E. mm	Kr %	Ke %	Mod spéc. l s.km <sup>2</sup>
1959	130		31	99		23,8	0,98
1960	130		21,9	108		16,8	0,69
Moyennes							

7-2 - ÉVÈNEMENTS AVERSES - CRUES REMARQUABLES

DATE	$\bar{p}$ mm	Pu mm	Pa mm	ta h	tm mn	Vr 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	Kr %	Lr mm	Qx m <sup>3</sup> /s	tp mn
3-8-59	8	7,4	-	48	09	4,080	27,2	2,13	2,04	57
6-8-59	26	23,2	-	24	20	32,5	67,0	17,4	21	24
11-8-59	8,4	7,9	-	96	06	4,730	30,0	2,52	2,25	54
13-8-59	14,4	6,7	3,0	5	20	7,920	30,0	4,26	2,45	50
14-8-59	10,5	4,5	-	24	20	4,800	24,0	2,52	2,65	31
14-8-59	10,0	8,0	1,5	1	25	8,710	46,5	4,65	3,15	30
18-8-60	20,7	15,4	-	48	04	12,000	30,9	6,40	12,7	25
21-8-60	14,6	10,8	-	48	11	9,600	35,0	5,13	9,9	28
23-8-60	16,2	16,2	-	48	14	17,000	56,3	9,10	10,7	24
19-9-60	9,4	-	-	48	-	2,400	13,6	1,26	0,80	-

7-3 - OBSERVATIONS DIVERSES

Crue du 6-8-59 qx = 11 200 l/s.km<sup>2</sup>

8 - RUISSELLEMENT

8-1 HYDROGRAMMES-TYPES (pour lame = 10 mm)

T (h,mn)	-0.20	-0.10	0	+0.10	+0.20	+0.30	+0.50	+1.10	+1.50	+2.20	Date :
Q, m <sup>3</sup> /s	0	4,7	9,7	4,7	3,4	2,8	1,55	0,6	0	-	14-8-59 n° 1*
	1,25	4,7	6,5	5,3	3,4	2,2	1,25	0,9	0,4	0,3	14-8-59 n° 2
Médian											sur. crues

\* (à peu près unitaire)

8-2 RELATIONS PRÉCIPITATIONS-RUISSELLEMENT

Précipitations limite de ruissellement et d'écoulement | P lim  
| ta

BASSIN IN TIZIOUEN II

ANNEXE 5

7 - PRINCIPALES OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES

7-1 - BILAN HYDROLOGIQUE (en mm)

Année	P mm	Lr mm	Le mm	D. E. mm	Kr %	Ke %	Mod. spéc. l/s.km <sup>2</sup>
1959	130		37,8	92		29,0	1,2
1960	130		16,9	113		13,1	0,53
Moyennes							

7-2 - ÉVÉNEMENTS AVERSES - CRUES REMARQUABLES

DATE	$\bar{P}$ mm	Pu mm	Pa mm	ta h	tm mn	Vr 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	Kr %	Lr mm	Qx m <sup>3</sup> /s	tp mn
3-8-59	9,4	9,0	-	> 24	05	1,600	25,4	2,38	2,65	41
6-8-59	27,8	25,8	2,5	24	14	12,0	64,0	17,85	7,6	20
11-8-59	8,4	7,9	-	> 96	06	2,125	37,7	3,20	2,05	27
13-8-59	13,8	12,0	3,0	5	14	3,960	42,6	5,90	2,05	28
14-8-59	10,0	7,0	-	> 24	18	2,040	30,3	3,03	1,10	26
14-8-59	10,0	8,3	1,5	1	16	3,600	53,2	5,32	2,06	20
18-8-60	27,0	17,9	-	48	10	6,000	33,1	8,95	5,20	14
21-8-60	14,4	13,0	-	48	09	2,800	28,7	4,17	2,85	27
23-8-60	14,0	7,1	-	-	12	1,550	16,4	2,30	1,25	32

7-3 - OBSERVATIONS DIVERSES

Crue du 6-8-59 : qx = 11 300 l/s.km<sup>2</sup>

8 - RUISSELLEMENT

8-1 HYDROGRAMMES-TYPES

T (K,mn)	-15	-10	-5	0	+5	+10	+20	+30	+40	+50
Q m <sup>3</sup> /s	-	0	2	10,3	5,1	2,5	0,9	0	-	-
	-	0	2,2	6,5	5,1	3,6	1,3	0,45	0	-
	0	1,3	3,4	4	3,8	2,9	1,8	0,9	0,3	0

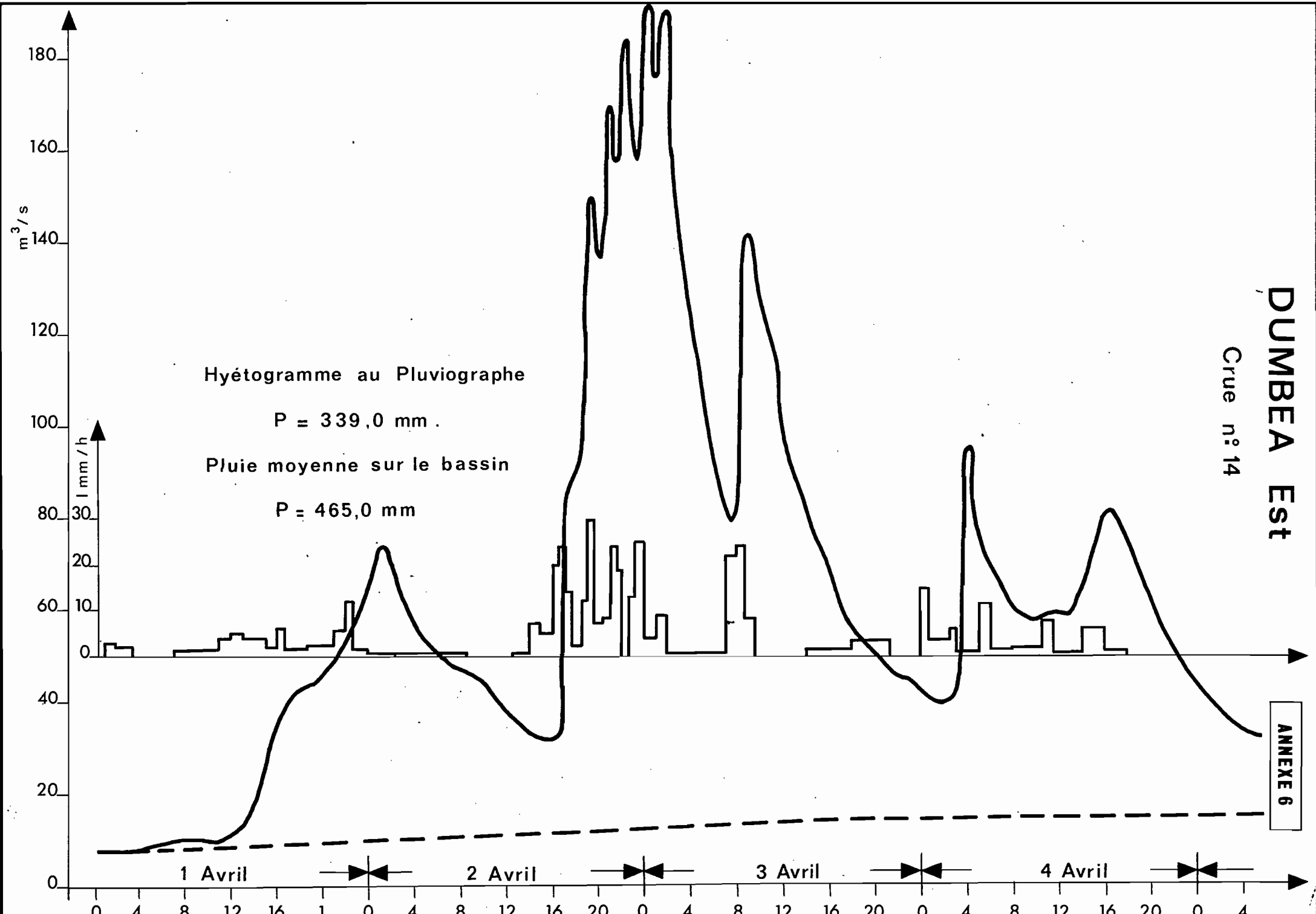
Date :  
 3-8-59 } \*  
 11-8-59 }  
 14-8-59 n° 2

\* à peu près unitaire

8-2 RELATIONS PRÉCIPITATIONS-RUISSELLEMENT

Précipitations limite de ruissellement et d'écoulement | P lim  
 ta





précipitations (plus de 250 mm), beaucoup plus localisée. On arriverait ainsi à une hauteur de précipitations moyenne sur tout le bassin égale à 150 mm, se répartissant comme suit : 47 mm sur le bassin supérieur du ZIZ et 198 mm sur le reste du bassin.

Les pertes sur le bassin supérieur seraient en moyenne de 37 mm et de 62 mm sur le reste du bassin.

Le volume de ruissellement serait donc de 14 millions de m<sup>3</sup> environ pour le bassin supérieur du ZIZ et de 419 000 000 m<sup>3</sup> sur le bassin total. Nous arrondirons ce dernier chiffre à 400 000 000 m<sup>3</sup>. Nous avons admis, en définitive, 54 mm de pertes sur le bassin total, on peut difficilement admettre plus.

Doit-on alors considérer un hydrogramme unitaire unique de 400 000 000 m<sup>3</sup> de forme identique à celui de la crue de 1965 ? Certainement pas à notre avis.

Il est raisonnable d'admettre une répartition en deux pointes principales (séparées par des pointes secondaires) conduisant à un débit très inférieur à celui qui correspondrait au rapport des volumes de l'hydrogramme de TAMS et nos 400 000 000 m<sup>3</sup>.

On peut faire diverses hypothèses sur la forme du diagramme de précipitations et sur l'importance relative des deux pointes. Ces hypothèses conduisent à des résultats variables pour la valeur du débit maximal. Nous n'avons pas fait ces essais et nous considérons qu'il ne faut pas adopter là une attitude trop pessimiste. Une hypothèse conduisant au doublement de la pointe observée en 1965 nous paraîtrait raisonnable et compatible avec ce que l'on sait des crues maximales observées dans le monde.

#### V - SUGGESTIONS pour la CRUE MAXIMALE INSTANTANEE -

Lorsque dans un projet, on arrive à la conclusion que les débits spécifiques de crue auxquels on aboutit sont élevés, on est tenté de comparer ces chiffres aux valeurs des crues maximales observées dans le monde. Pour cela, un des diagrammes les plus simples qui aient été établis est le diagramme FRANCOU, les débits sont portés en m<sup>3</sup>/s en ordonnées logarithmiques et les superficies en km<sup>2</sup> en abscisses également logarithmiques. En première approximation, les points représentatifs des crues les plus fortes des rivières les plus dangereuses d'une région donnée s'alignent sur une droite définie par un coefficient K.

Les records du monde (TEXAS, JAPON, TAIWAN, PHILIPPINES, COREE) s'alignent sur la droite correspondant au coefficient K = 6.

Les rares valeurs sûres connues en AFRIQUE du NORD conduisent à considérer la valeur K = 6,6, comme pour l'Est de l'AUSTRALIE, ce qui est normal.

La crue de 1965 du ZIZ correspond, avec la valeur de 4 500 m<sup>3</sup>/s, à  $K = 4,6$ .

Incontestablement, le ZIZ doit avoir des crues nettement inférieures aux cours d'eau les plus dangereux d'AFRIQUE du NORD et c'est bien le cas.

La plupart des points représentatifs sont des valeurs observées avec des périodes de retour de 50 à 100 ans en général, parfois un peu plus. Pour certains points d'EUROPE, la période de retour est peut-être de 500 à 1 000 ans, mais ils correspondent à des valeurs de  $K$  inférieures à 5.

On doit admettre, pour les crues de projet, des débits nettement supérieurs à ceux du diagramme, c'est-à-dire que pour les fleuves correspondant à  $K = 6$ , on devrait prendre une crue de projet peut-être 30 à 50 % supérieure à la crue observée. Sur ce graphique, le point représentatif de 10 000 m<sup>3</sup>/s pour le ZIZ correspondrait à  $K = 5,3$ , donc ce point est nettement en dessous de ce qui est observé pour les cours d'eau les plus dangereux d'AFRIQUE du NORD pour lesquels il conviendrait de choisir des crues du projet correspondant à  $K = 6,2$ .

Pour  $K = 6,2$ , sur un bassin de la dimension du ZIZ, le débit serait de 22 000 m<sup>3</sup>/s. (Pour  $K = 6$ , valeur correspondant aux records mondiaux, le débit du ZIZ serait de 18 000 m<sup>3</sup>/s environ). Autrement dit, si nous considérons que le ZIZ est analogue aux cours d'eau les plus dangereux d'AFRIQUE du NORD, nous proposerions une crue de projet de 22 000 m<sup>3</sup>/s. On voit que nous sommes loin du compte avec 10 000 m<sup>3</sup>/s.

#### CONCLUSION :

La précipitation maximale probable admise sur le ZIZ, et qui nous paraît justifiée, est certainement nettement inférieure aux valeurs records de l'AFRIQUE du NORD, mais l'absence de couverture végétale, les fortes pentes, la relative imperméabilité du sol, donnent lieu à des crues redoutables.

Les éléments dont on dispose pour l'étude des crues sont loin d'être inexistantes. Cependant, ils ne sont pas assez nombreux, en particulier la densité des pluviomètres et le nombre d'années d'observations des stations de jaugeages sont insuffisantes pour permettre de réduire les marges de sécurité à des valeurs trop faibles. En particulier, dans les divers choix qui interviennent lors de l'application de la méthode utilisée, s'il n'est pas raisonnable d'adopter chaque fois l'hypothèse la plus pessimiste, il convient de ne pas prendre trop souvent l'hypothèse la plus optimiste.

Ceci nous conduit :

- à considérer pour le coefficient de rugosité (coefficient de STRICKLER) à la station d'AIT ATHMAN amont, une valeur de 33 à 35 ;

- à admettre, pour le passage de la pluie ponctuelle à la pluie moyenne sur le bassin de 4 385 km<sup>2</sup>, une répartition comparable à celle de l'averse d'Avril 1971 quoique moins homogène, d'où une hauteur de précipitation moyenne de l'ordre de 150 mm en 24 heures;
- à admettre que sur le bassin total, les pertes en 24 heures sont de 54 mm ;
- que l'averse maximale probable comporte deux pointes principales et non une seule.

Il en résulte une crue dont le débit maximal est compris entre 9 000 et 11 000 m<sup>3</sup>/s et un volume de crue compris entre 350 et 450 000 000 m<sup>3</sup>.

Un ensemble de recherches coordonnées pour l'ensemble de l'AFRIQUE du NORD, portant sur les éléments du calcul de la PMP, permettrait certainement, dans l'avenir, de serrer de plus près les débits des crues de projets.