

Hédi F. ADRI

Heinrich TSCHINKEL

HYDROLOGIE DE TROIS PETITS BASSINS VERSANTS
caractérisés par une utilisation différente du sol



MINISTERE DE L'AGRICULTURE

Hédi HADRI

Heinrich TSCHINKEL

**HYDROLOGIE DE TROIS PETITS BASSINS VERSANTS
caractérisés par une utilisation différente du sol**

ANNALES DE L'INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES FORESTIERES 1976

REMERCIEMENTS

Par leur nature les études hydrologiques demandent des mesures de longue durée et la collaboration de plusieurs personnes. L'équipement des bassins et leur fonctionnement jusqu'en 1972 avait été assuré par le CREGR. Les crues de Septembre/Octobre 1969 avaient déjà été dépouillées et analysées. A toutes les personnes qui d'une façon ou d'une autre ont participé à cette étude nous exprimons notre gratitude.

Nous tenons surtout à remercier MM. BEN SALAH Mustapha, MEDDEB Naceur, BEN N'CIR Abdelhamid, BEN BOUBAKER Moncef, BEN JEMIA Rached, ROEDERER Henri, COLOMBANI Jacques.



LES AUTEURS

Dr. Hédi HADRI, Ingénieur Principal des Forêts, Chef de la Section «Aménagement des Bassins Versants» à l'Institut National de Recherches Forestières. Il a obtenu le diplôme d'ingénieur en 1970 et le Doctorat es-sciences en 1974 à la faculté des Eaux et Forêts de l'Université de Fribourg (R.F.A.).

Dr. Heinrich TSCHINKEL est expert en aménagement de bassins versants au Projet FAO/TUN/71/540. Il a obtenu un «Master of science Degree» (Forestry) à l'Université de la Californie, Berkeley 1961 et son Doctorat à l'Université de Hamburg (R.F.A.) 1972.

Photos : INRF/Hadri.

© Nations Unies. F.A.O. - Gouvernement Tunisien I.N.R.F. 1976

Édité par les Ateliers Offset de l'I.N.R.F.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	5
II. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	9
2.1. Études hydrologiques antérieurs de la région du Djougar	9
2.2. Les techniques pour évaluer l'effet de l'utilisation du sol sur le régime hydrologique	11
2.3. La méthode du «Soil Conservation Service» pour estimer la lame d'eau écoulée	13
III. DESCRIPTION DES BASSINS VERSANTS EXPÉRIMENTAUX	15
IV. MÉTHODES ET MATÉRIEL	25
4.1. Mesure de la précipitation	25
4.2. Mesure du débit liquide	26
4.3. Calculs	29
4.4. Mesure du transport solide	30
V. RÉSULTATS ET DISCUSSION	31
5.1. Précipitations	31
5.2. Ruissellement	32
5.3. La corrélation entre la pluie et l'écoulement	51
5.4. La méthode du «Soil Conservation Service» (S.C.S.) pour estimer la lame d'eau écoulée	57
5.5. Transport solide	65
5.6. L'influence de l'utilisation du sol sur le comportement hydrologique	68
VI. CONCLUSIONS	71
BIBLIOGRAPHIE	73
ANNEXE 1 : Pluviométrie journalière	78
ANNEXE 2 : Le coefficient d'indexation (C)	91
ANNEXE 3 : L'analyse multivariable de la pluie et du ruissellement	94

I. INTRODUCTION

Dans le cadre de la recherche du Génie Rural, trois petits bassins versants expérimentaux équipés des appareils nécessaires pour les mesures de pluies et de débits, ont été installés au Djouggar dans la région de Pont du Fahs en 1963.

Ces trois bassins versants, voisins les uns des autres, sont caractérisés par une utilisation du sol assez homogène dans chaque bassin : un bassin (BVI) de 60 ha. est couvert par une forêt de *Pinus halepensis*, un deuxième bassin (BVII) de 100 ha. est occupé principalement par la céréaliculture mécanisée traditionnelle sans aucune précaution antiérosive, et le troisième bassin (BVIII) de 85 ha. est couvert d'arboriculture (oliveraie) mécanisée en courbe de niveau dans un réseau de banquettes. Les oueds qui drainent ces bassins versants sont secs toute l'année et ne coulent qu'après de fortes pluies pendant quelques heures seulement.

La présente publication donne les principaux résultats des mesures de pluies et de débits liquides et solides effectuées depuis la date de l'équipement des bassins versants en 1963, jusqu'en 1975. La durée relativement longue des observations et l'importance des données recueillies nous ont permis de fixer les objectifs suivants :

- 1) Description du comportement hydrologique de ces trois petits bassins. Spécifiquement, on veut connaître :
 - Le volume d'eau ruisselé pendant les crues et la pointe correspondante.
 - Le bilan hydrique
 - La fréquence des grandes crues.
 - La relation entre les caractéristiques des pluies et celles des crues qu'elles ont provoqué.

- 2) Estimation de l'influence des trois formes d'utilisation du sol (forêt, céréaliculture traditionnelle et arboriculture sur terrain traité en C.E.S.*) sur les débits liquides et solides.
- 3) Détermination de la validité et de l'adaptation aux conditions tunisiennes d'une méthode pratique pour calculer la quantité d'eau ruisselée à partir de données simples à mesurer. Spécifiquement, il s'agit de la méthode du «Curve number» de l'U.S. Soil Conservation Service pour la prévision des crues.

Ce dernier objectif mérite une explication plus détaillée :

Il est indispensable que l'ingénieur qui prépare un projet hydraulique ait des renseignements sur les débits qu'on peut escompter, surtout la quantité d'eau écoulée par crue et le débit de pointe correspondant. Ces renseignements sont nécessaires pour dimensionner les ouvrages.

Pour les grands ouvrages, comme les grands barrages, les méthodes directes d'estimation des débits sont justifiées. Ces méthodes directes exigent l'installation de stations de jaugeage préalablement à la construction des ouvrages. Les mesures effectuées sur ces stations pendant plusieurs années sont extrapolables pour les années à venir en employant souvent des mesures et des méthodes analytiques sophistiquées.

Pour la construction des ouvrages de «petite hydraulique» (petits ponts, buses, diversions) et de C.E.S. (petits barrages, banquettes, épandage), dont les emplacements sont très nombreux et pour lesquels la durée des études est très courte, il ne saurait être question d'installer une station de mesure dans tous les petits bassins versants. Une méthode indirecte d'estimation des débits, se basant sur les données largement disponibles ou faciles à mesurer telles que la pluie journalière, l'intensité de la pluie, les caractéristiques physiques des bassins versants, est nécessaire. Ces méthodes indirectes, bien au point, permettent d'éviter à la fois le sur-dimensionnement et le sous-dimensionnement des ouvrages, l'un et l'autre étant aberrants sur le plan économique.

* Conservation des Eaux et du Sol.

En fait, le besoin de vérifier des méthodes indirectes de prévision des débits, telle que la méthode du «Curve number» de l'U.S. Soil Conservation Service, adaptée aux conditions tunisiennes, a été l'objectif de l'installation des trois petits bassins versants au Djouggar en 1963.



II. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. ÉTUDES HYDROLOGIQUES ANTÉRIEURES DE LA RÉGION DU DJOUGGAR

L'intérêt hydrologique de la région du Djouggar remonte au moins à deux mille ans dans l'histoire, car la prise d'eau la plus éloignée du remarquable aqueduc qui conduisait l'eau sur 110 km à Carthage, se trouve à quelques centaines de mètres des bassins versants expérimentaux. Le château d'eau qui a été construit au cours de l'époque Byzantine protège encore cette source et certaines parties de ce même aqueduc, entretenues pendant des siècles, conduisent encore l'eau du Djouggar à la ville de Tunis (voir aussi Gauckler, 1897). Mais l'intérêt hydrologique moderne dans cette région a été encouragé par le choix du Djouggar comme périmètre expérimental du Centre de Recherche et d'Expérimentation de Génie Rural (C.R.E.G.R.) au début des années soixante. Le C.R.E.G.R. assisté par une mission de la S.C.E.T.* a installé ici une série de parcelles de ruissellement, une station de jaugeage sur un bassin versant de 42 km² (Oued Tahouna) ainsi que les trois bassins versants expérimentaux. Les résultats des recherches pratiques intensives du C.R.E.G.R. pendant les années soixante ont été publiés et méritent d'être plus connus (par exemple : C.R.E.G.R., 1963 ; S.C.E.T. 1963 ; Cormary, 1964 ; Cormary et al., 1964 ; Dumas, 1965 ; Masson et Cormary, 1963 ; Masson, 1971). Un résumé et un bilan ont été préparés par Huaux en 1967.

Dans le contexte actuel, trois publications retiennent l'attention (S.C.E.T. - Mission C.G.R., 1964 ; Masson et al., 1965 ; Huaux-Deceulener, 1970). La première est une description très détaillée des stations hydrométriques et pluviométriques dans les bassins versants expérimentaux et de leur fonctionnement.

* Société Centrale pour l'Équipement du Territoire.

La deuxième publication présente une description des bassins versants et les premiers résultats des mesures effectuées de 1963 à 1965. De ces résultats, on a essayé de tirer des conclusions pratiques mais avec peu de succès, car la période d'observation était trop courte et les problèmes posés par les équipements installés trop fréquents, pour qu'on ait pu mesurer des crues suffisantes.

Enfin, la troisième publication possède une valeur particulière puisqu'elle présente les courbes d'étalonnage des déversoirs Parshall des bassins versants II et III, dérivées des jaugeages effectués fortuitement pendant les grandes crues de septembre/octobre 1969.

Ces trois publications ont été fondamentales pour la continuité des mesures et du dépouillement. Elles constituent aussi les références nécessaires pour les lecteurs intéressés par les détails de la construction et le fonctionnement de ces stations de jaugeage*.

Une autre étude, importante et récente, est l'excellente Monographie de l'Oued Milliane (Elsholz et al., 1973) qui englobe le Djougar dans son bassin versant. Grâce à l'analyse régionale des pluies, exceptionnellement détaillée, présentée dans la monographie, cette présente étude du Djougar peut se limiter aux analyses simples de la pluviométrie. Celle qui concerne les crues exceptionnelles de 1969 (Kallel et al., 1972) traite aussi du Djougar.

Bien que la Division des Ressources en Eau de la Tunisie ait mis l'accent sur l'étude des grands bassins versants, l'O.R.S.T.O.M.** est en train d'étudier l'hydrologie de quelques petits bassins versants.*** Il sera intéressant de comparer les résultats du Djougar avec ceux de l'Oued Sidi Naceur dans les Mogods ou d'autres bassins, où des recherches fondamentales sur les débits, l'humidité du sol, et le ruissellement sur parcelles contribueront à une connaissance plus complète du cycle hydrologique de la région (voir aussi Dubreuil, 1970a - 1970b).

* La thèse de CORMARY n'a pas été disponible pour une étude approfondie. Elle est basée sur les données recueillies dans les trois bassins versants jusqu'en 1963.

** Office de la Recherche Scientifique et Technique, Outre-Mer.

*** Communication personnelle de M. Colombani

2.2. LES TECHNIQUES POUR ÉVALUER L'EFFET DE L'UTILISATION DU SOL SUR LE RÉGIME HYDROLOGIQUE

L'influence des changements de l'utilisation du sol sur le régime hydrologique a été le sujet de nombreuses études depuis plus de 50 ans (Unesco, 1972). Mais, les mesures de cet effet sur le débit de tout un bassin versant exigent des études approfondies, coûteuses et de longue durée. Pendant les vingt dernières années, le nombre de ce type d'étude a beaucoup augmenté, mais trop souvent les résultats sont d'application locale et difficile à transposer dans d'autres conditions (Leopold, 1970 ; Jacquet, 1970).

Les techniques pour mesurer l'effet hydrologique au niveau d'un bassin versant, à la suite des changements de méthodes culturales ou de l'utilisation du sol, sont donc bien connues (Toebe et Ouryvaev, 1970 ; Hewlett et al., 1969 ; Moore et Morgan, 1969 ; Wicht, 1961).

En principe il y a deux techniques :

2.2.1. Technique de comparaison de plusieurs bassins

« Dans cette technique de comparaison, on utilise un bassin témoin qui ne subit aucun traitement pendant toute la durée des périodes d'étalonnage et d'évaluation.

Après avoir obtenu une corrélation satisfaisante entre l'écoulement du bassin témoin et celui des autres bassins, on traite seulement ces derniers et l'on compare l'écoulement observé à la sortie des bassins traités à celui prévu grâce à l'équation de régression initiale à partir des données d'écoulement observées sur le bassin témoin. Les différences entre les valeurs prévues et les valeurs observées mesurent l'effet du traitement du terrain sur l'hydrologie des bassins » (Toebe et Ouryvaev, 1970).

Cette technique est de loin la plus commune (Kovner et Evans, 1954 ; Lusby et al., 1971 ; Sopper et Lynch, 1970 ; Reinhart, 1958) et elle a été modifiée pour que la période d'étalonnage puisse être raccourcie jusqu'à deux ans sous des conditions favorables (Berthlahmy, 1963 ; Ursic et Popham, 1967). Néanmoins, elle exige que les bassins versants qui vont être comparés, aient un régime hydrologique très semblable. Ce n'est pas le cas pour les trois bassins versants du Djougar car le but de leur installation était différent.

2.2.2. Technique avec un seul bassin

« Dans la technique avec un seul bassin, l'écoulement du bassin est mis en relation avec ses facteurs conditionnels, en général au moyen d'équations de régression qui lient les facteurs climatiques et l'écoulement mensuel, annuel ou consécutif à une averse. Ces équations sont alors appliquées aux facteurs climatiques pendant la période suivant le traitement du bassin, et l'écoulement estimé est comparé à l'écoulement observé au cours de cette période. Les différences mesurent l'effet du changement apporté aux caractéristiques du bassins » (Toebe et Ouryvaen, 1970).

En principe, cette technique d'étalonnage est applicable aux bassins versants du Djougar. Concrètement, on pourrait établir la relation statistique entre les caractéristiques des crues (quantité d'eau écoulée et pointe correspondante) et celles des pluies qui les ont causées (quantité, intensité, etc.). Si cette relation, exprimée en équation de régression multiple, est suffisamment étroite, l'utilisation du sol pourrait être modifiée et son effet mesuré. L'écart entre les futures mesures observées et les valeurs établies par calcul est une mesure de l'influence du changement de l'utilisation du sol. En effet, si l'on accepte leur limite de précision, les équations présentées par la suite (paragraphe 5.3.3.) peuvent servir pour l'étalonnage.

La méconnaissance de ces deux techniques fondamentales empêche une interprétation valable de l'effet hydrologique des changements de l'utilisation du sol. En 1956, deux bassins versants de 300 ha. environ sur le Djebel Amar à 15 km de Tunis ont été équipés de grands déversoirs pour mesurer le débit liquide et solide. L'un des bassins a été traité immédiatement en banquettes, et autres techniques C.E.S. tandis que le deuxième devait servir de témoin, (Megard, 1958). Étant donné qu'une période d'étalonnage n'avait pas été prévue ; la mesure de l'effet des travaux C.E.S. n'a pas été possible bien que les observations aient été continues. Il était impossible de séparer les différences naturelles initiales des régimes hydrologiques des deux bassins versants, des différences dues aux travaux C.E.S. Un exemple semblable concernant deux bassins d'environ 5 ha. se rencontre près du barrage El Kébir (amat, 1963). A l'étranger, un exemple très discuté se trouve en Suisse (Hewlett, 1970) et un autre cas à Madagascar (Benoit De Coignac et al., 1971).

Ces exemples démontrent la difficulté de conclure si les différences de régime hydrologique entre deux bassins ont été causées par un traitement ou par des différences entre les caractéristiques naturelles des bassins.

2.3. LA MÉTHODE DU «SOIL CONSERVATION SERVICE» POUR ESTIMER LA LAME D'EAU ÉCOULÉE

Le développement des méthodes de prévision de la lame d'eau écoulee sur les petits bassins versants a préoccupé les hydrologues depuis bien longtemps. En 1954, le «Soil Conservation Service» des États-Unis (S.C.S.) a publié une méthode simple qui, par la suite, a été très largement utilisée, pas seulement aux États-Unis mais aussi à l'étranger. La révision la plus récente de la méthode, avec ses multiples applications, a été publiée dans un manuel pratique (S.C.S., 1972). L'application de cette méthode à l'Afrique du Nord a été facilitée par l'incorporation des cartes d'intensité de pluie pour cette région (S.C.S., 1967).

La méthode du «Soil Conservation Service» a attiré l'attention du C.R.E.G.R. en Tunisie qui a entrepris une recherche intensive pour vérifier son application locale (Bediot et Cormary, 1964 ; Masson et al., 1965).

Grâce à l'existence de plusieurs descriptions détaillées de cette méthode (Bediot et Cormary, 1964 ; C.R.E.G.R. 1965 ; S.C.S., 1972 et 1967), on peut se limiter ici à un résumé très bref. L'estimation de la lame d'eau écoulee (Q) d'un petit bassin versant est basée sur les variables suivantes :

- 1) La hauteur de la précipitation (P) sur le bassin versant.
- 2) Les caractéristiques hydrologiques du sol (exprimées en 4 classes de A à D).
- 3) La végétation ou la culture.
- 4) La précipitation précédente qui est la somme des précipitations des 5 jours précédant la crue, exprimée en 3 classes (A_1 I, A_1 II, A_1 III).
- 5) La saison de l'année (saison de repos végétatif, saison de croissance de la végétation).

La clé de la méthode est le graphique du «coefficient d'indexation» (C) développée principalement sur des bases théoriques (fig.8) en combinaison avec des tableaux empiriques permettant la détermination de C pour un certain complexe sol-végétation sous des conditions moyennes de précipitation antécédente. Si la précipitation précédant la crue en question ne correspond pas à la classe moyenne définie pour la saison, des tableaux complémentaires permettent la modification de la valeur de C (annexe 2). Une fois que C a été déterminé, la figure 8 donnera la lame d'eau écoulee (Q) pour chaque hauteur de pluie (P). Évidemment, une méthode aussi simple, développée principalement à partir de données des régions humides des États-Unies, et qui ne prend pas en considération l'intensité de la pluie, la surface et la physiographie du bassin versant, ainsi que plusieurs autres variables influant sur le ruissellement, ne peut que donner des résultats très approximatifs. Pourtant, des efforts ont été entrepris pour adapter cette méthode aux autres régions et pour la raffiner en ajoutant d'autres variables (Simanton et al., 1973). C'est dans cet esprit que la C.R.E.G.R. , avait testé la méthode en employant les bassins expérimentaux du Djouggar, mais les résultats ne furent pas concluants ; ceci étant dû principalement aux

petits nombres de crues qui eurent lieu au cours des 2 ans de l'étude (Bediot et Cormary, 1964 ; Masson et al., 1965). Mais les questions posées par le C.R.E.G.R. sont toujours actuelles et la présente étude utilise les résultats de presque 11 années de mesures sur les trois bassins versants du Djougar pour examiner la possibilité d'appliquer, en Tunisie, la méthode du S.C.S.



III. DESCRIPTION DES BASSINS VERSANTS EXPÉRIMENTAUX

Les trois bassins versants sont localisés à 15 Km au sud de la ville de Pont du Fahs et à 65 Km au Sud-ouest de Tunis (latitude $36^{\circ} 15' N.$; longitude $10^{\circ} E.$). Ils se trouvent dans le bassin versant de l'Oued Tahouna qui est un affluent de l'Oued Miliane (fig.1). Géographiquement la région est bien connue (Mensching 1964, Giessner, 1964 ; Stuckmann, 1968) et elle a été couverte par de récentes études climatologiques (Bortoli et al., 1969), hydrologiques (Elsholz et al., 1973), géomorphologiques (Belaïd et Belkhodja, 1970 ; Brechtel, 1970) et phytoécologiques (Gounot et Scheonenberger, 1967). Selon cette dernière étude, les bassins versants expérimentaux ont été classés dans l'étage bioclimatique semi-aride supérieur à hivers tempérés.

Les caractéristiques physiques des bassins versants sont résumées dans le tableau 1 et la figure 2. Aucun bassin versant n'est éloigné de plus de 6 Km des autres mais leur topographie et l'utilisation de leurs sols couvrent une gamme appréciable de caractéristiques diverses.

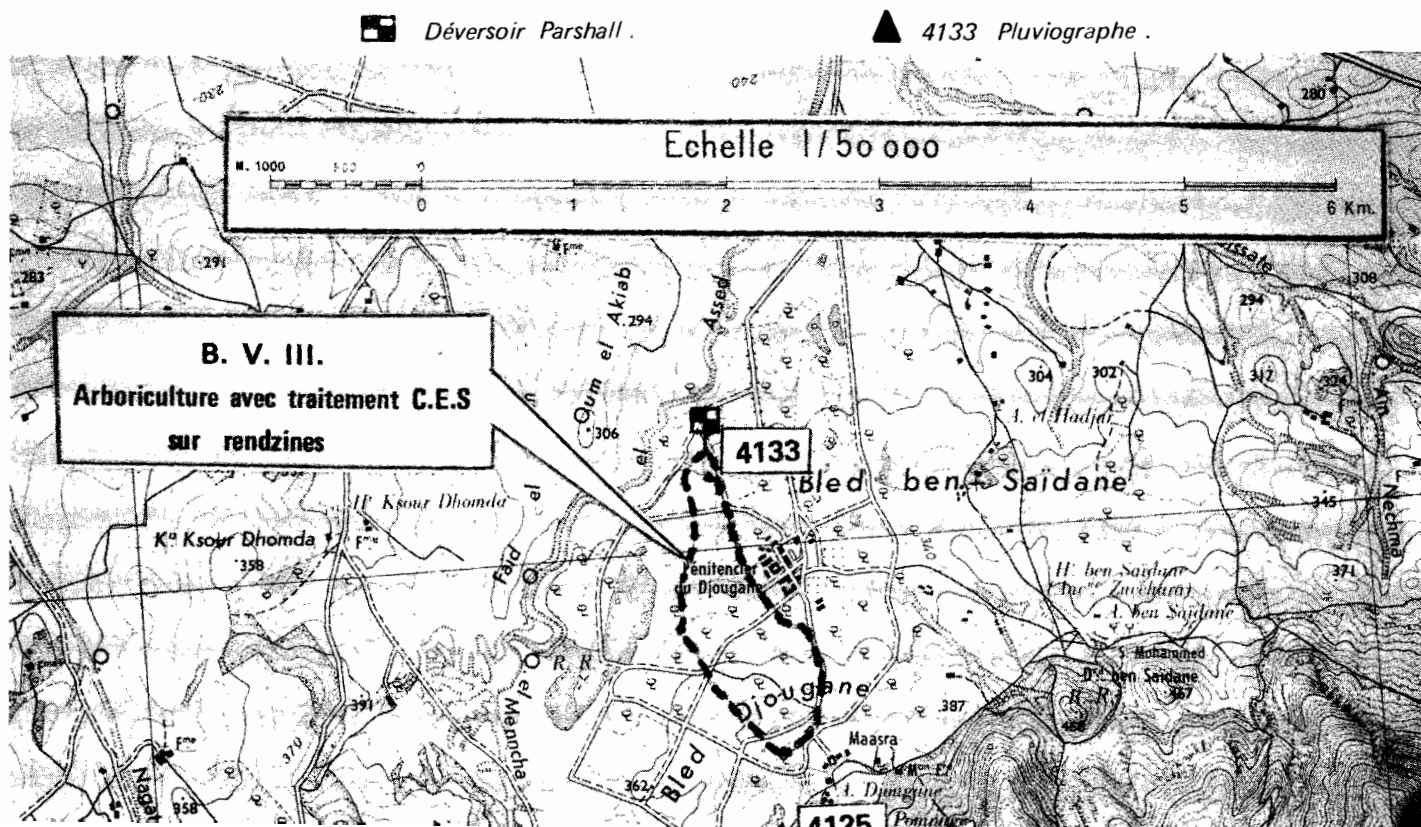
L'utilisation du sol aussi bien que la végétation spontanée sont indiquées sur les figures 3.1, 3.2, 3.3 pour les trois bassins versants. Bien que l'utilisation du sol ne soit pas parfaitement homogène pour tous les bassins versants, l'occupation du sol dominante dans chaque bassin versant est la suivante :

- B.V.I - Forêt de *Pinus halepensis* et garrigue de végétation spontanée.
- B.V.II - Céréaliculture mécanisée sans précaution antiérosive.
- B.V.III - Arboriculture mécanisée en courbe de niveau dans un réseau de banquettes en majorité horizontales mais à extrémités déversantes.

La comparaison des photos aériennes prises en 1962 avec celles de 1974 ne montrent pas un changement significatif de l'utilisation du sol.

Une carte pédologique (échelle 1/20000) de l'ensemble du bassin versant de l'Oued Tahouna (Oued Assed) a été préparée par Dumas (Bediot et Cormary, 1964).

Figure 1. Carte topographique avec la localisation des bassins versants et des appareils de mesure.





En bref, les sols qui dominent les bassins sont caractérisés comme suit :

- B.V.I - Sols bruts d'érosion sur calcaire tendre blanc de l'albien, avec quelques lambeaux de sol bruns calcaires et de rendzines.
- B.V.II - La roche mère est constituée sur la majeure partie du bassin versant par un marno calcaire feuilleté du néocomien. L'érosion a donné naissance à des sols bruts d'érosion sur les pentes les plus fortes, tandis que des sols bruns calcaires plus ou moins érodés ont subsisté ailleurs.
- B.V.III - La roche mère marneuse très tendre est surmontée de rendzines rouges avec encroutement noduleux et limons calcaires.

Tableau 1. LES CARACTÉRISTIQUES TOPOGRAPHIQUES DES TROIS
BASSINS VERSANTS EXPÉRIMENTAUX (Selon Masson et al 1965)

Caractéristique topographique	B.V.I	B.V.II	B.V.III
Superficie (ha)	60	101	85
Altitude maximum (= $H_{\max}$) (m)	530	500	370
Altitude au débouché (= $H_{\min}$) (m)	400	335	290
Dénivelée (= $H_{\max} - H_{\min}$) (m)	130	165	80
Altitude moyenne $\frac{(H_{\max} - H_{\min})}{2}$ (m)	465	417	330
Altitude moyenne (1/2 des surfaces) (m)	448	372	347
Longueur du cours d'eau principal (m)	1230	1700	1870
Pente moyenne du cours d'eau principal (%)	11	10	4

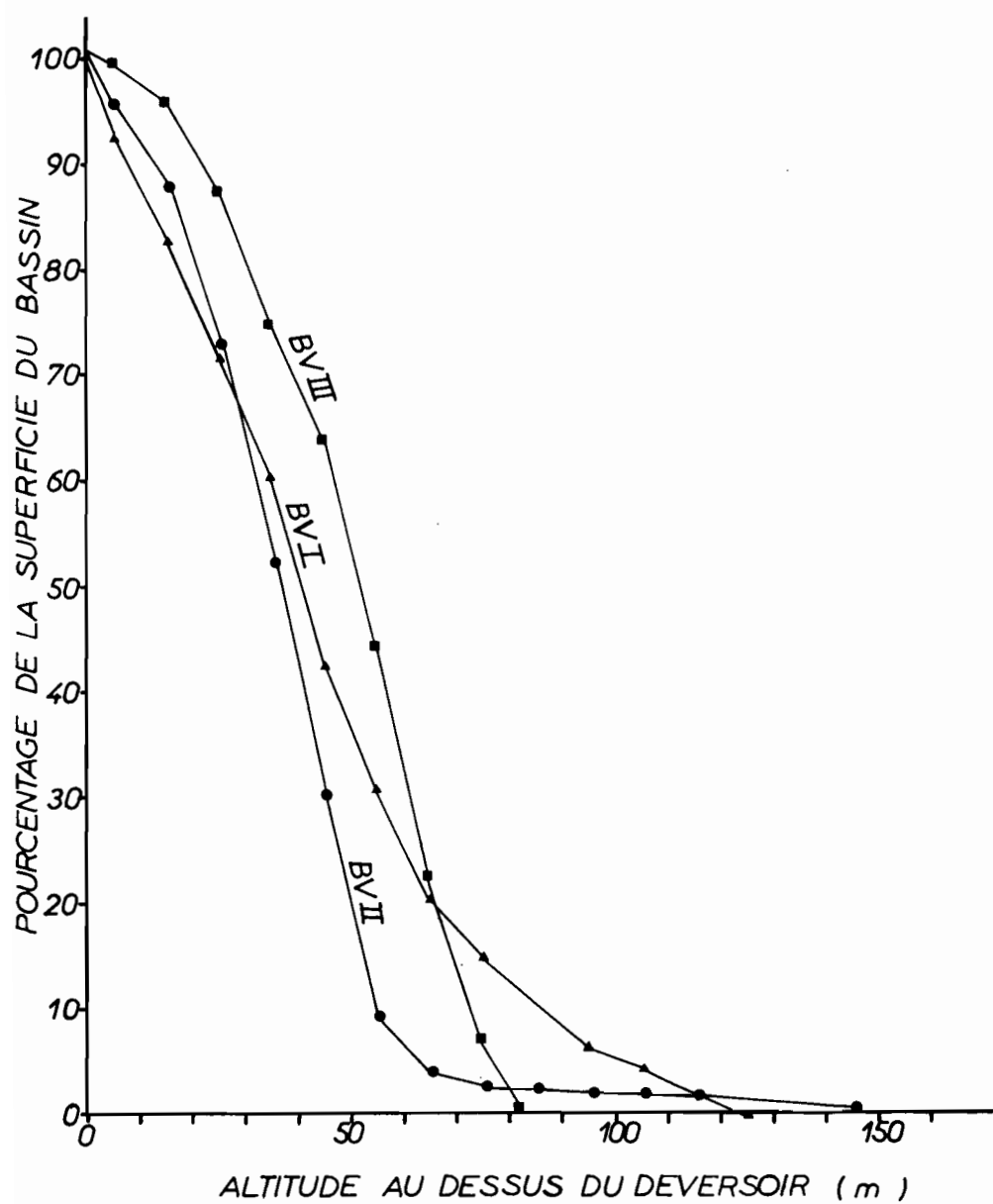


Figure 2. Courbes hypsométriques des trois bassins versants expérimentaux.

BASSIN VERSANT I

FORET DE PINUS HALEPENSIS SUR SOL CALCAIRE

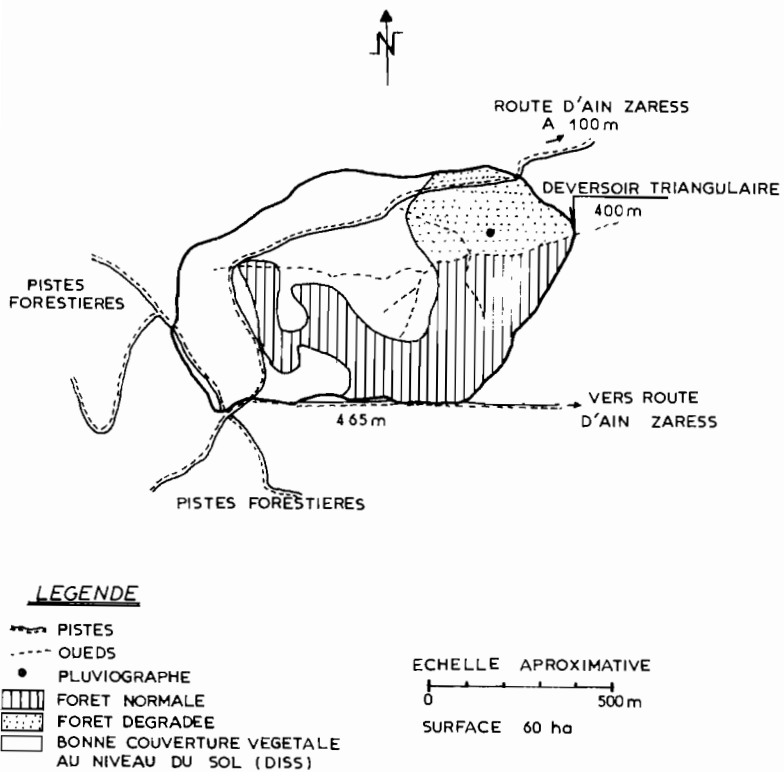


Figure 3.1 Carte de l'utilisation du sol du B.V.I.

BASSIN VERSANT II

CÉRÉALICULTURE MÉCANISÉE SUR SOL MARNEUX

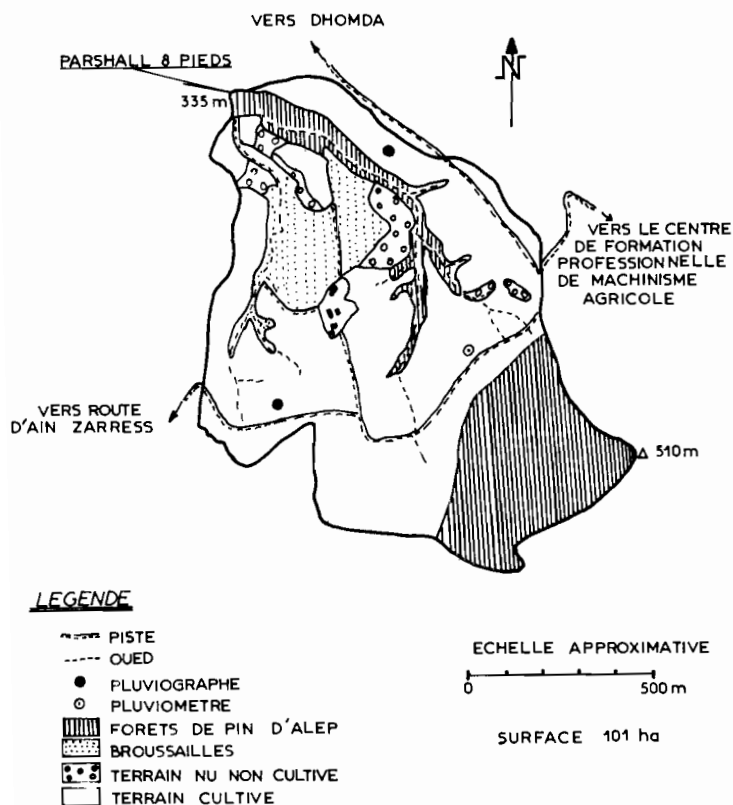


Figure 3.2. Carte de l'utilisation du sol du B.V.II.

BASSIN VERSANT III

ARBORICULTURE AVEC TRAITEMENT C.E.S. SUR RENDZINES

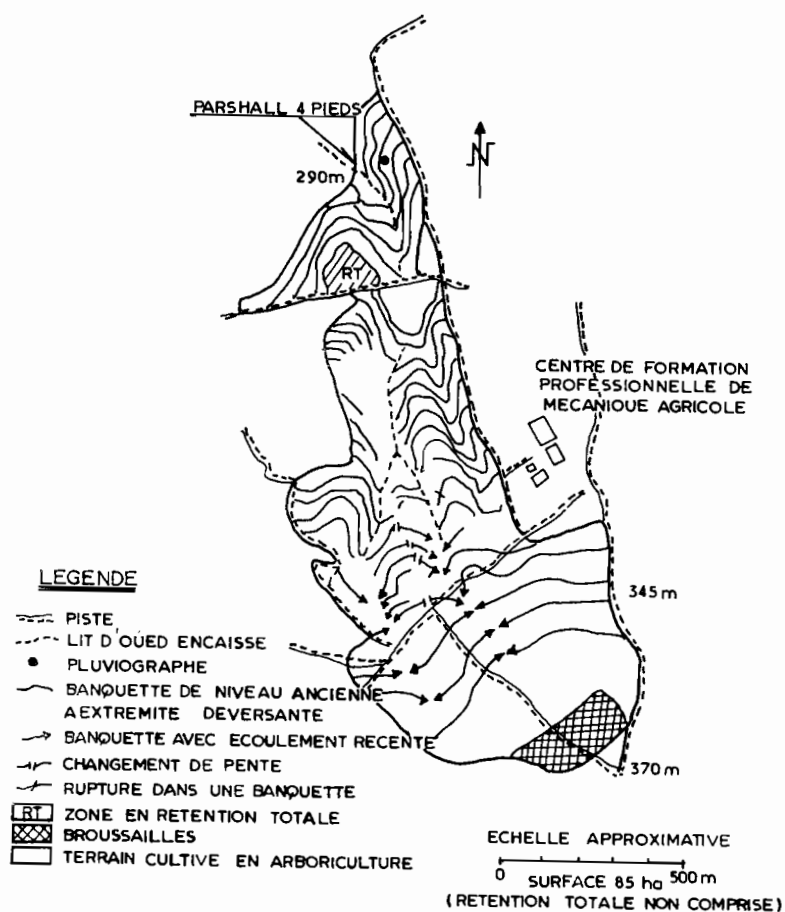


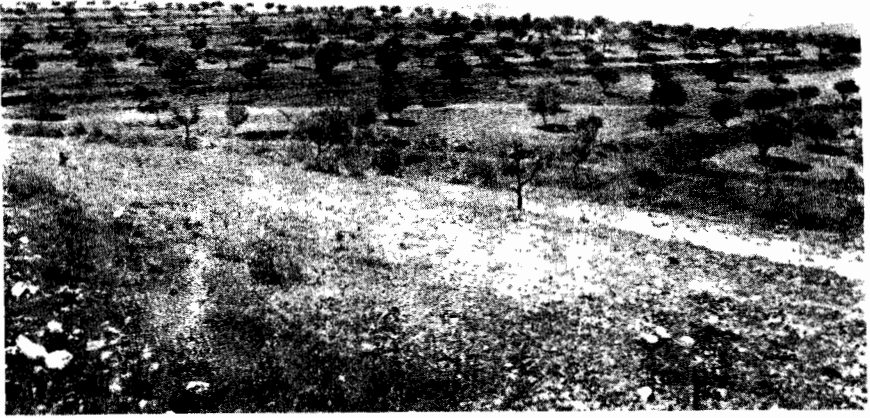
Figure 3.3. Carte de l'utilisation du sol du B.V.III.



Le couvert végétal du B.V.I composé d'une forêt de Pinus halepensis et de végétation spontanée ; dominée par l'Ampelodesma mauritanicum, Cistus libanotis, Rosmarinus officinalis, Stipa tenacissima



L'utilisation du sol du B.V.II : Céréaliculture mécanisée sans précaution anti-érosive, on trouve aussi des taches de garrigue dégradée.



L'utilisation du sol du B.V.III. : Arboriculture mécanisée en courbe de niveau dans un réseau de banquettes.



IV. MÉTHODES ET MATÉRIEL

4.1. MESURE DE LA PRÉCIPITATION

Chaque bassin versant expérimental est équipé avec au moins un pluviographe et un pluviomètre de contrôle à proximité (fig. 1). Dans le B.V.II, on trouve même deux pluviographes mais pour simplifier le travail, l'appareil de localisation centrale (PG II 1) a été seul utilisé dans cette étude. Le reste des appareils a été employé pour vérifier les résultats obtenus par les trois pluviographes représentant les trois bassins.

Les pluviographes sont à augets basculeurs avec un orifice de 2000 cm^2 et une horloge à rotation quotidienne. Un observateur contrôle chaque appareil quotidiennement au cours de la matinée. Les bandes des pluviographes ont été dépouillées en lisant la pluie à intervalle fixe de 15 minutes, et en exprimant l'intensité de la pluie en mm/heure.

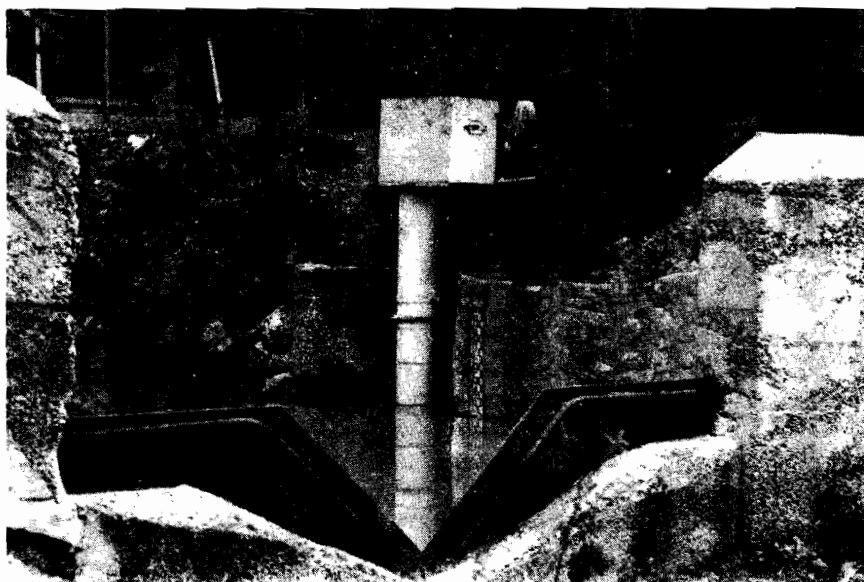
Sur les mêmes bandes, on a calculé la pluie de 24 heures (P_{24}) entre 7h et 7h du matin suivant. Cette quantité, calculée seulement pour les jours de crues, correspond à la pluie mesurée par un simple pluviomètre d'observation quotidienne. On a préféré relever la pluie de 24h sur le pluviographe au lieu de se servir des données du pluviomètre voisin car les données du premier étaient de meilleure qualité et n'étaient pas affectées par les erreurs de lecture sur le terrain. Pour cette raison, toutes les moyennes mensuelles sont aussi dérivées des données enregistrées par les pluviographes. Afin de permettre le calcul des divers indices de pluies antérieures, lesquels sont des estimations de l'état d'humidité du sol des bassins avant les crues, on a déterminé la pluie quotidienne pendant les 10 jours qui ont précédé chaque crue.

4.2. MESURE DU DÉBIT LIQUIDE

4.2.1. Appareils de mesure

Les trois déversoirs ont été décrits en détail par la S.C.E.T. (1964) et Huaux-Deceulener (1970), de telle sorte qu'une description sommaire suffit pour cette étude :

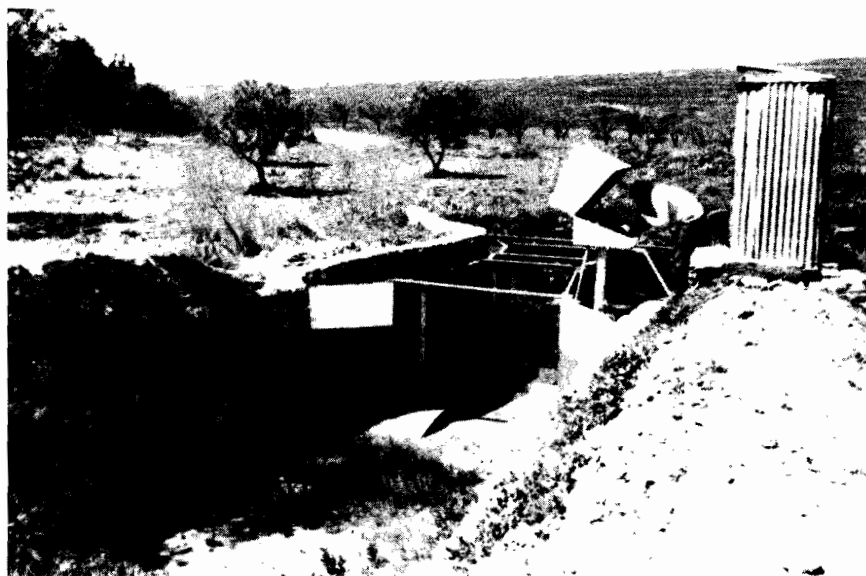
- B.V.I - Déversoir triangulaire à paroi mince, d'angle 90° , découpé dans un déversoir rectangulaire à paroi mince.
Limnigraphe à flotteur «OTT» (Modèle X) à rotation quotidienne réduction de la hauteur 1/5.
- B.V.II- Déversoir Parshall de 8 pieds (2.44 m) au col et 2 m de hauteur.
Limnigraphe du même type que B.V.I.
- B.V.III- Déversoir Parshall de 4 pieds (1.22 m) et 1.50m de hauteur, avec un petit Parshall d'un pied (0.30 m) et 0.15 m de profondeur aménagé dans le plancher en ciment.
Jusqu'en septembre 1972 - limnigraphe «Stevens» à flotteur, à bande enregistreuse d'une durée de 3 mois, réduction des hauteurs 1/2.
Après septembre 1972, on a installé un limnigraphe du même type qu'au B.V.I.



Déversoir triangulaire du B.V.I.



Déversoir Parshall du B.V.II.



Déversoir Parshall du B.V.III.

L'observateur a contrôlé les appareils quotidiennement, indiquant sur la bande du limnigraphe l'heure de son passage et la hauteur d'eau selon l'échelle fixée dans chaque déversoir.

En principe, les courbes d'étalonnage ne sont pas nécessaires pour les déversoirs triangulaires et les déversoirs Parshall, s'ils sont installés sous des conditions hydrauliques idéales. Cependant, il est toujours à conseiller de vérifier les courbes théoriques sur le terrain, surtout pour les déversoirs Parshall.

La construction des courbes d'étalonnage pour les trois déversoirs a été très difficile étant donné que ces oueds ne sont en crue que quelques heures par année, ce qui permet difficilement l'arrivée à temps de l'équipe de jaugeage. Heureusement, une équipe a réussi à jauger plusieurs crues sur les B.V.II et B.V.III pendant les grandes pluies de 1969. Ces courbes d'étalonnage se sont écartés considérablement des courbes théoriques, surtout pour le B.V.II (Huaux-Deceulener, 1970). On a donc utilisé ces courbes pour les B.V.II et le B.V.III, ce qui a exigé de refaire le dépouillement des crues antérieures à 1965 déjà publiées (Masson et al., 1965). Pour le déversoir triangulaire du B.V.I, les conditions hydrauliques semblent suffisamment bonnes pour qu'on puisse accepter la courbe théorique d'étalonnage, qui peut être exprimée comme suit :

$$q = (1,4 h^2 \sqrt{h}) / 1000$$

où q est le débit en litres/sec. et h est la hauteur de l'eau au dessus de l'apex du triangle.

4.2.2. Dépouillement

Le but du dépouillement a été principalement de déterminer la quantité totale d'eau écoulée pendant chaque crue (Q) et le débit de pointe correspondante. Pour y arriver, on a suivi les étapes suivantes :

1. Classement chronologique, contrôle et mise au point des limnigrammes, indication de la position des coordonnées du niveau d'eau sur le limnigramme en comparaison avec la lecture sur l'échelle.
Lorsqu'une crue en a immédiatement suivi une autre, on ne les a séparé seulement que lorsqu'il y avait une interruption nette entre les deux. Les critères de séparation utilisés étaient un arrêt de pluie d'au moins 2h, la descente du débit à une valeur presque constante et très faible et un comportement semblable des bassins voisins, ceci afin que les crues soient comparables entre les trois bassins versants.
2. La lecture sur le limnigramme de l'heure et de la hauteur d'eau correspondante.
Ces deux variables ont été lues et inscrites dans un formulaire pour des in-

tervalles variant de 5 à 60 minutes, chaque fois qu'il a eu un changement significatif dans la pente du limnigramme. En se servant des courbes d'étalonnage de Huaux-Deceulener que nous avons converties sous forme de tableaux pour faciliter le travail, on a déterminé pour les B.V.II et B.V.III le débit en litres/seconde qui correspond à la hauteur de l'eau.

Pour le dépouillement des limnigrammes du B.V.I, on a dû prendre en considération le volume d'eau temporairement stocké derrière le déversoir triangulaire. Ce volume accumulé par l'eau en mouvement a exigé des calculs supplémentaires*.

3. Les hydrogrammes

Pour présenter les données, on a choisi la méthode graphique qui permet un meilleur contrôle des erreurs, bien qu'une méthode analytique eût probablement été plus exacte et plus facile.

4. Le planimétrage des surfaces des hydrogrammes

La surface totale de l'hydrogramme de la crue planimétrée au préalable a été multipliée par un facteur de conversion pour donner le volume d'eau ruisselée en mètres cubes.

Il est clair que la précision des mesures des trois déversoirs est très différente. La meilleure précision a été obtenue avec le déversoir triangulaire du B.V.I.

Étant donné sa largeur de 8 pieds, le Parshall du B.V.II a donné la précision la moins bonne, surtout dans le cas de faibles débits. En plus, ce Parshall ayant été très fréquemment ensablé pendant les décrues, de ce fait, il a souvent été nécessaire d'estimer une partie du tracé de l'hydrogramme.

4.3. CALCULS

Les résultats du dépouillement des pluies et des crues ont été perforés sur cartes et les calculs des variables figurant sur les tableaux 2, 3 et 4 effectués par un ordinateur. Le ruissellement est exprimé en lame d'eau ruisselée en millimètres et la pointe de crue en litres/seconde/km² pour permettre la comparaison avec la pluie tombée ou la comparaison entre les trois bassins versants.

* Le rapport entre la hauteur de l'eau et le volume stocké est donné par Huaux-Deceulener (1970).

4.4. MESURE DU TRANSPORT SOLIDE

Les techniques possibles pour mesurer le transport de matières en suspension au Djouggar ont été revues par Cormary (1963). Du fait des difficultés pratiques, la méthode employée a été la prise manuelle d'échantillons d'eau pendant les crues. A des intervalles variant de 5 à 15 minutes, un échantillon d'un litre a été prélevé près de la surface d'eau, en amont du déversoir, avec une boîte. Un deuxième échantillon a été pris à environ 10 cm de fond. Au laboratoire, la concentration de matière solide a été déterminée par filtrage, et séchage et pesage. L'examen des données n'ayant pas montré de relation claire entre la concentration des échantillons de surface et de fond, on a donc seulement calculé la valeur moyenne des deux échantillons. A cause des erreurs au laboratoire on n'a pu retenir que les résultats de cinq crues sur le B.V.I. et huit sur le B.V.II.



V. RÉSULTATS ET DISCUSSION

5.1. PRÉCIPITATIONS

D'après la moyenne, les différences de pluviométrie entre les trois bassins versants ne sont pas importantes ; mais par contre, l'hétérogénéité dans le temps est considérable, ce qui est typique de ces régions semi-arides. Étant donné que cette variabilité a déjà été analysée en détail par Elsholz et al., (1973) pour de nombreuses stations, y compris quelques unes de la région du Djouggar, on peut être ici assez bref.

L'appareil dont les observations sont les plus longues et les plus complètes, est le pluviographe du B.V.II pour lequel la pluie journalière et les moyennes mensuelles sont présentées dans l'annexe 1. Les moyennes mensuelles et annuelles pour les trois bassins sont indiquées sur les tableaux 6, 7, et 8 pour les années hydrologiques complètes.

Si l'on compare la pluviométrie moyenne annuelle des trois bassins versants, pour la période allant de septembre 1966 à septembre 1975, on voit qu'à long terme, la différence entre les bassins est faible (B.V.I = 546 mm, B.V.II = 515 mm, B.V.III = 527 mm) alors qu'elle peut être considérable pour des mois particuliers et surtout pour des averses individuelles.

Depuis l'installation du pluviographe sur le B.V.II, l'année la plus humide enregistrée a été 1969 - 1970 avec 757 mm ; par contre, pendant l'année la plus sèche 1966 - 1967, on a seulement enregistré 253 mm. L'analyse des périodes de retour des pluies totales annuelles a été faite par Elsholz et al., (1973, fig. 35) pour 51 ans d'observation sur un pluviomètre situé près des bassins (Djebel Djouggar). Selon Elsholz et al., pour des périodes de retour de 2, 10, et 100 ans, la pluviométrie annuelle est respectivement de 465 mm, 710 mm et 1010 mm, c'est à dire qu'il y a 50 chances sur 100 qu'une année donne plus de 465 mm de pluie, 10 chances sur 100 que la pluie dépasse 710 mm, et 1 chance sur 100 qu'elle dépasse 1010 mm. Il semble que la pluviométrie annuelle pendant la période d'observation des bassins expérimentaux a été assez représentative des conditions à long terme.

Le rapport entre la hauteur de pluie ponctuelle des averses, leur intensité et leur fréquence est indiquée sur la figure 4. Le diagramme représenté sur cette figure peut probablement s'appliquer à une région plus étendue que les bassins versants du Djougar, et il procure ainsi un outil précieux pour la planification des ouvrages de C.E.S. et de petite hydraulique, à condition de tenir compte éventuellement des différences d'altitude importantes.

5.2. RUISSELLEMENT

Les caractéristiques des crues et des pluies qui les ont causées sont présentées par ordre chronologique dans les tableaux 2, 3 et 4 pour toutes les crues enregistrées sur les trois bassins versants. Ces caractéristiques sont définies sur le tableau 5. On peut considérer que cet inventaire des crues est complet (sauf pour les quelques lacunes qui y sont indiquées). La limite inférieure des débits de crue enregistrés n'est pas la même pour les trois bassins, ce qui est dû à la différence de précision des mesures des trois déversoirs.

C'est ainsi que pour les B.V.I et B.V.III, toutes les crues pour lesquelles la lame d'eau écoulée dépasse 0.03 mm figurent sur les tableaux, tandis que pour le B.V.II, ce seuil minimal est d'environ 1.0 mm.

5.2.1. Forme des hydrogrammes

Les hydrogrammes des crues ayant le débit le plus élevé jamais enregistré, sont présentés sur les figures 5.1, 5.2 et 5.3. Bien que les caractéristiques de la pluie aient été pratiquement les mêmes sur les trois bassins, leurs hydrogrammes sont très différents (noter la différence dans l'échelle de l'ordonnée). Le débit du bassin versant cultivé en céréales (B.V.II) est beaucoup plus irrégulier que les deux autres et atteint une pointe 5 fois plus élevée que celle du bassin forestier. Souvent de courtes périodes de pluie intense, qui ne se reflètent même pas sur les hydrogrammes des B.V.I et B.V.III, causent des montées de débit appréciables dans le B.V.II.

La forme de la décrue est une caractéristique importante d'un bassin versant, et se prête à une expression mathématique simple :

$$q = q_0 k^t$$

où q_0 est le débit à un moment donné choisi comme origine du temps, q_t le débit à l'instant «t» et k une constante inférieure à 1,0. Sur papier semi-logarithmique cette équation représente une droite, «q» en ordonnées logarithmiques et «t» en abscisse linéaire.

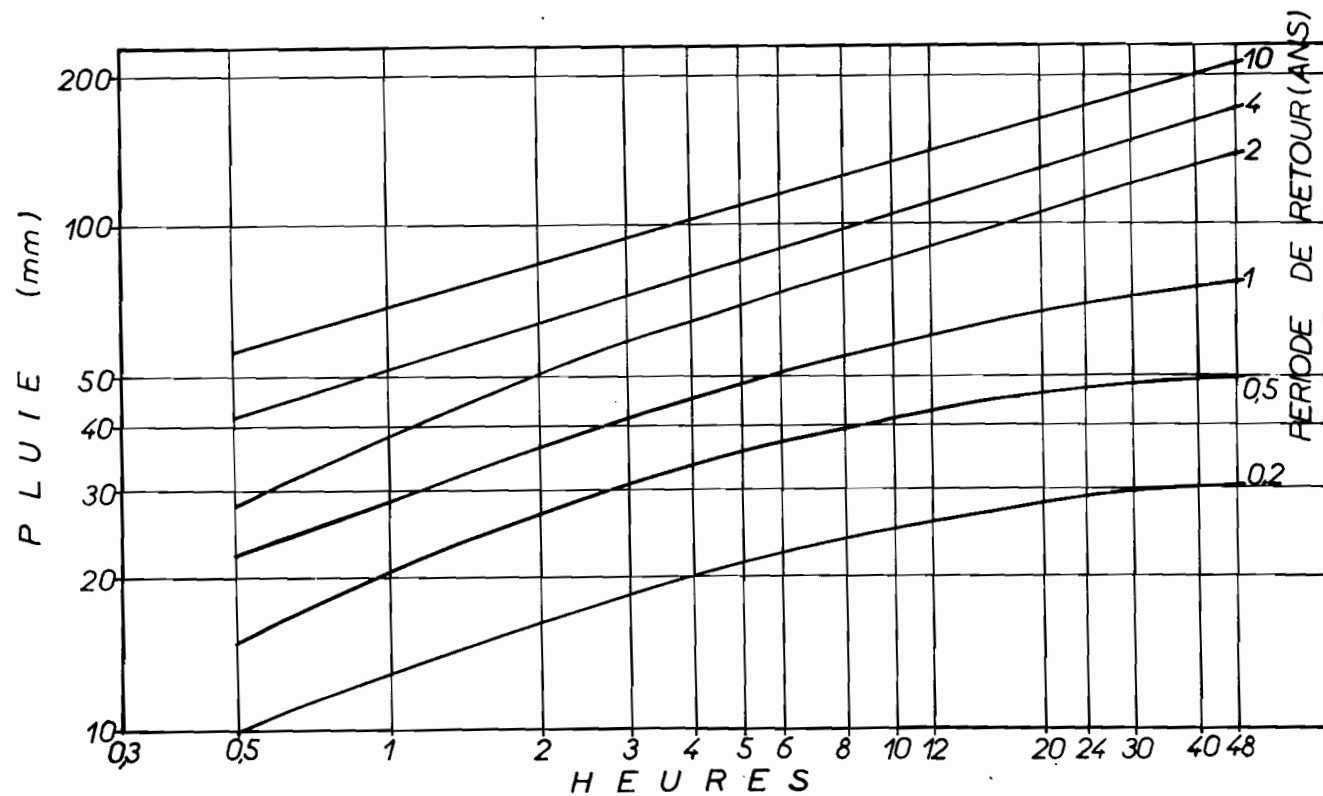


Figure 4. Fonction hauteur-intensité-fréquence des averses. Bassin versant II. Pluviographe N°4131. Période d'observation : du 28/1/1963 au 28/12/1972 (Adapté d'Elsholz et al 1973).

Tableau 2. CARACTÉRISTIQUES DES CRUES OBSERVÉES SUR LE BASSIN VERSANT I.
(1 Septembre 1963 au 31 Août 1975). Pour l'explication des symboles voir le tableau 5. Les lignes en blanc représentent des crues manquantes. Les événements identifiés par un numéro dans la dernière colonne ont été utilisés dans l'étude de régression et dans l'analyse de correspondance (Annexe 3).

DATE			P L U I E							C R U E					INDICE DE LA PLUIE ANTÉCÉDENTE					NR. ANALYSE MULTI-VARIABLE ANNEXE 3
			CODE P ₁₄	P ₂₄ mm	P _c mm	P _a mm	INTENSITÉ I ₁₅ I ₃₀ mm/heure	DEBUT PLUIE heure min	DURÉE PLUIE heures	POINTE q _{max} l/s/km ²	TOTAL RUISSELE Q mm	DEBUT CRUE heure min	DURÉE CRUE heures	COEFF. RUISSELE Q/P _c						
J	M	A													A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	
14	5	63	C	44.4											49.	65.	21.	43.	53.	
15	5	63	C	4.2	4.0	C.C	8.8	8.0	17.20.	0.33	40.	0.082	20.30.	28.00	0.020					
19	5	64	C	17.6																
14	10	62	C	21.6	21.4	1.1	25.6	20.8	4. C.	4.75	138.	0.348	5. 0.	7.00	0.011	8.	12.	5.	8.	9.
10	12	62	C	23.2	10.2	12.1	5.2	4.0	3.20.	3.67	18.	0.035	3.30.	3.50	0.003	20.	20.	15.	16.	18.
20	12	62	C	22.0	5.7	11.6	12.0	5.0	1. 0.	2.75	45.	0.143	1.10.	2.83	0.015	22.	36.	18.	24.	29.
27	12	62	C	19.1	14.2	4.2	20.6	12.2	21.25.	4.50	105.	0.200	21.30.	7.50	0.014	40.	47.	22.	34.	40.
17	1	64	C	14.1	12.5	0.5	12.4	10.0	17.55.	4.00	25.	0.103	18.40.	10.13	0.308	2.	2.	1.	1.	2.
24	1	64	C	15.4	16.5	2.7	5.2	5.2	19.30.	11.50	25.	0.280	20. 0.	14.33	0.017	20.	21.	8.	14.	17.
22	1	64	C	28.0	27.0	C.C	10.4	0.0	0.10.	19.03	135.	1.220	10.20.	23.67	0.045	36.	37.	23.	28.	32.
27	1	64	C	81.7	81.1	2.1	12.8	10.8	11.15.	56.00	605.	7.115	15. 0.	52.92	0.088	33.	69.	15.	37.	51.
15	2	64	C																	2
25	2	64	C																	
10	4	64	C																	
29	6	64	C	36.1	37.6	C.C	62.8	52.8	15.10.	2.33	83.	0.193	15.15.	1.25	0.005	30.	40.	13.	27.	33.
30	10	64	C	164.2	164.2	C.C	24.4	32.4	7. C.	20.25	2100.	24.625	8. 0.	39.00	0.150	16.	106.	28.	54.	76.
6	1	65	C	51.2	27.5	22.7	5.4	8.8	17.50.	10.67	218.	0.615	0.30.	10.00	0.022	26.	26.	26.	23.	24.
20	1	65	C	13.4	6.2	2.7	4.6	4.8	23.30.	9.25	8.	0.058	0.45.	9.25	0.307	19.	39.	9.	21.	29.
Pas d'observation du 1 - 1 - 1966 au 4 - 5 - 1966																				
16	10	66	C	25.4	20.0	5.4	5.6	0.0	15.40.	5.33	5.	0.090	17.30.	14.00	0.302	9.	13.	10.	10.	11.
21	11	67	C	57.2	15.0	0.0	7.2	6.4	7.45.	5.50	3.	0.012	10.10.	3.25	0.001	14.	14.	14.	13.	13.
22	11	67	C	71.2	10.0	21.2	26.0	20.2	1.20.	4.42	62.	0.190	2.30.	10.00	0.005	35.	35.	35.	32.	33.
25	5	65	C	35.2	25.3	0.0	38.4	30.0	22.50.	3.42	12.	0.017	0.30.	0.75	0.001	16.	21.	7.	14.	17.
25	5	65	C	36.3	16.8	C.C	36.0	24.0	12.15.	3.25	80.	0.170	13.20.	4.17	0.004	52.	57.	41.	45.	50.

25	5	65	C	36.3	3.5	15.1	14.0	7.0	17.15	0.25	3.	0.003	17.30	3.00	0.001	71.	76.	59.	61.	68.
25	5	65	C	36.2	3.1	15.7	15.4	15.4	20.30	1.50	38.	0.005	20.30	2.83	0.010	75.	80.	63.	65.	72.
26	5	65	2	62.7	11.8	21.3	15.0	5.8	6.	0.	3.	0.013	6.15	6.25	0.001	82.	87.	71.	72.	79.
26	5	65	C	20.4	14.1	7.7	12.0	6.0	15.45	5.67	10.	0.037	17.25	4.58	0.003	90.	100.	65.	79.	88.
27	5	65	C	15.6	6.1	6.0	20.0	12.0	7.20	1.67	32.	0.072	7.15	3.25	0.009	100.	113.	58.	87.	99.
27	5	65	C	21.1	11.4	5.4	16.8	12.0	14.0	3.75	30.	0.062	15.30	1.75	0.005	109.	122.	68.	95.	108.
1	10	65	C	17.1	16.9	6.0	22.4	25.2	15.10	1.33	23.	0.040	15.25	2.25	0.002	47.	129.	73.	69.	95.
5	10	65	C	46.1	30.2	6.0	52.0	36.0	21.20	5.33	217.	0.450	21.30	7.17	0.012	17.	100.	13.	43.	66.
6	10	65	2	125.8	38.3	46.8	31.4	35.55	22.33	2177.	17.375	4.50	28.92	0.139	55.	138.	52.	77.	102.	
10	10	65	C	11.5	11.5	6.0	15.6	11.6	15.40	3.58	18.	0.050	21.55	5.08	0.004	164.	181.	42.	112.	143.
16	10	65	C	22.0	17.3	5.2	27.2	26.0	15.40	1.17	350.	0.535	15.45	3.92	0.031	10.	138.	22.	56.	88.
10	10	65	C	71.4	70.4	1.0	25.2	21.6	14.0	10.75	680.	8.860	19.0	16.33	0.176	29.	34.	8.	21.	27.
22	10	65	C	11.5	7.2	4.1	4.4	4.2	15.30	4.25	23.	0.380	21.0	13.00	0.053	80.	108.	81.	85.	96.
25	10	65	C	12.1	12.0	6.0	11.2	11.2	12.5	3.42	32.	0.145	12.30	10.00	0.012	84.	112.	26.	68.	87.
26	10	65	C	12.5	12.6	6.0	7.2	5.0	14.40	10.08	43.	0.250	21.30	14.50	0.020	96.	124.	33.	72.	94.
27	10	65	2	81.2	81.2	6.0	26.4	22.4	17.0	23.67	1927.	19.450	19.30	48.50	0.240	38.	114.	34.	69.	89.
29	10	65	C	10.6	10.6	6.0	12.6	7.0	18.35	6.92	45.	0.300	20.0	7.42	0.028	107.	193.	65.	122.	153.
18	11	65	C	17.6	17.3	6.0	48.8	32.0	17.30	1.08	67.	0.182	17.30	10.00	0.011	0.	0.	0.	0.	0.
19	12	65	C	37.7	15.5	10.3	20.0	14.8	13.45	3.08	73.	0.310	14.15	6.42	0.019	19.	19.	18.	17.	18.
19	12	65	C	37.7	7.0	26.2	4.4	3.6	18.25	3.67	5.	0.050	20.40	7.75	0.007	35.	35.	34.	31.	33.
5	12	65	C	13.2	12.6	6.0	16.8	13.2	14.20	2.92	12.	0.050	14.50	6.42	0.004	4.	5.	1.	3.	4.
9	12	70	C	35.6	35.6	6.0	27.2	26.0	18.15	4.00	13.	0.028	20.5	3.83	0.001	0.	0.	0.	0.	0.
20	12	70	2	86.8	64.7	6.7	11.2	5.2	16.45	15.75	20.	0.202	17.50	15.33	0.003	4.	29.	6.	16.	22.
21	12	70	C	26.3	26.3	5.2	8.8	8.0	17.0	4.75	17.	0.092	17.40	7.32	0.005	65.	93.	69.	72.	82.
9	2	71	C	118.0	9.0															
11	2	71	C	9.0																
15	2	71	C	32.8	32.8	6.0	6.8	5.2	15.45	11.00	20.	0.395	17.55	19.08	0.012	4.	131.	16.	49.	81.
23	2	71	C	24.2	22.0	6.0	8.0	6.8	18.30	10.25	28.	0.400	19.20	12.17	0.017	41.	43.	12.	29.	35.
24	2	71	2	56.5	7.6	25.6	4.8	3.3	6.15	6.75	15.	0.250	7.30	10.50	0.037	65.	67.	36.	50.	58.
24	2	71	C	31.3	24.9	6.2	7.2	6.2	16.30	8.25	170.	2.630	18.0	27.00	0.106	69.	73.	39.	53.	62.
11	5	71	C	40.2	36.3	6.0	15.6	51.8	13.15	1.08	53.	0.223	13.45	9.75	0.006	1.	3.	1.	2.	7.
2	10	71	C	25.0	21.6	3.4	12.0	5.6	0.10	9.58	5.	0.015	0.45	3.42	0.001	21.	24.	17.	20.	22.
2	10	71	C	57.4	53.6	2.0	26.4	20.4	15.45	15.25	53.	0.277	16.20	15.42	0.005	42.	77.	38.	53.	63.
30	12	71	C	31.7	30.6	6.0	5.6	5.0	6.45	9.50	20.	0.048	8.50	8.33	0.002	19.	19.	11.	15.	17.
23	1	72	C	34.5	16.1	4.4	8.0	7.4	21.45	4.00	3.	0.013	23.15	5.17	0.001	6.	8.	7.	7.	8.
24	1	72	C	34.5	14.4	20.5	20.0	16.0	3.	0.	22.	0.038	4.25	2.17	0.003	23.	25.	23.	21.	23.
24	1	72	C	24.5	11.2	6.0	8.0	7.6	10.40	4.58	13.	0.075	11.45	4.25	0.007	37.	39.	36.	34.	36.
24	1	72	C	24.5	12.3	11.6	4.0	4.0	17.45	7.75	5.	0.027	23.0	6.00	0.002	49.	51.	48.	45.	47.
4	2	72	C	25.8	24.6	6.0	8.8	6.4	13.45	9.75	10.	0.070	15.30	9.50	0.003	7.	28.	7.	15.	21.
5	2	72	C	6.2	7.4	6.5	8.0	7.4	14.10	2.58	3.	0.017	14.50	7.17	0.002	34.	49.	31.	36.	41.
17	2	72	2	25.2	15.1	10.1	5.6	4.4	1.10	10.42	7.	0.063	3.20	11.67	0.003	30.	30.	15.	22.	26.
26	3	72	C	125.8	118.0	6.2	23.2	22.0	14.45	23.00	555.	18.260	15.30	33.50	0.155	20.	50.	11.	26.	35.
26	3	72	C	22.3																
18	4	72	C	40.2	35.8	6.3	7.2	5.6	3.45	20.00	7.	0.097	13.40	20.82	0.002	9.	9.	3.	6.	8.
5	12	72	C	100.6	100.6	6.0	20.8	17.4	4.45	15.50	278.	2.940	5.35	27.42	0.030	18.	21.	9.	16.	18.
12	12	72	C	100.0	116.2	3.8	15.2	18.4	25.15	27.00	1607.	26.800	0.20	60.33	0.231	10.	124.	26.	62.	88.
23	2	72	C	24.6	18.7	5.7	7.6	4.4	5.30	5.33	8.	0.055	6.15	7.25	0.003	16.	20.	16.	16.	18.
4	2	72	C	65.8	68.8	6.5	22.6	18.6	12.0	11.00	142.	0.927	13.20	10.67	0.013	14.	14.	14.	13.	13.
5	2	72	C	65.8	9.1	72.7	5.0	5.0	2.0	5.00	6.	0.025	4.40	3.00	0.003	85.	85.	85.	76.	80.
16	2	72	C	15.3	16.0	1.3	10.4	8.0	21.00	5.50	52.	0.225	23.10	7.25	0.017	17.	36.	15.	22.	28.
17	2	72	C	14.4	4.2	1.3	12.2	7.6	12.10	0.67	3.	0.025	12.36	6.00	0.106	36.	43.	27.	33.	39.
17	2	72	C	14.4	4.0	7.6	5.6	4.0	21.0	1.33	6.	0.020	21.30	3.50	0.004	43.	50.	34.	39.	44.
18	2	72	C	6.5	5.9	6.0	3.2	2.8	7.0	4.00	2.	0.013	8.10	4.83	0.107	43.	56.	29.	41.	48.
6	2	72	C	37.1	27.5	5.2	11.2	10.4	6.30	6.50	45.	0.447	2.30	8.50	0.016	12.	20.	13.	14.	16.

(300.) {5.0}

{0.01}

(0.20)

Tableau 3. CARACTÉRISTIQUES DES CRUES OBSERVÉES SUR LE BASSIN VERSANT II.
(1 Septembre 1963 au 31 Août 1975). Pour l'explication des symboles voir le tableau 5. Les lignes en blanc repré-
sentent des crues manquantes. Les événements identifiés par un numéro dans la dernière colonne ont été utilisé
dans l'étude de régression et dans l'analyse de correspondance (Annexe 3).

DATE			CODE P.	PLUIE						CRUE					INDICE DE LA PLUIE ANTÉCÉDENTE					NR. ANALYSE MULTI-VARIABLE ANNEXE 3
				P ₂₄	P _c	P _a	INTENSITÉ		DÉBUT PLUIE	DURÉE PLUIE	POINTE q _{max}	TOTAL RUISSELE Q _{mm}	DÉBUT CRUE	DURÉE CRUE						
							I ₁₅	I ₃₀							A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	
J	M	A	mm	mm	mm	mm/heure	heure min	heures	l/s/km ²	Q _{mm}	heure min	heures		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅		
15	5	63	C	5.5	5.4	C.C	1.0 10.0	17.23.	0.42	1421.	2.324	17.30.	3.00	0.431	37.	52.	17.	33.	42.	
Observations incomplètes du 11 - 10 - 1963 au 31 - 1 - 1964																				
27	8	64	C	17.0	14.5	C.C	6.0 4 3.3	16.45.	0.42	3292.	4.087	16.45.	2.25	0.242	21.	24.	8.	17.	20.	21
29	8	64	C	20.1	27.0	C.C	8.0 5 5.0	15.10.	2.33	1723.	10.147	15.10.	2.58	0.270	29.	42.	13.	28.	34.	22
30	10	64	C	164.2	164.3	C.C	34.4 34.4	7. 0.	20.25	3612.	68.673	8.17.	22.72	0.418	15.	23.	16.	17.	20.	
5	1	65	C	45.6	22.9	C.C	16.0 10.4	7. 0.	8.00	340.	1.259	14.50.	1.92	0.055	3.	3.	3.	3.	3.	
6	1	65	C	45.6	18.5	C.C	11.2 6.0	18. 0.	10.00	643.	2.976	0.30.	3.50	0.157	30.	30.	37.	27.	28.	
20	1	65	C	10.4						(2.6)										
21	1	65	C	3.5	3.5	C.C	6.0 4.4	15.55.	2.03	332.	0.535	16.20.	2.47	0.153	17.	52.	13.	28.	34.	
14	2	65	C	21.0	20.5	C.C	41.0 25.0	21.45.	26.17	941.	0.550	22.30.	1.42	0.026	1.	1.	1.	1.	1.	
20	2	65	C	14.1	13.9	C.C	24.8 20.4	15.45.	1.58	2129.	2.222	16. 5.	2.58	0.160	22.	22.	22.	20.	21.	
3	5	65	C	18.4	18.3	C.C	27.0 25.0	14.30.	2.05	1742.	2.198	21.15.	2.25	0.120	6.	6.	5.	5.	6.	
31	10	65	C	26.6	26.6	C.C	57.0 45.2	16.35.	0.42	2525.	1.604	16.55.	0.33	0.071	8.	14.	9.	10.	12.	
Pas d'observation du 1 - 1 - 1966 au 4 - 5 - 1966																				
21	11	67	C	57.0	15.6	C.C	7.0 6.4	7.45.	5.50	624.	3.386	10.20.	5.67	0.171	14.	14.	14.	13.	13.	23
22	11	67	C	57.0	26.0	C.C	26.0 20.0	1.20.	4.42	2871.	14.376	2. 0.	7.00	0.399	35.	35.	35.	32.	33.	
25	5	65	C	26.7	23.0	C.C	25.0 16.4	22.55.	3.00	2178.	4.723	0.20.	3.67	0.198	14.	20.	6.	13.	16.	
25	5	65	C	35.5	24.2	C.C	30.8 31.0	12.10.	3.33	3663.	10.218	13.20.	4.08	0.422	41.	47.	31.	36.	41.	
25	5	65	C	35.5	27.7	C.C	14.4 7.4	17.15.	0.50	1406.	1.723	17.25.	3.08	0.466	66.	72.	56.	58.	64.	
25	5	65	C	35.5	7.3	C.C	15.6 13.0	20.25.	1.53	1743.	2.317	20.35.	2.42	0.317	70.	76.	60.	61.	68.	
26	5	65	C	55.2	11.7	35.6	16.0 9.4	5.45.	3.75	1822.	4.277	6.20.	4.33	0.366	77.	83.	67.	68.	75.	
26	5	65	C	26.9	16.7	8.0	16.4 10.2	15.40.	5.58	2079.	6.267	17.20.	4.67	0.375	85.	95.	65.	76.	85.	
27	5	65	C	14.2	5.6	C.C	14.0 8.0	7. 5.	1.50	1168.	1.931	7.20.	2.83	0.333	96.	108.	58.	84.	95.	
27	5	65	C	14.2	8.0	5.5	7.0 7.0	14.10.	3.50	1485.	4.158	14.10.	9.50	0.484	107.	114.	64.	89.	101.	
1	10	65	C	13.1	13.0	C.C	36.0 24.4	15.15.	1.25	4604.	4.752	15.35.	2.56	0.366	41.	118.	20.	63.	87.	
5	10	65	C	51.4	43.2	C.C	54.4 52.0	21.20.	5.03	3465.	11.168	21.45.	6.58	0.259	13.	94.	12.	39.	61.	24
6	10	65	C	175.1	132.6	C.C	39.2 31.0	3.50.	22.25	11386.	89.287	4.20.	24.67	0.673	56.	137.	55.	78.	102.	25
10	10	65	C	25.0	24.0	C.C	30.0 22.0	14.50.	3.58	6386.	13.307	20. 0.	3.92	0.537	175.	188.	45.	119.	150.	
16	10	65	C	14.6	9.0	5.6	20.8 13.4	15.30.	1.33	1129.	3.015	15.15.	2.83	0.335	10.	159.	24.	66.	102.	
21	10	65	C	63.8	55.6	2.4	23.0 16.0	17.45.	12.00	4579.	36.238	18. 5.	14.58	0.608	71.	25.	8.	16.	20.	26
22	10	65	C	11.5	8.5	2.5	4.0 3.0	14. 0.	28.42	485.	3.208	19.40.	5.08	0.377	71.	90.	71.	73.	81.	
25	10	65	C	10.8	10.5	C.C	11.2 10.4	12.15.	3.25	1535.	3.861	12.30.	4.00	0.364	76.	95.	23.	59.	75.	
26	10	65	C	14.6	12.7	1.5	7.0 6.3	14.35.	9.42	624.	3.624	19.55.	6.25	0.285	89.	108.	31.	64.	83.	
27	10	65	C	87.0	80.5	C.C	30.0 21.4	17. 5.	21.92	7426.	51.653	19.30.	20.50	0.594	34.	106.	34.	65.	83.	27
29	10	65	C	15.3	15.0	C.C	14.8 13.0	20. 5.	4.92	1624.	5.272	20.40.	6.32	0.351	114.	193.	68.	125.	155.	
31	10	65	C	2.0	2.0	C.C	5.0 2.3	12.40.	1.38	990.	1.277	13.40.	1.83	0.639	118.	205.	43.	112.	151.	
1	11	65	C	2.5	3.4	C.C	5.0 4.8	10.45.	1.00	752.	1.129	11.10.	1.50	0.332	105.	143.	30.	83.	109.	
18	11	65	C	17.2	10.5	C.C	40.0 30.4	17. 5.	1.17	2356.	3.356	17.40.	2.42	0.199	0.	0.	0.	0.	0.	
24	11	65	C	17.7	7.6	C.C	8.0 7.6	15.40.	2.08	396.	1.188	14.25.	6.17	0.156	8.	8.	7.	7.	8.	

19	12	65	0	17.7	6.0	6.1	5.2	5.0	19.15	2.42	535	1.188	20.40	1.83	0.198	16	16	15	14	13
5	1	10	0	12.0	15.0	6.0	10.0	12.4	14.20	2.92	257	0.698	15.30	2.83	0.050	3	4	1	3	3
5	12	10	0								(8370)(70)									
20	12	70	0	52.8	52.0	6.2	15.2	5.2	16.30	15.75	2302	4.2653	18.0	17.50	0.811	6	23	4	13	17
21	12	70	0	15.5	12.7	2.5	4.0	4.0	17.0	0	1024	13.612	17.35	6.33	1.008	52	75	56	54	66
22	12	71	0	117.8	114.8	5.0	15.2	15.0	12.30	18.00	3243	91.099	14.20	20.83	0.794	15	15	5	10	12
11	2	71	0	6.2	6.2	6.0	4.0	3.0	7.0	0	1089	3.594	8.20	3.67	0.570	117	129	57	98	113
19	2	71	0	22.1	21.0	6.1	4.0	4.4	15.45	10.75	1545	21.832	17.25	12.08	1.101	2	125	14	46	77
21	2	71	0	4.4	5.0	6.2	6.0	6.0	13.45	0.67	1901	3.059	14.5	2.92	1.070	24	30	12	21	25
22	2	71	0	1.0	1.4	6.0	5.0	5.0	16.45	0.50	2005	17.257	19.30	10.17	1.392	27	28	8	19	23
24	2	71	0	40.6	40.0	5.0	12.4	5.2	6.45	6.75	624	5.375	7.15	5.42	0.476	39	40	20	30	35
24	2	71	0	26.6	22.4	4.2	6.4	6.4	16.30	4.25	2178	26.644	16.50	11.17	1.189	43	45	23	32	38
2	10	71	0	41.0	10.0	4.0	14.4	6.4	25.50	4.00	792	3.847	7.15	5.25	0.229	22	29	17	22	25
2	10	71	0	60.5	56.2	4.7	25.0	16.4	15.30	15.25	2436	19.931	17.5	14.52	0.355	38	50	34	38	44
6	10	71	0	16.2	16.1	6.0	11.2	6.4	10.45	7.25	2031	5.350	10.50	11.17	0.314	95	112	30	71	99
7	10	71	0	55.4	50.5	10.2	25.2	20.0	14.30	5.25	1941	5.525	16.55	5.56	0.182	70	71	20	19	20
26	11	71	0	25.0	20.5	6.5	16.0	15.0	14.30	5.75	1087	5.381	17.15	5.75	0.047	1	1	0	0	0
1	12	71	0	31.2	27.4	6.0	11.2	10.4	15.30	4.50	1010	8.254	16.50	15.17	0.215	24	24	8	18	21
20	12	71	0	35.0	35.0	6.0	10.0	5.0	6.20	15.75	1010	8.254	8.45	14.58	0.244	22	22	12	17	20
2	13	0	0	20.7	12.4	5.5	5.0	5.8	21.45	3.56	360	2.436	22.0	5.67	0.156	6	7	6	6	6
24	1	13	0	20.7	10.4	10.5	10.0	10.0	2.45	3.75	1307	4.574	4.40	7.58	0.440	15	19	18	17	18
24	1	13	0	21.5	10.1	6.0	7.0	6.4	16.50	5.75	871	6.173	11.15	7.75	0.612	29	30	28	26	29
24	1	13	0	21.5	11.1	10.2	4.0	4.0	18.15	0.92	594	7.515	19.0	14.00	0.477	39	40	38	36	38
25	1	13	0	1.4	5.5	6.0	6.4	4.0	15.0	3.25	507	2.772	15.40	7.83	0.509	51	52	36	43	47
26	1	13	0	1.5	6.0	6.0	6.4	5.0	12.45	1.55	287	1.960	13.30	7.60	0.427	55	57	13	36	45
29	1	13	0	6.0	5.5	6.0	6.4	5.0	14.45	1.97	257	2.445	15.10	6.43	0.423	36	65	19	39	51
4	12	0	0	21.2	20.0	6.0	5.0	5.2	13.40	4.55	1198	15.594	15.0	12.50	0.520	5	26	5	13	19
5	12	0	0	2.2	5.0	6.2	5.2	5.2	14.15	2.25	187	1.767	15.0	4.60	0.549	36	50	35	38	43
17	2	13	0	20.5	10.5	10.0	4.0	4.4	6.55	13.42	954	4.267	3.50	12.83	0.400	28	28	15	21	24
20	2	13	0	114.1	111.8	6.0	20.0	17.0	15.0	22.75	2240	119.436	15.30	39.50	1.008	19	49	11	25	35
26	2	13	0	21.4	22.5	6.0	5.0	5.2	6.0	17.00	1307	41.525	7.0	28.67	1.413	126	135	71	106	120
30	2	13	0	7.5	5.5	1.5	15.0	10.0	13.15	0.50	1463	7.642	13.20	6.67	1.480	129	147	42	97	120
18	4	13	0	42.1	41.0	6.0	6.4	5.0	3.30	23.05	564	12.193	12.50	15.17	0.292	8	9	2	6	7
18	4	13	0	15.5	15.0	6.0	4.4	4.6	14.55	1.33	267	2.436	15.0	8.92	0.159	9	9	2	6	7
26	10	13	0	20.0	20.0	6.0	6.0	6.4	7.0	12.25	230	5.257	8.50	15.08	0.184	23	23	23	21	22
5	12	13	0	130.0	130.0	6.0	58.0	29.4	4.15	16.25	3936	79.455	5.40	21.33	0.503	12	14	6	11	12
12	12	13	0	55.5	57.4	2.4	10.0	15.2	22.15	27.50	4530	134.822	0.10	31.67	1.388	11	127	27	62	88
22	2	14	0	20.6	20.0	5.0	12.0	10.2	4.30	5.75	1225	9.074	6.0	6.00	0.440	16	18	14	16	16
4	4	14	0	11.0	10.0	6.0	5.2	2.0	19.15	5.25	121	0.891	21.20	3.17	0.386	15	15	4	10	12
11	4	14	0	4.0	2.0	6.0	11.2	5.0	14.15	0.05	103	0.867	14.40	3.32	0.302	2	16	4	9	12
29	5	14	0	50.6	50.0	6.0	21.0	21.0	20.20	3.33	1405	4.694	21.50	3.90	0.149	2	2	0	1	2
10	10	14	0	8.2	7.7	6.4	21.0	10.2	15.50	6.97	390	1.426	20.0	4.00	0.185	4	5	1	3	4
14	10	14	0	20.5	20.4	6.0	25.2	21.0	18.50	11.17	1551	7.310	20.10	13.83	0.444	9	12	3	7	9
6	11	14	0	14.5	14.0	6.0	7.2	6.4	7.45	3.75	871	6.267	10.20	4.67	0.432	13	19	14	14	16
7	11	14	0	12.2	12.1	6.0	5.0	4.0	10.0	7.75	945	6.743	11.55	4.38	0.257	27	33	21	26	29
4	12	0	0	50.5	48.7	6.0	25.0	27.2	10.40	10.38	465	34.368	13.15	15.50	0.387	10	10	9	9	9
5	12	0	0	50.5	48.7	6.0	25.0	27.2	2.45	4.25	702	4.277	4.50	4.92	0.446	68	98	98	91	91
6	12	0	0	14.4	14.0	6.0	19.2	12.0	11.25	6.33	1644	10.034	12.0	8.00	0.726	112	112	57	91	101
7	12	0	0	13.0	13.0	6.0	14.0	5.0	8.25	1.25	485	2.317	1.90	3.50	0.610	127	127	72	124	115
12	2	15	0	6.1	5.0	6.0	11.2	6.4	13.40	1.50	483	2.168	14.40	2.17	0.307	4	138	20	64	95
15	2	15	0	10.4	7.0	6.2	2.0	2.0	1.0	5.75	163	1.624	21.30	4.17	0.295	10	39	8	29	23
16	2	15	0	12.5	15.0	6.0	5.0	5.0	22.45	5.17	1591	11.931	23.59	5.32	0.792	17	43	15	24	32
17	2	15	0	10.4	6.0	1.8	14.2	10.0	14.15	3.47	1551	6.980	12.25	4.38	1.163	33	41	25	31	36
17	2	15	0	10.4	5.0	6.0	7.0	2.0	20.40	1.95	792	5.135	21.30	5.32	0.718	41	49	32	37	42
18	2	15	0	5.0	4.5	6.0	5.0	2.0	7.0	3.00	707	5.702	8.15	4.75	1.201	47	56	29	41	48
2	2	15	0	20.5	20.2	10.2	5.0	5.0	6.35	6.25	1551	26.435	2.30	10.00	0.417	13	18	14	14	16

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

Tableau 4. CARACTÉRISTIQUES DES CRUES OBSERVÉES SUR LE BASSIN VERSANT III.

(1 Septembre 1966 au 31 Août 1975). Pour l'explication des symboles voir le tableau 5. Les lignes en blanc représentent des crues manquantes. Les événements identifiés par un numéro dans la dernière colonne ont été utilisés dans l'étude de régression et dans l'analyse de correspondance (Annexe 3).

DATE			P L U I E						C R U E				INDICE DE LA PLUIE ANTECEDENTE					NR ANALYSE MULTI-VARIABLE ANNEXE 3		
			CODE P ₁₄	P ₂₄	P _c	P _a	INTENSITE I ₁₅ I ₃₀	DEBUT PLUIE	DUREE PLUIE	POINTE q _{max}	TOTAL RUISSELE Q	DEBUT CRUE							DUREE CRUE	COEFF. RUISSELE Q/P _c
J	M	A	mm	mm	mm	mm/heure	heure min	heures	l/s/km ²	mm	heure min	heures	mm							
22	11	67	C	66.2	41.1	24.8	31.2 23.6	1.15	4.00	235.	1.624	2. 0.	13.00	0.040	39.	39.	39.	35.	37.	38
23	5	65	C	27.6	2.2	C.0	24.0 22.0	22.40.	3.25	6.	0.014	0.10.	7.33	0.301	26.	34.	10.	22.	28.	
23	5	65	C	17.7	10.7	C.0	21.2 11.0	12. 0.	2.50	2.	0.009	12. 0.	6.00	0.301	53.	61.	35.	45.	52.	
26	5	65	C	41.2	11.5	16.8	16.8 11.8	5.40.	5.30	13.	0.060	8.50.	8.42	0.005	71.	79.	52.	61.	69.	
27	5	65	C	16.7	8.7	1.8	15.0 10.8	14.45.	3.25	6.	0.004	14.45.	4.50	0.005	76.	98.	49.	72.	84.	
1	10	65	C	12.2	12.1	C.0	36.0 15.6	15. 5.	1.00	19.	2.113	15.10.	4.83	0.309	35.	101.	17.	51.	72.	
5	10	65	C	36.6	27.2	C.0	36.4 21.4	21.45.	5.67	1047.	3.353	21.45.	5.67	0.123	12.	65.	9.	29.	43.	39
6	10	65	C	157.5	130.3	27.2	41.4 25.0	4.15.	22.83	5353.	44.824	4.45.	25.50	0.344	39.	92.	36.	53.	69.	40
10	10	65	C	36.6	36.0	C.0	24.4 20.0	20. 0.	3.50	1471.	6.971	20.45.	13.25	0.194	158.	170.	41.	108.	136.	41
16	10	65	C	17.4	10.0	7.4	12.0 15.2	15.20.	1.00	19.	0.131	15.30.	5.33	0.013	12.	170.	28.	73.	112.	
21	10	65	C	106.3	100.5	5.8	54.4 62.0	21. 0.	9.25	2794.	16.271	21. 0.	14.42	0.162	29.	34.	12.	22.	27.	42
22	10	65	C	22.0	15.6	C.0	26.0 14.0	19.15.	4.33	141.	1.059	19.20.	5.75	0.068	118.	140.	113.	115.	127.	
25	10	65	C	11.8	11.8	C.0	6.8 8.6	12.25.	3.42	7.	0.052	12.30.	5.83	0.004	128.	151.	37.	95.	120.	
27	10	65	C	5.7	5.5	C.0	30.0 26.0	17.10.	21.33	1824.	26.365	21.50.	27.17	0.282	50.	155.	38.	90.	118.	43
28	10	65	C	9.7	9.4	1.4	5.6 5.8	0.50.	0.32	4.	0.028	1.35.	9.42	0.109	116.	246.	83.	151.	192.	
31	10	65	C	2.7	2.7	C.0	6.8 3.8	12.46.	0.42	5.	0.029	13.30.	5.63	0.011	107.	247.	45.	124.	175.	
16	11	65	C	10.2	10.6	C.0	44.0 35.2	17.30.	0.42	38.	0.104	17.30.	3.25	0.006	0.	0.	0.	0.	0.	
9	12	70	0	109.0	108.8	0.0	43.2 39.6	18.35.	4.00	4347.	22.518	19.20.	11.18	0.207	0.	0.	0.	0.	0.	44
2	12	70	0	62.0							(0.65)									
2	12	71	C	131.5	125.7	2.6	22.4 20.8	12.45.	18.50	680.	3.935	20.52.	15.63	0.031	21.	21.	7.	13.	17.	45
4	2	71	C	10.5	21.4	C.0	5.2 6.0	15.50.	10.92	16.	0.269	16.25.	15.58	0.009	4.	141.	18.	53.	97.	46
23	2	71	C	25.4	22.6	C.0	7.6 6.4	18.30.	10.25	15.	0.293	20. 0.	11.42	0.013	43.	44.	14.	30.	37.	
24	2	71	C	55.3	55.5	23.6	4.6 3.4	5.45.	6.75	2.	0.011	9.35.	4.58	0.002	66.	67.	37.	51.	59.	
24	2	71	C	30.5	20.0	6.7	5.6 6.8	16.33.	8.25	200.	1.899	19.40.	11.83	0.073	69.	73.	39.	53.	62.	
2	10	71	C	12.2	9.0						(0.0)									
2	10	71	C	59.0	59.0						(3.2)									
20	12	71	C	27.5	35.2	C.0	10.4 10.4	6.45.	9.50	4.	0.062	14.15.	2.92	0.007	20.	20.	11.	16.	18.	47
4	2	73	C	27.8	20.1	C.0	12.8 8.0	13.30.	8.07	5.	0.034	18.55.	27.58	0.001	6.	27.	6.	15.	20.	
26	2	73	C	121.5	115.8	0.5	22.0 30.8	15. 0.	22.50	682.	14.315	15.50.	32.50	0.119	15.	46.	12.	23.	32.	48
26	2	73	C	24.0							(1.2)									
30	2	73	C	6.4	4.7	0.7	5.2 5.4	13.10.	0.58	19.	0.448	13.20.	8.67	0.095	151.	161.	49.	109.	133.	
18	4	72	C	35.1	24.9	C.0	5.6 4.4	4.50.	18.07	14.	0.611	13.30.	16.50	0.017	10.	10.	3.	7.	8.	49
9	12	72	C	100.4	120.1	C.0	58.0 25.4	4.15.	16.25	129.	2.431	11.20.	16.67	0.018	12.	14.	6.	11.	12.	50
12	12	73	C	55.5	57.1	2.4	16.0 15.2	23.15.	27.50	529.	10.144	2. 5.	28.42	0.104	11.	122.	27.	62.	88.	51
4	2	75	C	81.2	78.4	0.4	25.8 20.8	11.15.	11.25	12.	0.081	15.20.	7.17	0.001	7.	7.	7.	7.	7.	52

Tableau 5. DÉFINITIONS DES VARIABLES

Variable N°	Symbole	Définition
1	Date	La journée indique le début de la crue.
		Pluie
	Code P_{24}	Un code se référant à la variable P_{24} : 0 = P_{24} est la pluie de 24 heures (7 heures à 7 heures), 2 = P_{24} est la pluie de 48 heures, 3 = P_{24} est la pluie de 72 heures
	P_{24}	La quantité de pluie mesurée entre 7 heures du matin et 7 heures du matin suivant, en millimètres. Lorsqu'il pleuvait à 7 heures et qu'une crue était en cours, on a fait la somme de la pluie pour 48 heures (voir colonne antérieure)
	P_c	La pluie génératrice de la crue (= l'averse utile), d'après l'examen du pluviogramme et limnigramme, en millimètres
	P_a	La pluie mesurée entre 7 heures et le début de la pluie génératrice de la crue (P_c), en millimètres. [$P_{24} = P_a + P_c$ (la pluie tombée après la fin de la crue)]
	I_{15}	L'intensité maximale de la pluie pendant un intervalle de 15 minutes, exprimée en millimètres heure
	I_{30}	L'intensité maximale de la pluie pendant un intervalle de 30 minutes, exprimée en millimètres heure
	Début P_c	L'heure et la minute du commencement de la pluie génératrice de la crue (P_c).
	Durée P_c	La durée de la pluie génératrice de la crue en heures et décimales d'heures (La quantité P_c est tombée pendant cette durée)
		Crue
	$q_{\max}$	Le débit maximal atteint pendant la crue, exprimé en litres secondes km^2
9	Q	La lame d'eau écoulée pendant la crue, en millimètres
10	Début crue	L'heure et la minute du déclenchement de la crue
11	Durée crue	La durée de la crue, en heures et décimales d'heures (la quantité Q est écoulée pendant cette durée)
12	Q/P	Le coefficient de ruissellement.
13		Indice de pluie antécédente
		Si, P_t = la pluie mesurée pendant la période de 24 heures t jours avant la crue :
	A_1	La somme de la pluie de 5 jours précédents la crue, en millimètres = $\sum_{t=1}^5 P_t$
	A_2	La somme de la pluie de 10 jours précédents la crue, en millimètres = $\sum_{t=1}^{10} P_t$
	A_1	Un indice de décroissance inversement au temps = $\sum_{t=1}^{10} \frac{P_t}{t}$
	A_2	Un indice de décroissance exponentiel (K = 0.90) = $\sum_{t=1}^{10} P_t \cdot K^t$
17	A_2	Un indice de décroissance exponentiel (K = 0.95) $\sum_{t=1}^{10} P_t \cdot K^t$

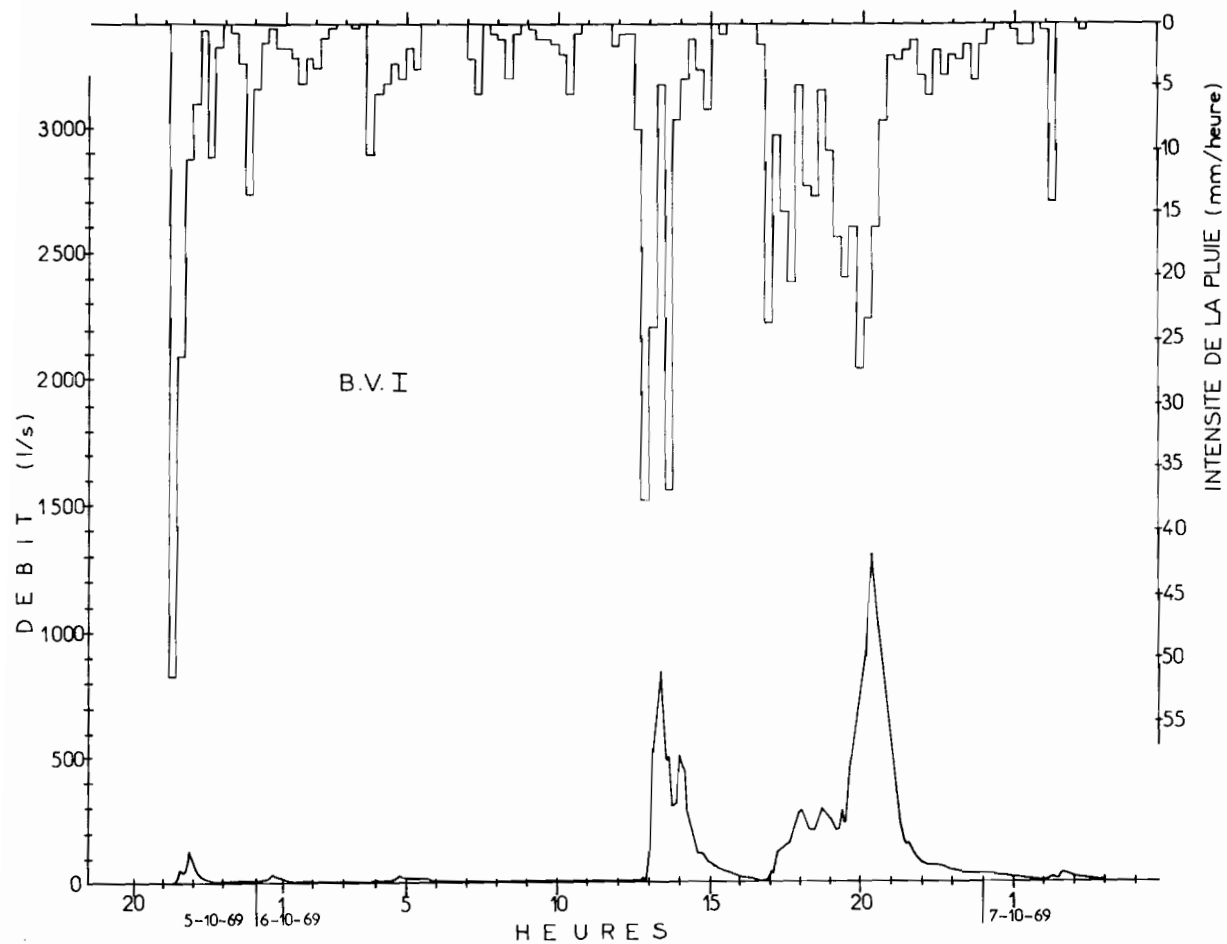


Figure 5.1. B.V.I. Les crues du 5 et 6 Octobre 1969.

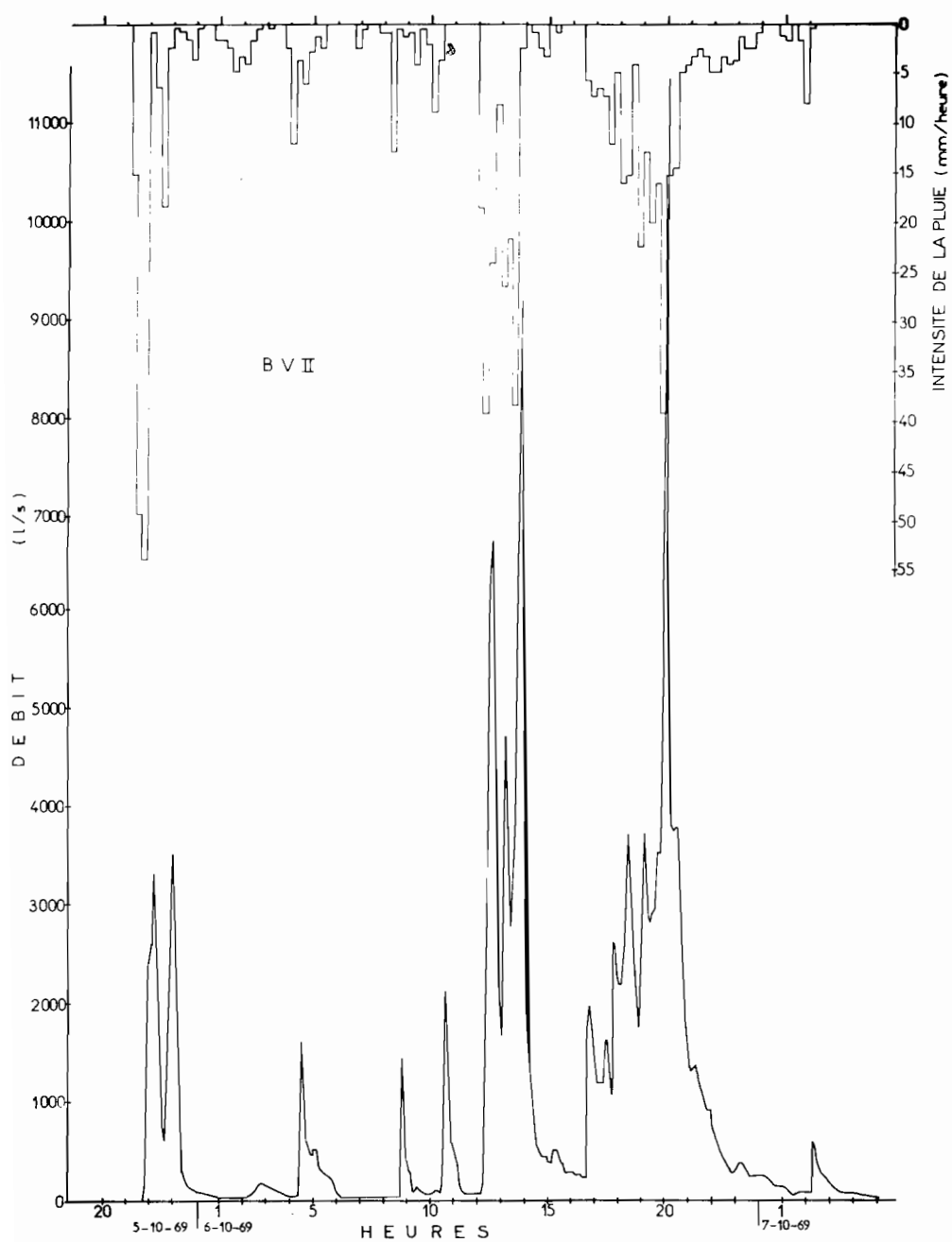


Figure 5.2. B.V.II. Les crues du 5 et 6 Octobre 1969.

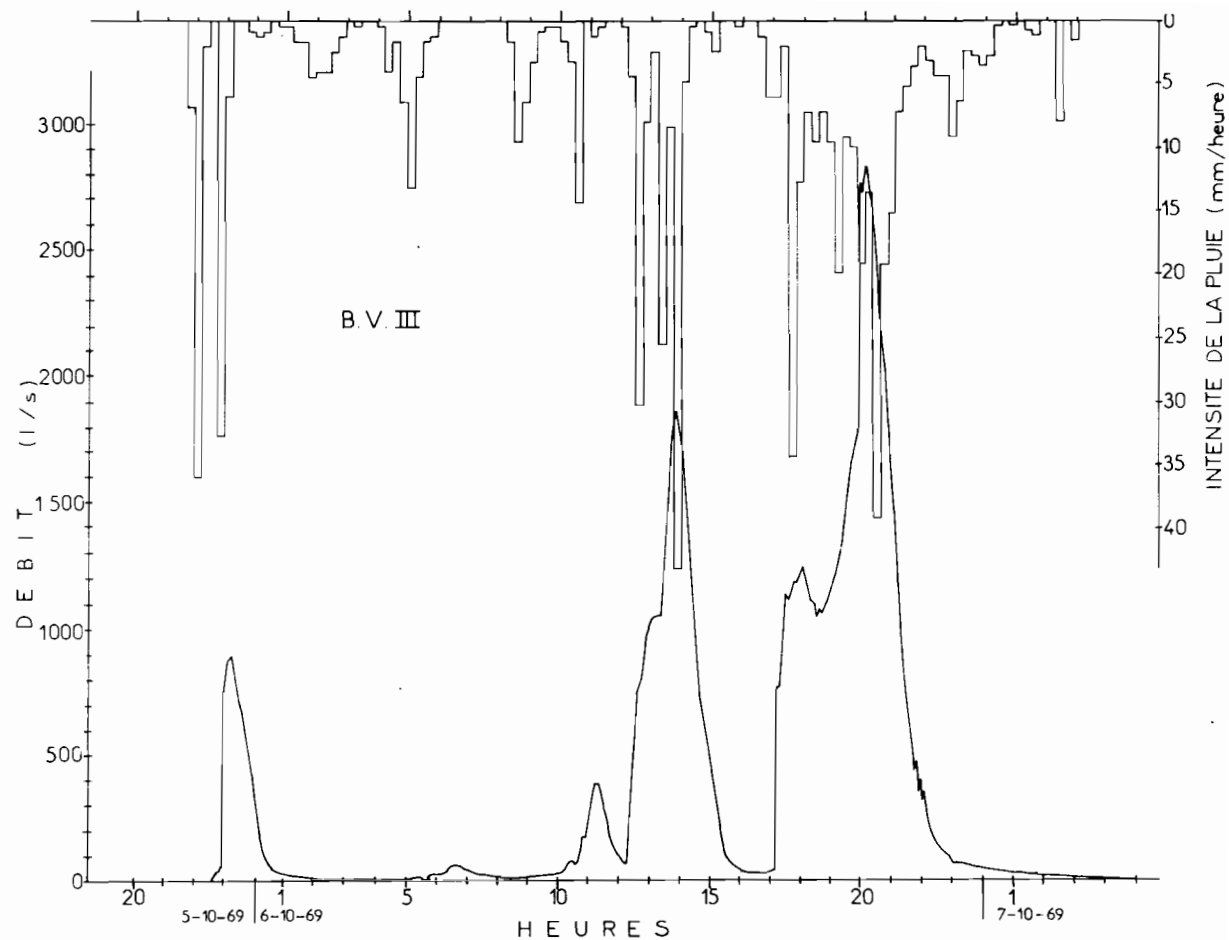


Figure 5.3. B. V. III Les crues du 5 et 6 Octobre 1969.

Étant donné que la forme de la décrue est assez constante d'une crue à une autre, elle est communément utilisée dans l'analyse des hydrogrammes pour séparer l'écoulement total dans ses trois composantes :

- (1) Écoulement de surface,
- (2) Écoulement retardé,
- (3) Écoulement d'étiage.

Dans les B.V.I et B.V.III, l'écoulement d'étiage est inexistant car les oueds sont secs quelques heures après les crues, et dans le B.V.II l'écoulement qui peut durer plusieurs jours après les grandes crues est trop faible pour être mesuré par le Parshall.

Afin de décrire la forme de la décrue pour la somme de l'écoulement superficiel et de l'écoulement retardé, on a reporté plusieurs décrues des B.V.I et B.V.III. sur papier semi-logarithmique (fig. 6.1 et 6.2). On a seulement choisi de grandes crues où la pluie a cessé pendant la durée de la décrue. Ces figures montrent que le tracé de la plupart des décrues est à peu près une ligne droite. La décrue mo-

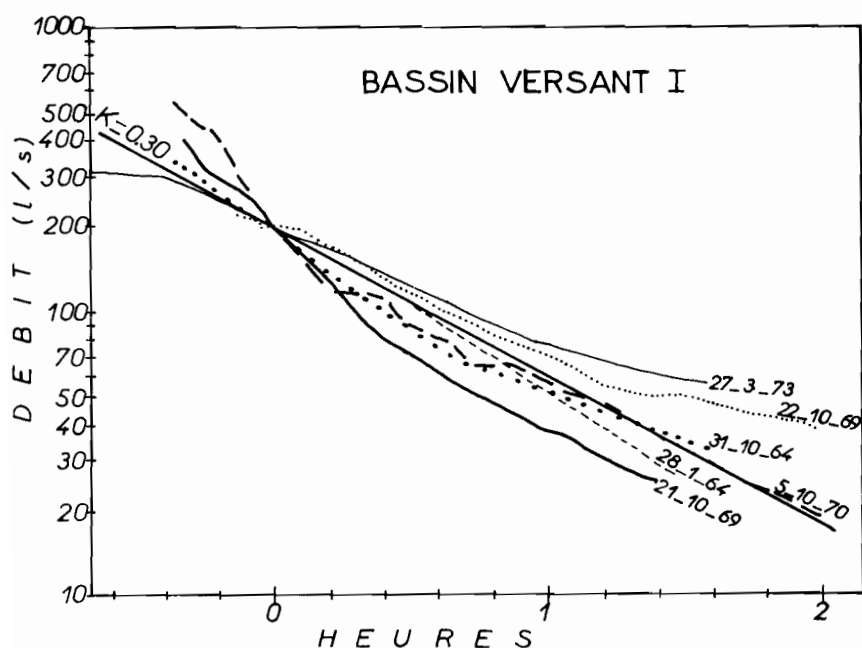


Figure 6.1. Les décrues du Bassin Versant I. Les courbes ont été ajustées dans le temps pour les faire coïncider à 200 l/s

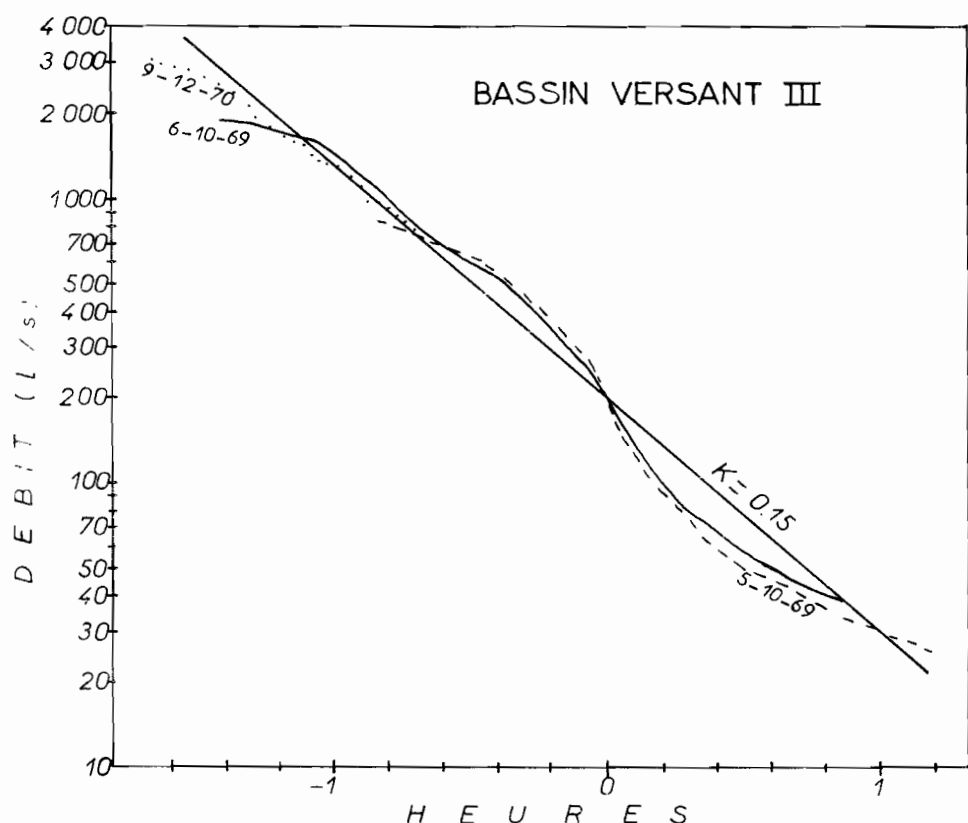


Figure 6.2. Les décrues du Bassin Versant III.

enne a été estimée à l'oeil et la valeur calculée de la constante k (c'est à dire la pente de la droite) est de 0.30 pour le B.V.I et de 0.15 pour le B.V.III. Autrement dit, une heure après un certain instant donné, le débit n'atteint plus que 30% et 15% du débit enregistré à cet instant pour le B.V.I et B.V.III respectivement. Pour le B.V.II, la décrue moyenne n'a pas été calculée car les décrues étaient très variables d'une crue à une autre, mais en général la pente est plus inclinée que pour les autres bassins.

5.2.2. Les débits maximums

Bien que la période d'observation n'ait pas dépassé 10 ans, on a fait l'analyse statistique des pointes des crues maximales annuelles. Les débits maximaux de chaque année hydrologique ont été classés par ordre décroissant et la période de retour T a été calculée d'après la formule :

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

où n = nombre des crues,

et m = numéro d'ordre commençant par la valeur la plus élevée de la série.

Les débits exprimés en $l/s/Km^2$ ont été rapportés à leur période de retour, sur papier logarithmique-normal, ce qui détermine une droite pour chaque bassin (fig. 7). On voit que les droites pour les B.V.I et B.V.III coïncident presque et qu'avec une période de retour de 10 ans, on peut escompter une crue de $4000 l/s/Km^2$. Tandis que la droite représentant le B.V.II se place au dessus de celle des autres bassins indiquant une crue de $12000 l/s/Km^2$ pour la même période de retour. Si l'on considère une période de retour de 2 ans seulement, le débit correspondant est d'environ $200 l/s/Km^2$ pour les B.V.I et B.V.III, mais de $3500 l/s/Km^2$ respectivement pour le B.V.II. Autrement dit, il y a chaque année 50% de probabilité d'avoir une crue atteignant 200 et $3500 l/s/Km^2$ respectivement pour les B.V.I et B.V.III.

Il est intéressant de comparer ces résultats avec les débits spécifiques maximaux de plusieurs grands oueds dans le bassin de l'Oued Miliane (Elsholz et al., 1973, p. 127). Sur tous ces grands oueds, les pointes des crues du mois d'octobre 1969 ont dépassé de beaucoup la droite moyenne, indiquant une période de retour bien plus longue (de 72 à 500 ans) que celle qui a été calculée tout simplement à partir de la durée des observations. Par contre, sur les trois petits bassins expérimentaux, bien que les débits de 1969 soient les plus grands jamais enregistrés, ils se situent sur les droites moyennes et même un peu en dessous, montrant ainsi que leur période de retour est réellement d'environ 10 ans, et qu'ils ne sont pas tellement extraordinaires.

Si l'on transpose les courbes des sous-bassins de l'Oued Miliane sur la figure 7, on s'aperçoit qu'elles se situent au dessous des courbes des bassins du Djouggar. Il apparaît ainsi nettement une tendance de la croissance des débits maximaux spécifiques ($l/s/Km^2$) avec la décroissance des superficies, depuis les grands sous-bassins ($> 1000 Km^2$) aux petits sous-bassins ($< 200 Km^2$) et finalement aux bassins expérimentaux. Cette tendance s'explique par le fait que des petits bassins peuvent être affectés par des averses intenses mais dont les superficies ne couvrent pas l'ensemble d'un grand bassin. Elle s'explique aussi par le temps de concentration plus court sur les petits bassins que sur les grands.

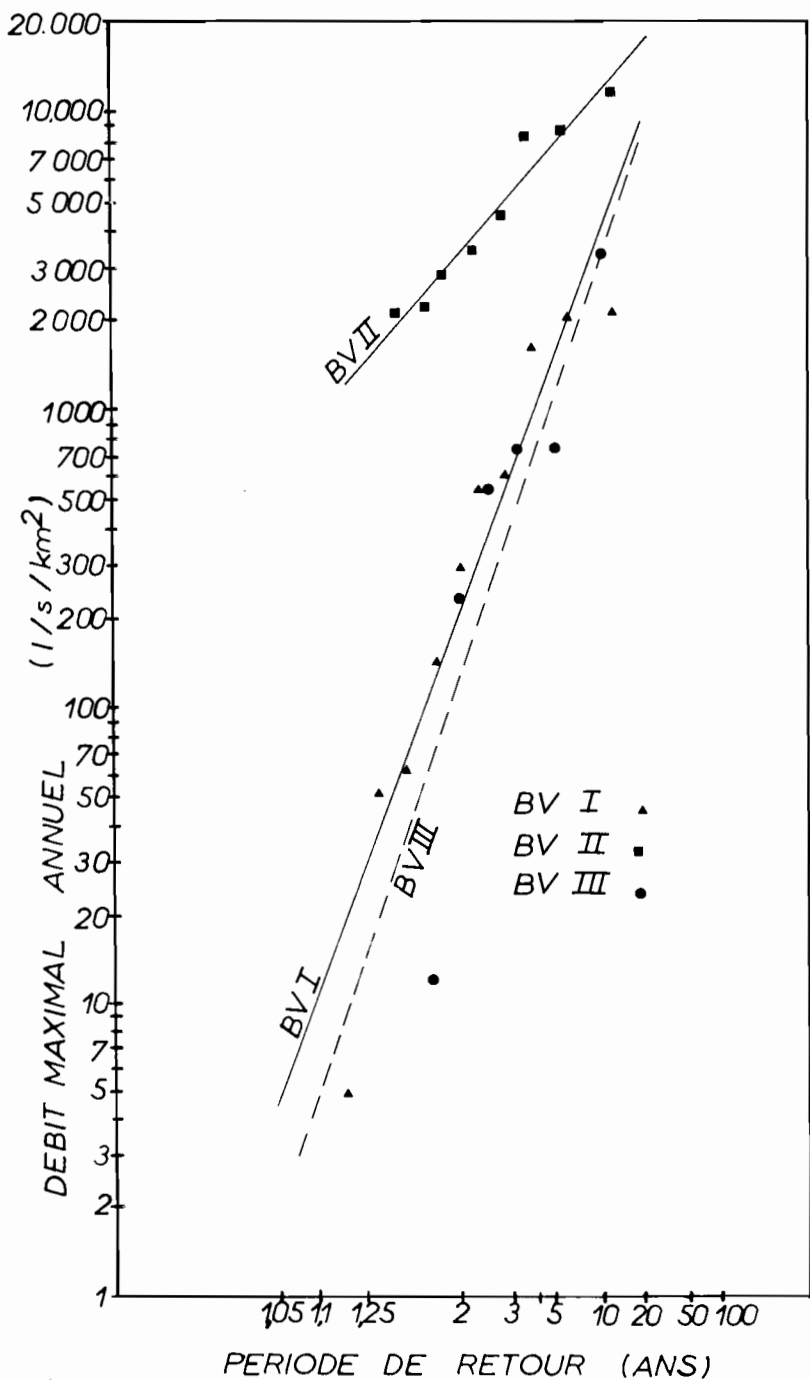


Figure 7. La période de retour des débits maximaux annuels. Distribution log-norm.

Ces observations illustrent le danger d'extrapoler les résultats des débits spécifiques maximaux des grands bassins aux petits, car l'estimation sera inférieure à la valeur réelle.

5.2.3. La lame d'eau écoulée

Si on considère le total d'eau ruisselée par crue, exprimé comme lame d'eau écoulée, on voit que la majorité des crues ont été sans importance (tableaux 2, 3 et 4).

Sur les B.V.I et B.V.III, pendant toute la période d'observation une dizaine de crues seulement dans chaque bassin ont apporté plus d'un millimètre de ruissellement. Par contre, presque 100 crues ont dépassé 1 mm dans le B.V.II.

Les tableaux 6, 7 et 8 présentent la lame d'eau écoulée chaque mois pour les années hydrologiques pendant lesquelles les observations ont été complètes. On voit que là, presque la totalité de ruissellement a eu lieu entre les mois d'octobre et mars et qu'en moyenne le mois d'octobre a eu l'écoulement le plus important. Mais ces moyennes mensuelles cachent l'extrême variabilité du ruissellement, car même sur le B.V.II, il y a eu des années sans aucun écoulement (1966 - 1967 et 1968 - 1969). Par contre, le mois d'octobre 1969 est responsable à lui seul de 35%, 17% et 71% du ruissellement total de la période d'observation respectivement sur les B.V.I, II, et III.

Le tableau 9 souligne encore qu'un pourcentage important du ruissellement total enregistré est dû à une seule grande crue ou à un nombre très limité de grandes crues, surtout dans les B.V.I et III.

5.2.4. Le bilan hydrologique

Pour un bassin versant l'expression la plus simple du bilan hydrologique d'une période est :

$$P - Q = E + \Delta R$$

où P et Q sont respectivement la précipitation et le ruissellement de surface, E est l'évapotranspiration et ΔR est la variation des réserves en eau dans le sol. Pour appliquer l'équation sous cette forme, on suppose qu'il n'y a pas de percolation dans la nappe ou de fuites d'eau souterraine en dehors du bassin. D'après la topographie et la nature des sols, cette hypothèse semble être valable pour les trois bassins expérimentaux. Pour de longues périodes, par exemples une année, on peut aussi supposer que les changements des réserves d'eau dans le sol sont négligeables. Donc la différence entre la pluie et l'écoulement est égale à l'évapotranspiration qui a eu lieu dans le bassin pendant cette période.

Tableau 6. B.V.I. : PLUVIOMÉTRIE (P) ET RUISSELLEMENT (Q) MENSUELS (en mm)

Année hydrologique	Sept.		Octob.		Nov.		Dec.		Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Annuelle	
	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q
1964-65	0.0	0	231.1	24.6	15.8	0	33.4	0	115.1	0.7	33.9	0	59.9	0	21.3	0	15.1	0	0.4	0	29.4	0	43.3	0	580.7	25.3
1965-66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1966-67	(29.9)	0	(31.2)	0.1	(45.7)	0	(29.0)	0	(2.3)	0	(44.0)	0	(21.9)	0	(13.9)	0	(10.7)	0	(4.2)	0	(4.2)	0	(16.3)	0	(253.3)	0.1
1967-68	(40.7)	0	(11.8)	0	(76.6)	0.2	(26.4)	0	(65.9)	0	(39.0)	0	(23.8)	0	(37.1)	0	(36.3)	0	(74.8)	0	(11.7)	0	(0.5)	0	(444.6)	0.2
1968-69	(1.8)	0	(9.6)	0	(8.1)	0	(21.8)	0	(43.4)	0	(31.1)	0	(45.1)	0	(33.0)	0	(22.4)	0	(4.3)	0	(7.5)	0	(34.5)	0	(262.6)	0
1969-70	147.6	0.5	429.3	47.6	20.4	0.2	74.7	0.3	33.5	0	12.7	0	21.0	0	45.3	0	28.4	0	0.7	0	5.3	0	1.3	0	820.2	48.6
1970-71	11.7	0	39.9	0	2.2	0	151.2	0.3	57.0	0	254.4	(8.7)	31.3	0	17.9	0	62.6	0.2	10.3	0	0.8	0	4.0	0	643.3	9.2
1971-72	68.9	0	125.1	0.3	21.3	0	47.2	0	69.9	0	28.8	0	63.0	0	113.3	0	29.4	0	16.9	0	1.9	0	51.5	0	637.2	0.3
1972-73	43.9	0	84.4	0	16.1	0	120.2	0	103.2	0.1	94.5	0.1	229.0	18.6	56.5	0.1	0.4	0	13.4	0	(15.5)	0	(31.7)	0	808.8	18.9
1973-74	2.1	0	62.5	0	27.6	0	251.2	29.9	4.8	0	53.7	0.1	39.7	0	58.6	0	8.5	0	22.9	0	5.2	0	(3.3)	0	540.1	30.0
1974-75	47.6	0	53.9	0	50.2	0	21.7	0	16.1	0	180.4	1.1	53.4	0.4	34.5	0	30.8	0	0.0	0	0.0	0	(11.3)	0	499.9	1.5
Total * Q		0.5		72.6		0.4		30.5		0.8		10.0		19.0		0.1		0.2		0		0		0		134.1
Total * P	394.2		1060.8		284.0		776.8		511.2		772.5		588.1		431.4		244.6		147.9		81.5		197.7		5490.7	
Moyenne * P	39.4		106.0		28.4		77.7		51.1		77.2		58.8		43.1		24.5		14.8		8.2		19.8		549.1	
Moyenne** P	43.8		94.2		29.8		82.6		44.0		82.1		58.7		45.6		25.5		16.4		5.8		17.2		545.6	

* Période 1964-75 (10 ans), ** Période 1966-75 (9 ans).

Tableau 7. B.V.II : PLUVIOMÉTRIE (P) ET RUISSELLEMENT (Q) MENSUELS (en mm)

Année hydrologique	Sept.		Octob.		Nov.		Déc.		Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Annuelle	
	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q
1964-65	0.0	0	193.4	68.7	6.5	0	26.4	0	103.6	(7.4)	16.5	0	55.4	0	19.6	0	15.8	0	0.3	0	16.2	0	37.5	0	491.2	76.1
1965-66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1966-67	29.9	0	31.2	0	45.7	0	29.0	0	2.3	0	44.0	0	21.9	0	13.9	0	10.7	0	4.2	0	4.2	0	16.3	0	253.3	0
1967-68	40.7	0	11.8	0	76.6	17.8	26.4	0	65.9	0	39.0	0	23.8	0	37.1	0	34.3	0	74.4	0	11.7	0	0.5	0	442.2	17.8
1968-69	1.8	0	9.6	0	8.1	0	21.8	0	43.4	0	31.1	0	45.1	0	33.0	0	22.4	0	4.3	0	7.5	0	34.6	0	262.6	0
1969-70	132.0	53.7	436.7	226.8	19.1	4.5	55.8	2.4	29.7	0.7	8.9	0	15.5	0	37.4	0	18.6	0	0.4	0	2.6	0	0.0	0	756.7	288.1
1970-71	11.4	0	38.4	0	1.6	0	168.0	(126.5)	28.9	0	204.1	168.9	21.0	0	12.1	0	40.9	0	8.2	0	1.0	0	3.7	0	539.3	295.4
1971-72	65.6	0	127.5	28.7	23.4	0	43.8	0	58.1	0	28.5	0	54.8	0	99.8	0	33.5	0	9.4	0	2.8	0	40.8	0	588.0	28.7
1972-73	40.7	0	84.2	5.5	25.6	1.0	115.3	14.5	88.0	28.0	81.3	17.4	212.6	178.0	53.6	12.2	0.0	0	10.0	0	(6.2)	0	(24.5)	2.4	744.4	259.0
1973-74	3.1	0	63.2	5.3	31.4	0	270.1	214.3	3.7	0	48.2	9.1	41.2	0	55.8	1.7	6.2	0	29.2	0	2.2	0	(3.3)	0	557.6	230.4
1974-75	39.1	4.6	50.3	8.4	42.8	13.0	16.4	0	14.5	0	203.3	85.2	55.6	26.5	31.4	0	29.9	0	0.2	0	0	0	(11.3)	0	494.8	137.7
Total * Q		58.3		343.4		36.3		357.7		36.1		280.6		204.5		13.9		0		0		0		2.4		1333.2
Total * P	364.3		1046.3		280.8		773.0		438.1		704.9		546.9		393.7		214.3		141.0		54.5		172.4		5130.1	
Moyenne * P	36.4		104.6		28.1		77.3		43.8		70.5		54.7		39.4		21.4		14.1		5.4		17.2		513.0	
Moyenne** P	40.5		94.8		30.5		83.0		37.2		76.5		54.6		41.6		22.1		15.6		4.3		15.0		515.4	

* Période 1964-75 (10 ans), ** Période 1966-75 (9 ans)

Tableau 8. B.V.III : PLUVIOMÉTRIE (P) ET RUISSELLEMENT (Q) MENSUELS (en mm)

Année hydrologique	Sept.		Octob.		Nov.		Dec.		Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Annuelle	
	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q
1966-67	12.8	0	20.9	0	51.3	0	32.8	0	3.8	0	35.5	0	18.6	0	13.0	0	9.9	0	3.0	0	1.0	0	12.4	0	215.0	0
1967-68	39.7	0	9.7	0	75.9	1.6	24.7	0	55.1	0	51.0	0	24.7	0	27.7	0	23.1	0	70.5	0	0	0	0.7	0	402.8	1.6
1968-69	0.5	0	10.9	0	9.5	0	32.2	(0)	49.3	(0)	34.2	(0)	44.9	(0)	36.7	0	25.7	0	2.3	0	17.5	0	43.5	0	307.2	0
1969-70	117.6	0.1	479.6	99.3	18.9	0.1	66.2	0	34.5	0	12.2	0	22.3	0	41.3	0	20.2	0	1.8	0	4.4	0	1.7	0	820.7	99.5
1970-71	17.7	0	48.3	0	1.6	0	211.0	(0.6)	48.5	0	252.5	6.4	35.8	0	13.8	0	34.0	0	8.2	0	0.0	0	1.8	0	673.2	7.0
1971-72	56.7	(0)	116.9	(3.2)	18.2	(0)	38.4	(0)	59.4	(0)	22.4	(0)	57.1	(0)	105.9	0	(33.5)	(0)	(9.4)	(0)	(2.8)	(0)	(40.8)	(0)	561.5	3.2
1972-73	40.0	0	88.0	0	15.9	0	128.1	0.1	106.7	0	83.4	0	222.5	15.5	49.7	0.6	0	0	11.8	0	(1.0)	0	(7.3)	0	754.4	16.2
1973-74	(3.1)	0	(63.2)	(0)	(31.4)	0	(270.1)	12.5	(3.7)	0	(48.2)	0	39.0	0	52.8	0	5.0	0	39.5	0	1.9	0	(4.2)	0	562.1	12.5
1974-75	34.4	0	49.0	0	44.3	0	16.4	0	18.2	0	178.6	0.1	52.7	0	24.0	0	21.8	0	1.9	0	1.5	0	(11.3)	0	454.1	0.1
Total * Q		0.1		102.5		1.7		13.2		0		6.5		15.5		0.6		0		0		0		0		140.1
Total * P	322.5		886.5		267.0		819.9		379.2		718.0		517.6		364.9		173.2		148.4		30.1		123.7		4751.0	
Moyenne * P	35.8		98.5		29.7		91.1		42.1		79.8		57.5		40.5		19.2		16.5		3.3		13.7		527.8	

* Période 1966-75 (9 ans)

**Tableau 9 . LA CONTRIBUTION DES PLUS GRANDES CRUES
AU RUISSELLEMENT TOTAL**

	B.V.I	B.V.II	B.V.III
Ruissellement total pendant la période d'observation (mm)	134	1333	140
Pourcentage du ruissellement total écoulé pendant la plus grande crue	20%	10%	32%
Pourcentage du ruissellement total écoulé pendant les 5 crues les plus grandes.	71%	39%	80%

Les tableaux 6, 7 et 8 montrent que pour les B.V.I et B.V.III plus de 97% des précipitations de la période d'observation ont été évapotranspirées. Par contre, dans le B.V.II, ce pourcentage est seulement de 74%, valeur qui est probablement trop élevée, car comme il a été indiqué, il n'a pas été possible de mesurer les faibles débits de longue durée relative à ce bassin.

5.3. LA CORRÉLATION ENTRE LA PLUIE ET L'ÉCOULEMENT

Pour étudier le rapport existant entre les pluies et les crues qu'elles ont causées, on s'est servi de la méthode de régression multiple en traitant chaque bassin versant séparément. Étant donné que dans ce contexte les petites crues ne sont pas intéressantes, on a limité les calculs de régression aux crues qui ont été causées par des pluies (P_c) supérieures à 30 mm. Dans les B.V.I et B.V.III, les pluies au dessous de ce seuil n'ont presque jamais causé plus de 0,5 mm de ruissellement. 15 crues seulement ont été utilisées dans les calculs de régression pour le B.V.III, 17 crues pour le B.V.II et 21 crues pour le B.V.I (ces crues sont signalées sur les tableaux 2, 3 et 4 par le numéro figurant dans la dernière colonne)*.

* Pour le B.V.II, les crues du 26-3-73 et du 13-12-73 ont été éliminées car la quantité ruisselée a dépassé la quantité de la pluie ce qui indique des erreurs de mesure.

5.3.1. Les variables utilisées dans l'étude de régression

Le débit maximal d'une crue et la lame d'eau écoulée sont les résultats de phénomènes très complexes qui ne peuvent jamais être précisément expliqués par l'action de trois ou quatre variables simples. Néanmoins, de nombreuses études (Elsholz et al., 1973, Osborn et Lane, 1969 ; Schreiber et Kincaid, 1967 ; SCS, 1972) ont dégagé des variables qui montrent souvent une bonne corrélation avec le débit maximal et la lame d'eau ruisselée. Parmi ces variables, figurent la quantité de pluie tombée sur le bassin versant, l'intensité de cette pluie, la saison de l'année et une estimation de l'état d'humidité du sol avant la crue. En se basant sur ces expériences, on a choisi les variables indépendantes suivantes P_{24} , P_C , I_{15} , I_{30} et les indices de pluie antécédente A_1 , A_3 , A_4 , A_5 (pour la définition des variables, voir tableau 5). En plus, on a inclus les transformations logarithmiques de P_{24} , P_C , Q et q max.

Ces indices de pluie antécédente méritent une explication. Il est bien connu que la capacité d'infiltration décroît avec l'augmentation de l'humidité du sol. Donc, tous les autres facteurs restant les mêmes, le ruissellement d'un bassin sera plus fort lorsque le sol est humide que lorsqu'il est sec. Étant donné la difficulté de mesurer l'humidité du sol d'un bassin versant, on la remplace, dans les études de corrélation, par la quantité de pluie tombée pendant un certain nombre de jours avant la crue en question. Divers indices de pluie antécédente ont été largement employés dont le plus simple est la somme de la pluie de 5 jours précédant la crue (indice également employé par la méthode du S.C.S.). À cause du dessèchement progressif du sol, un indice qui donne plus d'importance à la pluie tombée immédiatement avant la crue qu'à celle tombée bien avant celle-ci est plus logique. Pour cela, on a utilisé des indices décroissant inversement au temps (indices A_3) et de décroissance exponentielle (indice A_4 et A_5).

Pour l'indice A_4 , $k = 0.90$ est la valeur proposée pour la prévision des crues par le Service Météorologique (Cayet, 1974). Par contre, Elsholz et al., (1973) ont calculé $k = 0.95$, en se basant sur des mesures périodiques de l'humidité du sol dans le bassin de l'Oued Miliane, valeur qui a été employée pour l'indice A_5 .

Tous les calculs de régression ont été effectués sur ordinateur en employant un programme de régression multiple.

5.3.2. Les corrélations simples

Avant de présenter les équations de régression multiple, on examine ici les résultats des corrélations simples entre les variables dépendantes (la lame d'eau écoulée, la pointe de débit et leur transformation logarithmique) d'une part et chacune des variables indépendantes d'autre part. Les carrés des coefficients des corrélations (r^2) qui sont indiqués sur le tableau 10, donnent une première in-

Tableau 10. LE CARRÉ DU COEFFICIENT DE CORRÉLATION SIMPLE (r^2)

Variable dépendant	Bassin Versant	P_{24}	$\log P_{24}$	P_c	$\log P_c$	Intensité		Indice de pluie antécédente			
						I_{15}	I_{30}	A_1	A_3	A_4	A_5
Q	I	—	0.51	0.74	0.59	0.00	0.01	0.00	0.15	0.17	0.20
	II	—	0.79	0.83	0.86	—	0.00	0.06	—	—	0.07
	III	—	0.34	0.31	0.32	0.12	0.16	0.01	0.14	0.08	0.07
$\log Q$	I	—	0.68	0.76	0.75	0.00	0.01	0.01	0.09	0.09	0.11
	II	0.68	0.72	0.75	0.84	—	0.00	0.06	0.06	0.08	0.08
	III	—	0.35	0.36	0.35	0.24	0.31	0.06	0.11	0.12	0.11
$q_{\max}$	I	—	0.47	0.65	0.52	0.01	0.03	—	—	—	0.26
	II	0.51	—	0.43	0.41	—	0.33	0.40	—	—	0.45
	III	—	0.18	0.17	0.18	0.29	0.41	—	—	—	0.01
$\log q_{\max}$	I	—	0.57	0.65	0.61	0.04	0.09	—	—	—	0.13
	II	0.46	0.48	0.41	0.43	—	0.44	—	—	—	0.35
	III	—	0.28	0.25	0.25	0.31	0.42	—	—	—	0.09

dication des variables de pluie le plus étroitement liées au ruissellement.

Si l'on considère d'abord la lame d'eau écoulée (Q et $\log Q$), on voit que les variables P_c , $\log P_c$ et $\log P_{24}$ donnent de loin la meilleure corrélation, et que la valeur de r^2 pour l'intensité et les indices de pluie antécédente ne dépasse pas 0.20 (avec l'exception de I_{30} pour le B.V.III). On rappelle que la valeur de r^2 indique le pourcentage de la variance totale expliqué par la régression de la variable dépendante (Q , $\log Q$) et la variable indépendante en question*. L'indice A_1 donne toujours des résultats moins bons que les autres, mais il y a peu de différences entre A_3 , A_4 et A_5 .

Si l'on considère la corrélation simple entre ces mêmes variables indépendantes et le débit maximal ($q_{\max}$, $\log q$), on note qu'ici l'intensité de 30 minutes (I_{30}) présente une corrélation supérieure à celle qu'elle avait avec la lame d'eau écoulée Q et $\log Q$.

En général, la transformation logarithmique de la variable dépendante a légèrement amélioré la corrélation. Le coefficient de corrélation de I_{30} est toujours supérieur à celui de I_{15} .

5.3.3. Les régressions multiples

Les mêmes variables du tableau 10 ont été employées dans diverses combinaisons pour calculer les équations de régression multiple. En tout, une quarantaine d'équations différentes ont été calculées pour chaque bassin versant, et les meilleures seulement ont été choisies pour être présentées dans le tableau 11. Les critères du choix des équations ont été les valeurs de R^2 correspondants et l'écart type de l'estimation.

En général, l'étude de régression multiple a confirmé les résultats des corrélations simples. La transformation logarithmique des variables tant dépendantes ; que indépendantes a presque toujours amélioré les régressions multiples . L'utilisation de I_{30} dans les équations a toujours donné de meilleurs résultats que I_{15} . Presque toujours, les équations contenant A_5 ont donné de meilleures

* La variable dépendante a une certaine dispersion (variance) dont une part revient aux variables indépendantes, le reste à d'autres variables non étudiées y compris les erreurs aléatoires. La valeur du r^2 caractérise le pourcentage de dispersion lié aux variables indépendantes.

**Tableau II. LES MEILLEURES ÉQUATIONS DE REGRESSION POUR LA PRÉVISION
DE LA LAME D'EAU ÉCOULÉE (Q) ET LE DÉBIT MAXIMAL ($q_{\max}$)**

Bassin Versant	Équation de regression	R ²	Écart type de l'estimation
B.V.I	$\log Q = 3.1112 \log P_c + 0.0038 I_{30} + 0.0084 A_s - 5.9228$	0.85**	0.4187
	$\log Q = 3.1293 \log P_c + 0.0083 A_s - 5.8667$	0.85**	0.4103
	$\log Q = 3.1473 \log P_c - 5.5119$	0.75**	0.5177
B.V.II	$\log Q = 1.5465 \log P_c - 0.0076 I_{30} + 0.0023 A_s - 1.2567$	0.89**	0.1560
	$\log Q = 1.5264 \log P_c + 0.0007 A_s - 1.3538$	0.84**	0.1804
	$\log Q = 1.5467 \log P_c - 1.3680$	0.84**	0.1754
B.V.III	$\log Q = 1.5326 \log P_c - 0.0272 I_{30} + 0.0107 A_s - 3.4578$	0.67**	0.5856
	$\log Q = 2.2798 \log P_c + 0.0096 A_s - 4.1348$	0.55**	0.6568
	$\log Q = 1.9959 \log P_c - 3.1685$	0.35*	0.7564
B.V.I	$\log q_{\max} = 2.1767 \log P_c + 0.0156 I_{30} + 0.0075 A_s - 2.3323$	0.79**	0.3956
	$\log q_{\max} = 2.1993 \log P_c + 0.0142 I_{30} - 1.9947$	0.66**	0.4896
	$\log q_{\max} = 2.2658 \log P_c - 1.7996$	0.61**	0.5134
B.V.II	$\log q_{\max} = 0.7208 \log P_c + 0.0120 I_{30} + 0.0033 A_s + 1.8175$	0.80**	0.1757
	$\log q_{\max} = 0.7907 \log P_c + 0.0147 I_{30} + 1.7294$	0.75**	0.1894
	$\log q_{\max} = 0.9168 \log P_c + 1.8564$	0.43**	0.2751
B.V.III	$\log q_{\max} = 0.9035 \log P_c + 0.0419 I_{30} + 0.0108 A_s - 0.6512$	0.66**	0.6250
	$\log q_{\max} = 0.7409 \log P_c + 0.0364 I_{30} + 0.2752$	0.45*	0.7683
	$\log q_{\max} = 1.7849 \log P_c - 0.7778$	0.25 NS.	0.8618

** Significative au seuil de 1%

* Significative au seuil de 5%

NS. Non significative

estimations que celles contenant les autres indices, mais la supériorité de A_5 par rapport à A_3 et A_4 n'a pas été systématique dans les trois bassins versants. Néanmoins, on a choisi A_5 pour tous les bassins pour des raisons d'uniformité et parce que sa validité s'appuyait sur des mesures d'humidité du sol (Elsholz et al., 1973).

En résumé, parmi les variables testées, la meilleure prévision de la lame d'eau écoulée ($\log Q$) et du débit maximal ($\log q_{\max}$) est fournie par les variables indépendantes : $\log P_c$, I_{30} et A_5 .*

Pour $\log Q$ et $\log q_{\max}$, le tableau II présente la meilleure équation de régression multiple en employant les trois variables indépendantes indiquées ci-dessus. D'autre part, la meilleure équation utilisant deux variables, et celle avec une seule variable, sont indiquées. La comparaison de ces trois équations permet de dégager la contribution de chaque variable indépendante à la précision de l'estimation de $\log Q$ et $\log q_{\max}$.

Considérant d'abord l'estimation de la lame d'eau écoulée ($\log Q$) on voit que, pour les B.V.I, B.V.II et B.V.III, les équations à trois variables indépendantes expliquent 85%, 89% et 67% respectivement de la variance totale de $\log Q$. L'élimination de I_{30} de l'équation n'a presque pas réduit la précision d'estimation pour le B.V.I, tandis que pour le B.V.III la valeur de R^2 a été réduite de façon importante. Ceci fait penser que l'écoulement du B.V.III est plus sensible aux courtes périodes de précipitations intenses que le B.V.I avec sa couverture forestière.

Si l'on considère maintenant l'estimation du débit maximal, on voit que pour les trois bassins, les équations à trois variables expliquent 79%, 80% et 66% de la variance totale de $\log q_{\max}$. Ici, l'élimination d'une variable cause toujours une réduction importante de la précision.

* A cause de l'étroite corrélation entre P_{24} et P_c (r^2 est supérieur à 0.93 pour les trois bassins) l'utilisation de $\log P_{24}$ au lieu de $\log P_c$ n'a entraîné qu'une légère réduction de précision de la prévision. Ce qui entraîne d'importantes implications pratiques en permettant l'emploi des données des pluviomètres, lesquelles sont plus facilement disponibles que celles des pluviographes.

5.3.4. Les applications de l'étude de corrélation

L'utilité évidente des équations de régression est de permettre l'estimation de ruissellements et de pointes de crues non observés. Effectivement, certaines valeurs indiquées sur les tableaux 6, 7, 8 et une sur la figure 7 ont été calculées de cette façon.

Une limitation importante de la méthode des régressions est que les équations ne peuvent être transposées à d'autres bassins versants. En plus, on rappelle qu'une bonne corrélation n'implique pas nécessairement une relation de cause à effet. Pourtant, on a vu que l'utilisation de trois variables très simples (hauteur de la pluie, son intensité maximale à 30 minutes et un indice de pluie antécédente) explique 66% à 89% de la variance de la lame d'eau écoulée ou du débit maximal des crues. Étant donné que les trois bassins couvrent une large gamme de conditions, on pense que ces variables sont aussi celles qui se révèlent être les plus importantes pour d'autres petits bassins versants de la région. Parmi ces trois variables, presque dans chaque cas, la hauteur de la pluie a été celle la plus étroitement corréllée aux variables dépendantes.*

L'importance relative de l'intensité et de l'indice de pluie antécédente varie selon le bassin versant et les variables dépendantes ($\log Q$ ou $\log q_{\max}$). Ceci implique qu'une méthode de prévision des crues sur des petits bassins risque une importante diminution de précision si elle ne prend pas en considération l'intensité de la pluie, surtout en ce qui concerne le débit maximal. La légère différence de précision, due aux divers indices de pluie antécédente, indique qu'il ne paraît pas intéressant de chercher à raffiner ces indices (comme, par exemple en utilisant l'humidité du sol).

5.4. LA MÉTHODE DU «SOIL CONSERVATION SERVICE» (S.C.S.) POUR ESTIMER LA LAME D'EAU ÉCOULÉE

Il est évident que le succès de la méthode du S.C.S. dépend de la précision avec laquelle on peut estimer le coefficient d'indexation «C», pour un bassin versant. «C» est estimé en fonction du sol, de la végétation ou culture, de la précipitation antécédente et de la saison. Tous ces facteurs, sauf le facteur sol sont dynamiques et peuvent changer d'une crue à une autre.

* L'importance de ces mêmes variables a été confirmée par l'analyse factorielle (voir Annexe 3).

5.4.1. La détermination du coefficient d'indexation (C) pour les trois bassins expérimentaux.

Masson et al., (1965) ont consulté les tableaux du S.C.S. (annexe 2) pour déterminer la valeur de C. Ensuite, ils ont comparé ces valeurs avec les valeurs réelles calculées d'après les mesures des crues (Q) et des pluies (P). Pour pouvoir utiliser les tableaux du S.C.S., ils avaient procédé à une classification hydrologique et à la cartographie des sols ainsi qu'à la cartographie de la végétation (fig. 3.1, 3.2, 3.3). Étant donné que chaque bassin contient plus d'un complexe de sol-végétation, le calcul de la moyenne pondérée de C a été nécessaire. Les résultats de leurs calculs sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12. COMPARAISON ENTRE LES VALEURS ESTIMÉES
ET MESURÉES DU COEFFICIENT D'INDEXATION
(C)

Bassin Versant	Coefficient d'indexation estimé*			Coefficient d'indexation mesuré
	A ₁ I	A ₁ II	A ₁ III	
B.V.I	55	74	90	55
B.V.II	72	87	97	85
B.V.III	54	72	89	55

Si l'on dispose d'une série de mesures de P et Q pour un bassin versant, le S.C.S. propose une technique très simple pour calculer la valeur de C pour les conditions moyennes de pluie antécédente. Les valeurs réelles de P et Q sont dessinées sur le graphique de la figure 8 et à l'oeil on détermine la courbe de C qui s'adapte le mieux à ces points.

* d'après MASSON et al. 1965.

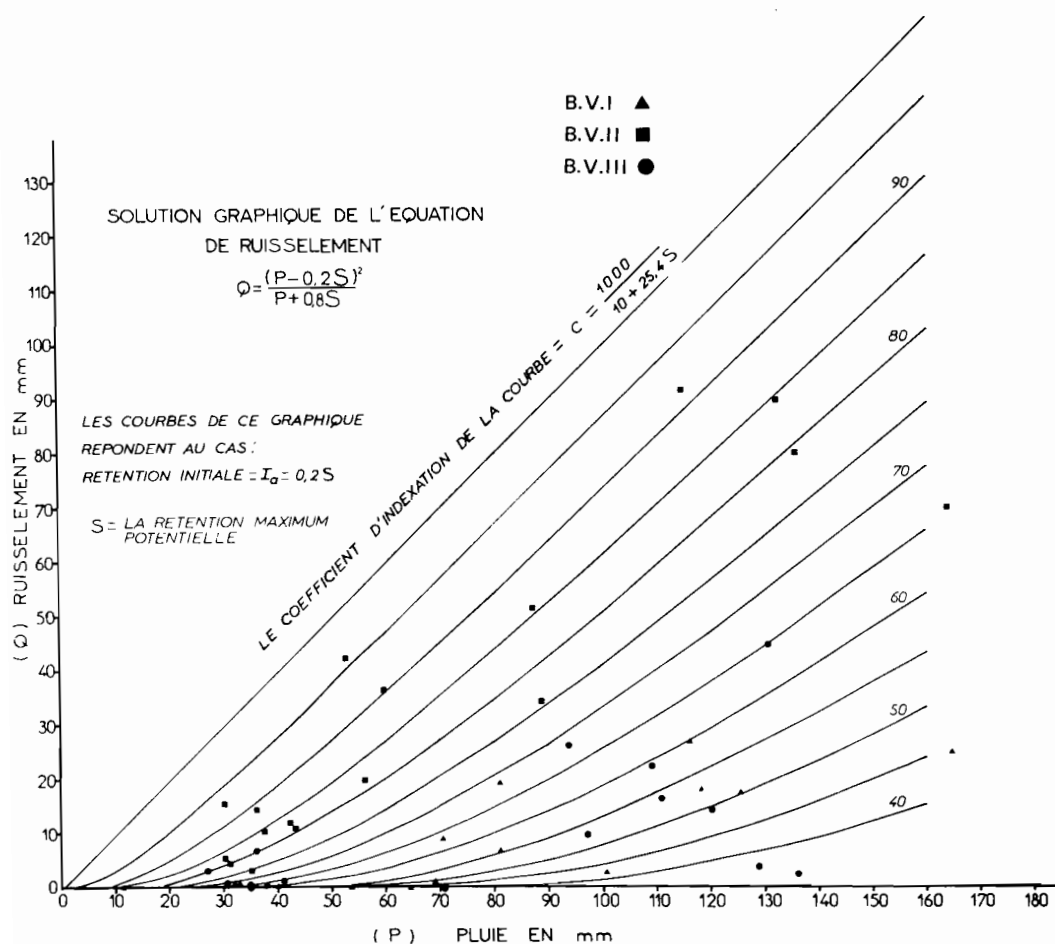


Figure 8. Estimation de la lame d'eau écoulée, avec la méthode du «Soil Conservation Service» (SCS). Le coefficient d'indexation pour un bassin versant sous des conditions spécifiques est donné par plusieurs tableaux publiés par le SCS (1972). Voir aussi annexe 2.

Les valeurs de C trouvées d'après cette technique sont indiquées dans la dernière colonne du tableau 12. Si l'on suppose pour l'instant que ces valeurs correspondent réellement à la condition moyenne de pluie antécédente A₁ II, on voit que pour le B.V.II, la valeur de C mesurée correspond exactement à celle estimée par Masson et al., (1965), tandis que pour les deux autres bassins, les valeurs estimées sont trop élevées. Mais, il est encourageant de constater que les estimations attribuent la même valeur de C aux B.V.I et B.V.III, reflétant ainsi la véritable ressemblance du comportement hydrologique de ces deux bassins.

5.4.2. L'influence de la saison et de la pluie antécédente sur le coefficient d'indexation (C)

Dans la méthode telle qu'elle est proposée par le S.C.S., la saison (soit saison de repos végétatif, soit saison de croissance végétative) ainsi que la précipitation antécédente ont une grande influence sur la valeur de C choisie dans les tableaux. (Par exemple, voir annexe 2, tableau A.2.2. et A.2.3.) pour le changement de C en fonction de A_1 .

La saison a été définie pour les régions humides des États-Unis où la saison froide correspond au repos végétatif. Le choix de la saison à utiliser n'est pas clair pour l'Afrique du Nord avec son climat méditerranéen, où la saison froide et humide est une période de croissance de la végétation. En effet, l'examen des données du Djougar n'a pas démontré une influence appréciable de la saison de l'année sur la valeur de C.

Afin de dégager l'effet de la pluie antécédente sur la valeur de C, on a comparé C avec l'indice de la pluie antécédente (A_1) sur la figure 9*. Pour le B.V.II, C est indépendant de A_1 et même dans le cas des deux autres bassins, C augmente très peu avec une augmentation de A_1 . Des résultats semblables ont été trouvés en employant un autre indice (A_5) et aussi avec la pluie de 24 heures (P_{24}). Évidemment, les données sont très limitées, mais il est frappant qu'au Djougar, l'influence de la pluie antécédente est beaucoup moins marquée que les tableaux du S.C.S. ne le font penser. Cette conclusion est confirmée par l'étude de régression où les indices de pluie antécédente n'ont pas beaucoup amélioré la précision de la prévision de Q.

Dans ce contexte, il est intéressant de réexaminer les résultats de Elsholz et al. (1973, fig. 118) qui ont utilisé une autre approche pour estimer la lame d'eau écoulée. Avec les données des grands sous bassins de l'Oued Miliane, ils ont établi un graphique qui permet l'estimation du coefficient de ruissellement en fonction de la pluie et d'un indice de l'humidité du sol (i) qui est calculé d'après la pluie antécédente d'une façon semblable à l'indice A_5 (voir aussi Toebes et Ouryvaev, 1970 ; p. 344). Étant donné que le coefficient de ruissellement est égal à Q/P , on a pu convertir leurs courbes pour les superposer sur l'abaque du S.C.S. (fig. 10). La ressemblance entre la forme des courbes de ces deux méthodes indépendantes est frappante. On voit que, contrairement aux résultats du Djougar, pour ces grands bassins de plusieurs centaines de km^2 , la pluie antécédente a un effet important sur le coefficient d'indexation (C).

* Les crues causées par des pluies (P_c) supérieures à 50 mm ont été seules utilisées, car pour les petites crues, les courbes de C s'approchent les unes des autres causant des erreurs excessives dans l'estimation de C.

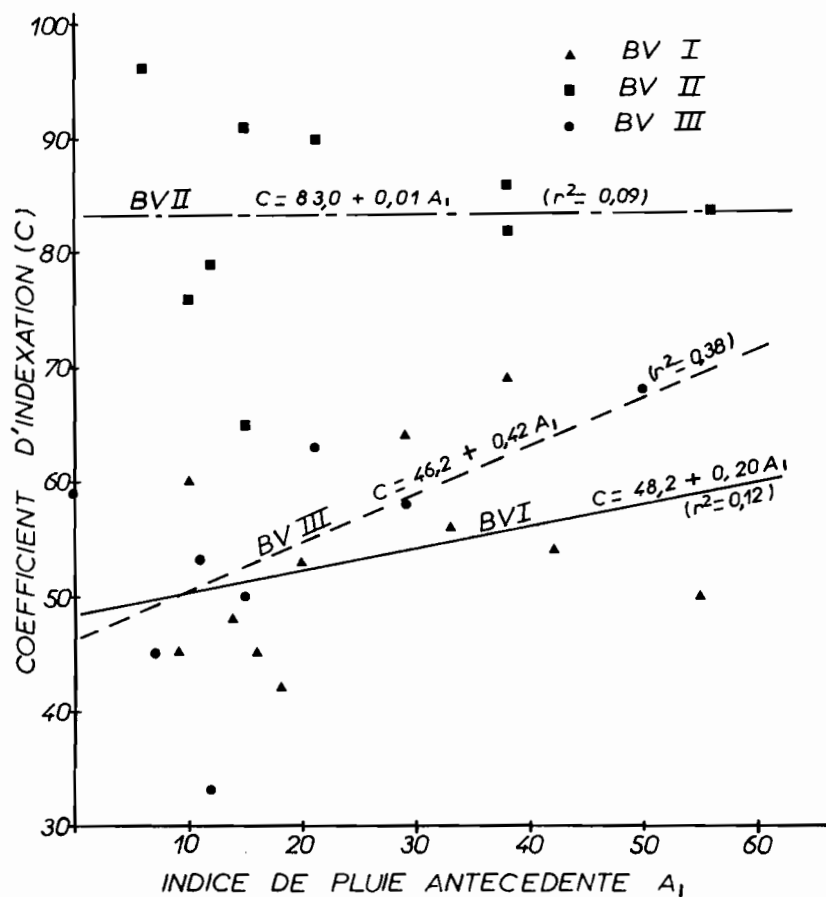


Figure 9. L'influence de l'indice de pluie antécédente sur le coefficient d'indexation (C) des bassins versants expérimentaux.

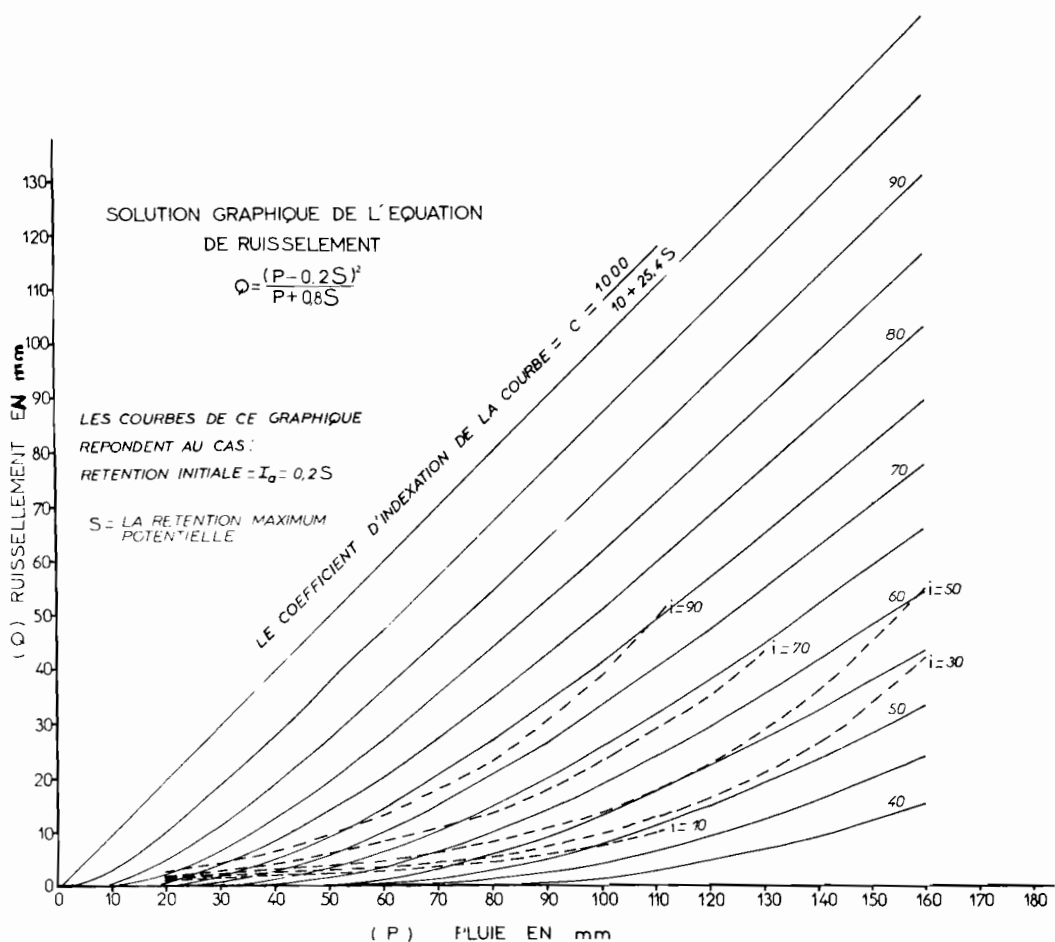


Figure 10. Les courbes de la lame d'eau écoulée sur les grands sous bassins de l'Oued Miliane superposées sur le graphique du SCS (i = indice de l'humidité du sol) (Adapté d'Elsholz et al. 1973).

Les courbes de l'Oued Miliane représentent l'ensemble d'un grand nombre de complexes sol-végétation d'une vaste région où la céréaliculture est probablement dominante. Rappelons que la méthode du S.C.S a été mise au point pour des petits bassins versants de quelques km² et que les valeurs réelles de C pour les grands bassins sont d'habitude inférieures aux valeurs calculées à partir des tableaux du S.C.S. Ceci est dû entre autres causes à l'infiltration d'une partie du ruissellement en route*. Il est donc logique que les courbes de C de l'Oued Miliane soient en général inférieures à celles des petits bassins du Djougar sauf pour les valeurs de «i» très élevées.

5.4.3. L'application de la méthode du S.C.S. en Tunisie

Ces résultats ont montré que l'influence de la précipitation précédant le ruissellement ne semble pas aussi importante pour les petits bassins versants du Djougar que pour les grands sous-bassins de l'Oued Miliane, ou pour les zones humides des États-Unis où la méthode a été originalement développée. Les raisons pourraient en être simplement le petit nombre de grandes crues mesurées au Djougar, ou la gamme relativement restreinte des valeurs de pluie antécédente. Avec des données encore plus limitées, Bediot et Cormary (1964) sont arrivés à des conclusions semblables. Ils ont trouvé que le raffinement apporté à l'indice de pluie antécédente n'améliore pas la précision de la prévision des crues.

Ceci rend plus simple l'application de la méthode à la région du Djougar, car il est possible d'utiliser les tableaux du S.C.S. en employant toujours les valeurs moyennes de pluie antécédente (A_{II}). Effectivement, cette simplification est impliquée par le S.C.S. même (S.C.S., 1967) dans la proposition de la méthode pour l'Afrique du Nord. Cela restera à vérifier pour les régions d'Afrique du Nord différentes de celle que nous avons étudiée.

Par contre, les grandes différences entre le comportement hydrologique des trois bassins versants expérimentaux soulignent l'importance de l'influence du complexe sol-végétation sur le coefficient d'indexation (C). C'est sous cet aspect là que la recherche locale doit être approfondie, si l'on veut appliquer

* Voir Simanton et al., (1973) qui ont dérivé des facteurs pour corriger C selon la surface du bassin. La méthode du S.C.S. peut être appliquée sur les grands bassins versants à condition qu'ils soient divisés en plusieurs « unités hydrologiques » pour lesquelles le ruissellement est combiné en tenant compte du stockage dans les lits des Oueds.

la méthode du S.C.S. (ou d'autres méthodes de prévision). On a besoin de connaître la valeur de C pour les plus importants complexes sol-végétation de l'Afrique du Nord ; l'étude nécessaire exigera des mesures sur de nombreux petits bassins versants ou parcelles de ruissellement, chacun ayant un complexe sol-végétation assez homogène. Les résultats du Djougar démontrent que l'effet du complexe sol-végétation sur C peut être énorme, tandis que la saison et la pluie antécédente jouent un rôle de moindre importance.

Pour pouvoir transposer les valeurs de C mesurées sur les bassins du Djougar aux autres petits bassins versants, il faut d'abord connaître la composition du complexe sol-végétation de chaque bassin (tableau 13). Le B.V.III est couvert entièrement par un seul complexe sol-végétation facilitant beaucoup l'application de ces résultats aux autres régions.

Tableau 13. LE POURCENTAGE DE LA SURFACE DES BASSINS VERSANTS
DANS CHAQUE COMPLEXE SOL-VÉGÉTATION (d'après Masson et al 1965)

Bassin Versant	Végétation ou culture	% de la surface			Coefficient d'indexation mesuré
		Groupe hydrologique des sols*			
		B	C	D	
B.V.I	Forêt de pin d'Alep		40		55
	Bon couvert végétal herbacé au niveau du sol (Diss)		50		
	Parcours et broussailles faibles		10		
B.V.II	Forêt de pin d'Alep			10	85
	Broussailles			10	
	Céréales		30	20	
	Jachère nue		20	10	
B.V.III	Arboriculture en courbe de niveau dans un réseau de banquettes	100			55

* Les sols du groupe D ont le plus grand potentiel de ruissellement, ceux du groupe A le plus faible. Pour la définition précise des classes, voir S.C.S. (1972).

Du point de vue hydrologique, on pourrait simplifier la classification de la végétation du B.V.I en la considérant comme « mosaïque de forêt de pin d'Alep-garrigue à romarin et Diss », un type de végétation commun en Tunisie. Le complexe sol-végétation du B.V.II est plus hétérogène couvrant deux classes hydrologiques du sol. Mais on rappelle que, pour ce bassin, la valeur de C estimée selon les tableaux du S.C.S. donnent des résultats raisonnables pour la Tunisie. Ce qui est logique, si l'on considère que le comportement hydrologique d'un champ de céréales est beaucoup plus simple et homogène que celui d'une forêt ou d'un terrain traité avec des banquettes, et par conséquent, il y a moins de risque d'erreur en transposant les coefficients d'indexation pour les céréales d'un pays à un autre.

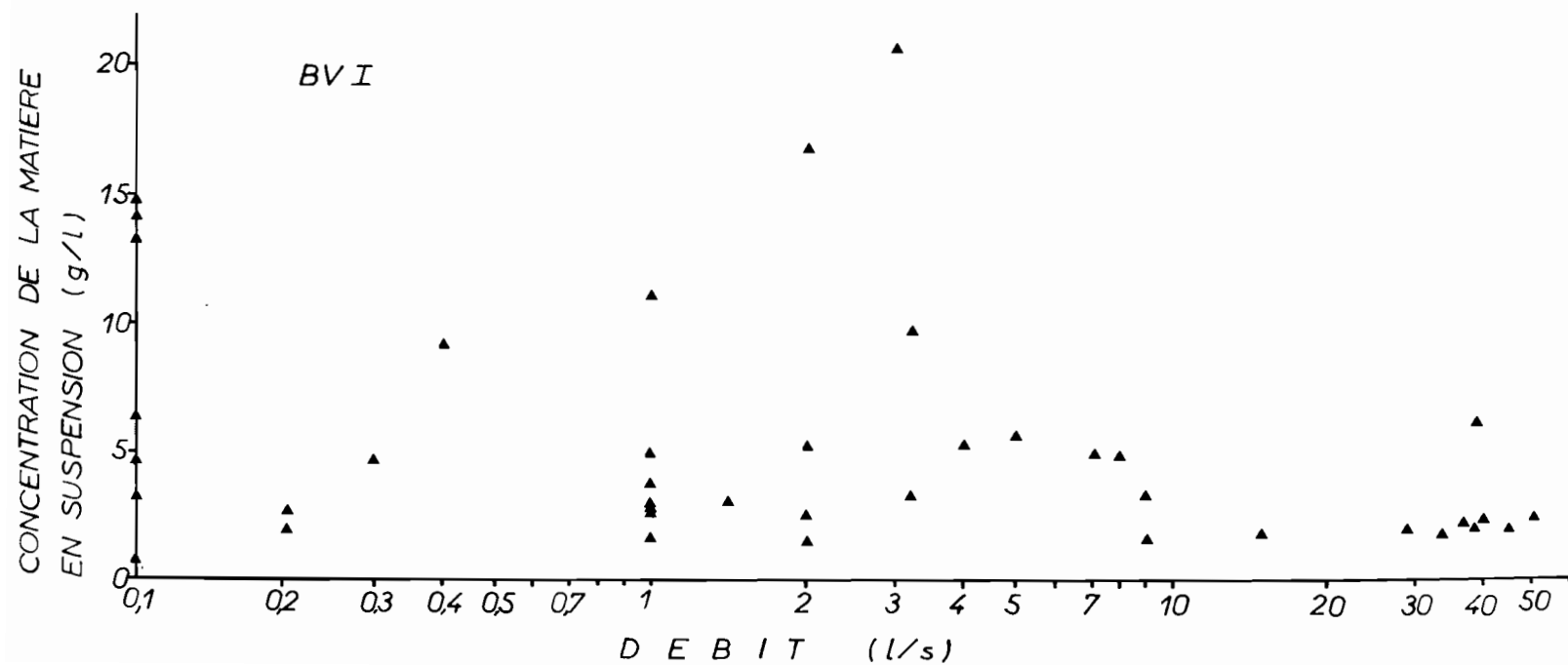
5.5. TRANSPORT SOLIDE

Les résultats des mesures des matières en suspension sont présentés sur les figures 11 et 12. On n'aperçoit pas de corrélation entre la concentration de la matière en suspension et le débit*. Cette dispersion des données ne doit pas étonner, étant donné la méthode inadéquate d'échantillonnage et les multiples facteurs qui peuvent influencer le transport solide ; la saison qui influe sur la couverture végétale du sol, les sédiments déposés dans le lit de l'oued par la dernière crue, les caractéristiques de la pluie, etc. Des résultats semblables ont été trouvés pour les sous-bassins de l'Oued Miliane (Elsholz et al., 1973) et pour beaucoup d'oueds des régions semi-arides (Renard, 1969 ; Heinemann et Piest, 1975).

Cette absence de corrélation entre la concentration de la matière en suspension et le débit ne permet que des conclusions très sommaires et approximatives concernant le transport solide. La concentration moyenne de tous les échantillons est de 5g/l pour le B.V.I, et de 11g/l pour le B.V.II ; ce qui équivaut respectivement à 50 kg/ha/mm de ruissellement et 110 kg/ha/mm. Pendant les 10 années d'observation, le B.V.I a donné 134 mm de ruissellement (tableau 6) subissant ainsi une perte de matière solide de 6,7 tonnes/ha. pour toute la période. Le sédiment accumulé en arrière du déversoir triangulaire a été négligeable (estimé à moins de 1 m³ entre 1972 et 1975). Par contre, pendant la même période le B.V.II a donné 1333 mm d'écoulement (tableau 7), avec une perte correspondante de 147 tonnes/ha. de matière solide pour les 10 ans. En plus ici, le charriage de fond a été important mais impossible à estimer.

* La classification des données selon qu'elles réfèrent à la montée de la crue ou à la décrue, n'a pas amélioré la corrélation.

Figure 11. La concentration de la matière en suspension dans le Bassin Versant I.



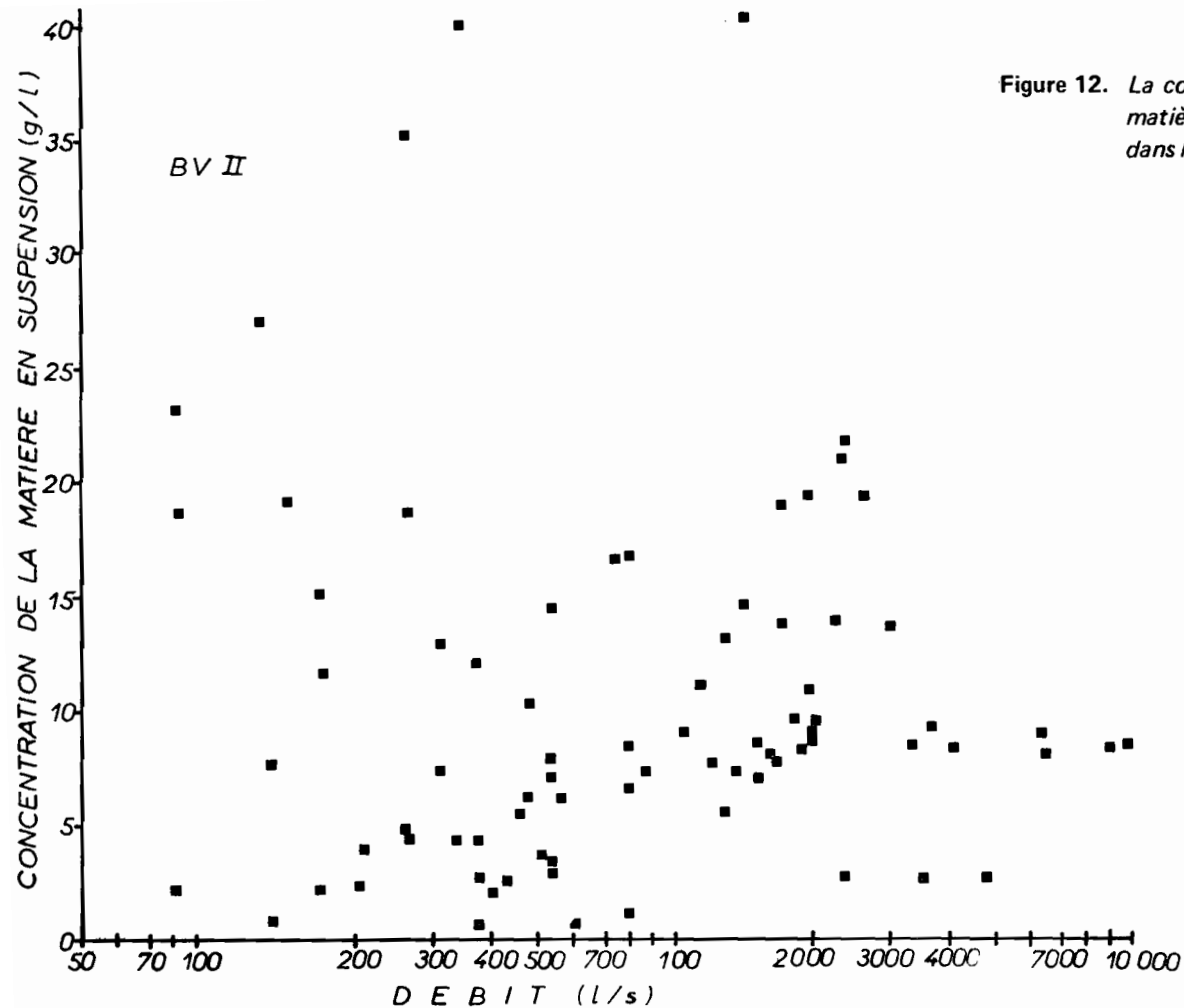


Figure 12. La concentration de la matière en suspension dans le Bassin Versant II.

On souligne encore que ces résultats doivent être interprétés avec réserve à cause de la qualité et du nombre des données. Mais malgré ces limitations, il est frappant de constater que 22 fois plus de matières solides ont été entraînées par le ruissellement sur le bassin cultivé en céréales en comparaison avec les pertes du bassin couvert par la forêt.

5.6. L'INFLUENCE DE L'UTILISATION DU SOL SUR LE COMPORTEMENT HYDROLOGIQUE

5.6.1. Les limitations des résultats actuels

Tous les résultats antérieurs ont démontré que malgré une pluviométrie assez uniforme, le B.V.I. couvert par la forêt et le B.V.III. avec de l'arboriculture, et des travaux C.E.S. ont des comportements hydrologiques assez semblables, mais très différents de celui du B.V.II cultivé en céréales. Le débit du B.V.II est beaucoup plus irrégulier, les pointes des crues pour une période de retour de 2 ans sont environ 20 fois plus élevées, et le ruissellement total est 10 fois plus important que pour les deux autres bassins versants.

On est tenté de conclure que la cause de ces différences réside dans les différences d'utilisation du sol. Mais rappelons que, outre l'utilisation du sol, d'autres facteurs tels que la topographie et les caractéristiques hydrologiques du sol sont différents d'un bassin à un autre. Jusqu'à quel point ces facteurs sont ils des causes de différences de régime hydrologique ? On a déjà discuté les méthodes d'étalonnage des bassins versants, nécessaires pour mesurer l'influence des changements de la végétation et des techniques culturales, ainsi que le danger de tirer des conclusions pour des bassins qui n'ont pas été étalonnés. Or, un examen rigoureux des bassins versants du Djouggar ne permet pas de séparer l'influence de la végétation et de l'utilisation du sol des effets des caractéristiques physiques des bassins.

Pourtant, il est intéressant d'examiner ces facteurs physiques et de voir dans quel sens ils pourraient influencer le ruissellement. La capacité d'infiltration et les autres caractéristiques hydrologiques des sols des trois bassins ne sont pas bien connues. La meilleure description disponible est celle résumée dans le tableau 13, où les sols ont été classés selon les 4 catégories de la méthode du S.C.S. D'après cette classification, le B.V.II est caractérisé par des sols ayant le potentiel de ruissellement le plus élevé (50%) de la surface en C, 50% en D), suivi par le B.V.I (100% en C). Par contre, la topographie plus accidentée du B.V.I tendrait à augmenter le ruissellement. Donc, il y a des fortes présomptions que l'extrême régularité du comportement du B.V.I en comparaison avec celui du B.V.II est due principalement à sa couverture forestière dense et sa végétation spontanée. Cette conclusion n'est certainement pas étonnante de fait que la forêt réduise

des crues ayant été constaté dans beaucoup d'études (UNESCO 1972). Est-ce que la ressemblance des régimes hydrologiques des B.V.I et B.V.III indique que l'arboriculture combinée avec des travaux C.E.S. a un effet hydrologique équivalent à celui d'une forêt ? Est-ce que ces techniques culturales ont été la cause principale d'un « bon » régime hydrologique dans le B.V.III ? Le tableau 13 indique que les rendzines de ce bassin ont un potentiel de ruissellement inférieur à celui des sols des deux autres bassins versants (100% en B). On ne peut donc pas écarter la possibilité qu'une nature de sol plus favorable soit une cause importante du faible ruissellement dans le B.V.III.

5.6.2. Les possibilités futures de déterminer l'effet hydrologique des bonnes techniques culturales

Les équations de régression multiple peuvent être considérées comme des équations d'étalonnage des bassins versants, qui permettent la prévision du ruissellement total et du débit maximal à partir des données de pluie. Il serait possible maintenant de traiter les bassins en appliquant d'autres techniques d'utilisation du sol. La différence entre les valeurs mesurées après traitement et les valeurs calculées d'après les équations, sera une mesure de l'influence du traitement. Du point de vue pratique, le traitement le plus intéressant à appliquer serait de substituer la céréaliculture traditionnelle du B.V.II par de bonnes techniques agricoles combinées avec des travaux C.E.S. afin de mesurer l'efficacité de ces techniques modernes réduisant le ruissellement. En plus de sa valeur scientifique, une telle étude aurait un impact démonstratif considérable.

Avant de considérer le traitement du B.V.II, on doit examiner la précision des équations de régression multiple en comparaison avec l'ampleur de l'effet hydrologique qu'on pourrait attendre de ce traitement. Pour une équation de régression avec la variable dépendante sous sa forme logarithmique (par exemple $\log Q$, $\log q_{\max}$), l'écart type est un pourcentage constant de la valeur de cette variable non transformée, à travers toute la gamme des valeurs (Riggs, 1968). L'équation la plus complète pour estimer $\log Q$ du B.V.II donne un écart type d'estimation de 0.1560 unités logarithmiques (tableau 11), ce qui est équivalent à une erreur d'estimation de Q moyenne de + 43% et - 30%. Par exemple, si la valeur moyenne de $\log Q$ est 1.3655 unités logarithmiques ce qui est équivalent à 23.2 mm, et pour un seul écart type, Q varie entre 33 mm et 16 mm. Pour l'équation du débit maximal ($q_{\max}$), les pourcentages à utiliser sont presque les mêmes (49% et - 33%).

Si l'application de techniques agricoles correctes au B.V.II. pouvait réduire les valeurs de Q et $q_{\max}$ à un tiers ou à la moitié de leurs valeurs actuelles, les équations pourraient être suffisamment précises pour dégager des différences significatives avant et après le traitement. A juger des grandes différences entre les B.V.II et B.V.III, une telle réduction n'est pas impossible. Néanmoins, des techniques de prévision plus précises seront probablement nécessaires.

Par exemple, la précision pourrait être améliorée avec des techniques d'analyse plus sophistiquées, telle que la modélisation de l'hydrogramme en employant les intensités de la pluie pendant la durée de l'averse (noter la sensibilité de l'hydrogramme aux changements de l'intensité sur la figure 5.2). Le grand nombre de crues déjà dépouillées pourrait fournir les bases d'un modèle de prévision suffisamment précis pour dégager l'effet hydrologique de l'amélioration des techniques agricoles, occasion qui se présente rarement en Afrique du Nord.



VI. CONCLUSIONS

Les mesures des pluies et des crues sur les trois petits bassins expérimentaux du Djougar pendant plus de 10 ans ont permis de décrire leurs caractéristiques hydrologiques. Bien que la précipitation soit pratiquement la même sur les trois bassins, le comportement hydrologique du bassin cultivé en céréales (B.V.II) a été très différent de celui du bassin versant forestier (B.V.I) et du bassin versant exploité en arboriculture avec banquettes (B.V.III), ces deux derniers ayant des comportements très semblables :

- La forme de l'hydrogramme du B.V.II est beaucoup plus irrégulière que celle des autres bassins. Ainsi chaque année, il y a 50 % de probabilité d'avoir une crue dans le B.V.II qui dépasse un débit de 3500 l/s/km^2 , pour un débit de 200 l/s/km^2 seulement dans les B.V.I et B.V.III.
- Environ 26% de la pluie a ruisselé dans le B.V.II, et 3% seulement dans les deux autres bassins versants.
- 40%, 70% et 80% du ruissellement total de la période d'observation s'est écoulé pendant les 5 crues les plus grandes enregistrées respectivement sur les B.V.II, B.V.I et B.V.III.

Parmi les variables de pluie examinées dans l'étude de régression et d'analyse factorielle, les plus étroitement liées à la lame d'eau écoulee (Q) et au débit maximal de la crue ($q_{\max}$) ont été : la hauteur de la pluie, l'intensité maximale de la pluie pendant 30 minutes et un indice de la pluie antécédente. Les équations de régression multiples établies avec ces trois variables expliquent de 66 à 89% de la variance totale de Q et de $q_{\max}$.

La méthode du «Soil Conservation Service» pour estimer la lame d'eau écoulee a donné des résultats corrects pour le B.V.II, mais trop élevés pour les 2 autres bassins. Étant donné que le B.V.I et B.V.III sont l'un et l'autre caractérisés par un complexe sol-végétation assez homogène, ces valeurs mesurées se prêtent à une extrapolation à d'au-

tres régions. L'accumulation de telles données sur de petits bassins versants comme ceux de Djouggar permettrait d'améliorer la précision de cette méthode pour les complexes sol-végétation typiques de l'Afrique du Nord. Par contre, le raffinement obtenu en utilisant la pluie antécédente, la saison ou l'intensité de la pluie, ne présente pas d'intérêt, du moins dans les conditions de sol et de végétation du Djouggar.

Le débat sur la cause des différences hydrologiques entre les bassins versants expérimentaux reste ouvert. Il est évident que l'agriculture abusive est responsable des fortes crues sur le B.V.II, mais un rôle important des variations de nature de sol et des autres facteurs physiques entre les 3 bassins ne peut être écarté. Une réponse définitive doit être attendue du traitement de ce bassin avec de bonnes techniques agricoles et de l'observation du changement de son comportement hydrologique.



BIBLIOGRAPHIE

AMAT, C : *Mise en place d'une station expérimentale de mesure du ruissellement et de l'érosion à Sidi Aouidet (Djebel Mansour)*. - Publication de l'Institut de Recherches Forestières, Tunis - I.N.R.F. 26, 1963. 7p.

BEDIOT, G., CORMARY, Y. : *Calcul de la lame d'eau écoulée d'après les caractéristiques physiques d'un bassin versant*. - Publication du Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural de Tunis, Note N° 87 HC. D 6, 1964. 84p.

BELAID, R., BELKHODJA, K. : *Essai de synthèse de l'évolution géomorphologique et pédologique du quaternaire en Tunisie*. - Sol de Tunisie N° 2, 1970. pp.23-65.

BENZECRI, J.P. : *Leçons sur l'analyse factorielle et la reconnaissance des formes*. - I.S.U.P, Paris, 1966. 80p.

BETHLAHMY, N. : *Rapid calibration of watersheds for hydrologic studies*. - Association International d'hydrologie Scientifique, Bull. VIII : 38-42, 1963.

BORTOLI, L. GOUNOT, M., JAQUINET, J. : *Climatologie et bioclimatologie de la Tunisie Septentrionale. Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie*. - Vol. 42, Fasc. 1, 1969. 235p.

BRECHTEL, R. : *Der Einfluss der Bodenerosion auf die Böden des Medjerda - Tales und seiner Randgebiete*. Inaugural-Dissertation, Justus Liebig-Universität Giessen, 1970. 102p.

CAYET, M. : *Méthode de prévision des crues à partir de l'information pluviométrique quotidienne*. - Direction de la Météorologie Nationale, Tunis. - Note de travail N° 6, 1974. 12p.

COIGNAC, de, B., BAILLY, DE VERGNETTE, MALVOS, HUEBER, : *Étude de l'économie de l'eau à Antonimora (Sud de Madagascar)*. - Revue Bois et Forêts des Tropiques N° 136 : 3-20. 1971.

CORMARY, Y. : *Problèmes de mesures de débit solide en suspension*. - Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural, Tunis, N° 0.69, Note HC. B.9., 1963. 74p.

CORMARY, Y. : *Les pluies en Tunisie ; Étude des relations pluie, fréquences, intensité, durée*. - Publication du Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural, Tunis, Note HCD 5, 1964.

CORMARY, Y., LUCIDO, BEDIOT, G. : *Périmètre expérimental de Djouggar. Érosion, ruissellement, travail du sol. Résultats de 18 mois d'expérimentation sur parcelles*. - Publication du Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural, Tunis, Ref. C.E.S. D 15 N° 91, 1964. 78p.

C.R.E.G.R. : *Les parcelles expérimentales de mesure de l'érosion et du ruissellement*. - Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural, Tunis, Note 91 (bis) C.E.S. D 15, 1963. 50p.

C.R.E.G.R. : *Calcul du volume ruisselé à partir des observations de pluviomètres*. - Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural, Tunis, Fiche Technique, Climatologie Hydrologie 32/1/1/, 1965.

DUBREUIL, P. : *Présentation du recueil de données de base des bassins représentatifs et expérimentaux de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (France) AIHS, Colloque de Wellington (N.Z) sur les résultats des recherches sur les bassins représentatifs et expérimentaux*. - AIHS, Publication N° 96, 1970. pp. 681-691.

DUBREUIL, P. : *Le rôle des paramètres caractéristiques du milieu physique dans la synthèse et l'extrapolation des données hydrologiques recueillies sur bassins représentatifs*. - AIHS, Colloque de Wellington (N.Z) sur les résultats des recherches sur les bassins représentatifs et expérimentaux - AIHS, Publication N° 96, 1970. pp. 583-590.

DUMAS, J. : *Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques*. - Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural, Tunis, Note 104 C.E.S D 18, 1965.

ELSHOLZ, M., GUTMANN, A., STASCHEN, G. : *Monographie de l'Oued Miliane*. - Division des Ressources en Eau, Tunis. 1973. 165p.

GAUCKLER, P. : *Enquête sur les installations hydrauliques romaines En Tunisie*. Direction des Antiquités et Beaux Arts. - Imprimerie Rapide, Tunis, 1897. 236p.

GIESSNER, K. : *Naturgeographische Landschaftsanalyse der tunesischen Dorsale (Gebirgsrücken)*. - Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft zu Hannover, Hannover 1964, 244p.

GOUNOT, M., SCHOENENBERGER, A. : *Carte phyto-écologique de la Tunisie Septentrionale*. - Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie. - Vol 40, Fasc. 2, 1967, 426p.

HEINEMANN, H.G., PIEST, R.F. : *Soil erosion-sediment yield research in progress*. - EOS 56 (3) : 149-159. 1975.

HEWLETT, J.D. : *Review of the catchment experiment to determine water yield*. - In : Proceedings of the joint FAO/USSR International Symposium on Forest Influences and Watershed Management. Rome, FAO 1970. pp 145-155.

HEWLETT, J.D., LULL, H.W. and REINHART, K.G. : *In defense of experimental watersheds*. - Water Res. Research 5 (1) : 306-316. 1969.

HUAUX, G. : *Synthèse des notes rédigées en matière de «conservation des eaux et du sol» au Centre de Génie Rural*. - Centre de Recherches et d'Expérimentation du Génie Rural, Tunis, 1967. 27p.

HUAUX-DECEULENER, G. : *Jaugeage au moulinet et courbe d'étalonnage des stations hydrométriques*. - Centre de Recherches et d'Expérimentation du Génie Rural, Tunis, Note 138 C.E.S. D 20, 1970. 55p.

JACQUET, J. : *Quelques réflexions sur la définition des bassins représentatifs et l'extrapolation de leurs résultats*. - AIHS, Colloque de Wellington (N.Z) sur les résultats des

recherches sur les bassins représentatifs et expérimentaux - AIHS, Publication N° 97, Vol. II, 1970. pp. 339-346.

KALLEL, R. COLOMBANI, J., EOCHE DUVAL, J.M. : *Les précipitations et les crues exceptionnelles de l'automne 1969 en Tunisie*. Publication de la Division des Ressources en Eau de Tunisie. - N° 2, 1972. pp. 49-121.

KOONER, J.L., EVANS, T.C. : *A method for determining the minimum duration of watershed experiments*. - Trans. Amer. Geophysical Union 35 : 608-612. 1954.

LEOPOLD, L.B. : *Hydrologic research on instrumented watersheds*. - AIHS, Colloque de Wellington (N.Z) sur les résultats des recherches sur les bassins représentatifs et expérimentaux - AIHS, Publication N° 97, Vol. II, 1970 pp. 135-150.

LUSBY, G.C., REID, V.H., KNIPE, O.D. : *Effects of grazing on the hydrology and biology of the Badger Wash Basin in western Colorado, 1953-1966. Hydrologic effects of land use*. - U.S. Geol. Surv. Washington, Water Supply Paper 1532-D. 1971. 90p.

MASSON, J.M., CORMARY, Y. : *Etude d'ensemble d'un grand bassin versant, Oued Miliane*. - Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural, Tunis, Note N° 67 C.E.S. C 10, 1963.

MASSON, J.M., CORMARY, Y., BEDIOT, G. : *Les bassins versants expérimentaux du Djouggar*. - Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural, Tunis, Note N° 100 bis, HC: D 7, 1965, 70p.

MASSON, J.M. : *L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ*. - Thèse, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 1971, 213p.

MEGARD, J. : *Station de mesure des transports solides, liquides et en suspension de l'Oued Zargha. Résultats d'exploitation pour l'année hydrologique 1957 - 1958*. - Office de la Mise en Valeur de la Vallée de la Medjerdah, Tunis, Rapport Tu 63, 1958. 16p.

MENSCHING, H. : *Tunesien : eine geographische Landeskunde* Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1968, 281p.

MOORE, W.L., MORGAN, C.W. (ed) : *Effects of watershed changes on streamflow*. - University of Texas Press, Austin, 1969. 289p.

OSBORN, H.B., LANE, L. : *Precipitation-runoff relations for very small semiarid rangeland watersheds*. - Water Resources Research 5 (2) : 419-425. 1969.

REINHART, K.G. : *Calibration of five small forested watersheds*. - Trans. Amer. Geophysical Union 39 : 933-936. 1958.

RENARD, K.G. : *Sediment rating curves in ephemeral streams*. - Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 12 (1) : 80-85. 1969.

RIGGS, H.C. : *Some statistical tools in hydrology*. - Chapter A1 : Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, U.S. Geological Survey, Washington. 1968. 39p.

S.C.E.T., Mission C.R.E.G.R. : *La station mobile d'érosion (simulateur de pluie) résultats d'une campagne d'essais : 1962.* - Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural, Tunis, Note 0.55 C.E.S. D 2, 1963. 64p.

S.C.E.T., Mission C.R.E.G.R. : *Périmètre expérimental du Djouggar ; Bassins versants expérimentaux, description et mode de fonctionnement.* - Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural, Tunis, Note 100 HC D 7, 1964. 86p.

SCHREIBER, H.A., KINCAID, D.R. : *Regression models for predicting on-site runoff from short-duration convective storms.* - Water Resources Research. - 3 (2) : 389-395. 1967.

SIMANTON, J.R. RENARD, K.G., SUTTER, N.G. : *Procedure for identifying parameters affecting storm runoff volumes in a semiarid environment.* - Agricultural Research Service, U.S.D.A. ARS-W-1. 1972. 12p.

S.C.S. (SOIL CONSERVATION SERVICE) : *National engineering handbook, section 4.* Hydrology U.S.D.A., Washington. 1972.

S.C.S. (SOIL CONSERVATION SERVICE) : *Hydrology for soil and water conservation in the coastal regions of North Africa.* - U.S.D.A., Washington. 1967. 15p.

SOPPER, W.E., LYNCH J.A. : *Changes in water yield following partial forest cover removal on an experimental watershed.* - AIHS, Colloque de Wellington (N.Z) sur les résultats des Recherches sur les bassins représentatifs et expérimentaux - AIHS, Publication N° 96. 1970. pp. 369-389.

STUCKMANN, G. : *Hydrogeographische Untersuchungen im Bereich der mittleren Medjerda und ihre Bedeutung für den Landschaftshaushalt in Nordtunesien.* - Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft zu Hannover, Sonderheft, 3, Hannover, 1968. 157p.

TOEBES, C., OURYVAEV, V. : *Les bassins représentatifs et expérimentaux ; Guide international des pratiques en matière de recherche.* - UNESCO, Études et rapports d'hydrologie N° 4, 1970. 360p.

TOMASSONE, R., HAMROUNI, M.A., JOLY, S. : *L'analyse factorielle des correspondances.* - IUFR0, 3^e Conférence du Groupe Consultatif des Statisticiens Forestiers. Paris, INRA, 1972. pp. 161-173.

UNESCO : *Working group on the influence of man on the hydrological cycle : Influence de l'homme sur le cycle hydrologique : aperçu des méthodes utilisées pour la mise en valeur rationnelle des ressources en terres et en eaux.* - Dans : *Bilan et tendance de la recherche en hydrologie 1965-74.* Une contribution à la décennie hydrologique internationale. - UNESCO, Paris, Études et Rapports d'Hydrologie N° 10, 1972. pp. 31-70.

URSIC, S.J., POPHAM, T.W. : *Using runoff events to calibrate small forested catchments* - In : 14th IURRO Congress, Vol. 1, München, 1967. pp. 319-324.

Annexe

ANNEXE 1. PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

La pluviométrie journalière présentée dans les tableaux de l'Annexe 1 est parfois légèrement différente de $P_{2,4}$ définie comme étant la pluie de 7h à 7h. Car l'heure du début de la première coïncide avec l'heure d'arrivée de l'observateur (entre 10 et 12 heures). Ce changement avait pour but de pouvoir vérifier la pluie enregistrée sur la bande, avec l'eau mesurée dans le bidon du pluviographe aussi bien qu'avec la pluie mesurée dans le pluviomètre voisin. Bien entendu les deux méthodes donnent la même moyenne mensuelle. Étant donné ce contrôle soigneux et de plus le contrôle du grand nombre des autres appareils au Djougar (y compris le contrôle par «double masse»), on estime que ces données sont d'une bonne précision. Pour cet appareil (N°DRES* 4131) l'intensité de la pluie a été dépouillée pour chaque précipitation de plus de 5 mois, par tranches de 15 minutes. Ces intensités ont servi pour la préparation de la figure 5.

* DRES : Direction des Ressources en Eau et en Sol

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djougar
B.V. II Pluviographe 1
N° DRES 4131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1963 - 1964

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0,5	0	0	4,5	0	0	0	0	0	3,0	0
3	0	3,1	0	0	5,0	0	5,6	0	0	0	3,6	0
4	0	0	0	0	8,9	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	5,8	10,1	0	1,3	0	0	0	0	0
6	15,2	0	0	0	0,4	0	1,0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0,1	7,6	0	0	0	3,0	0	0
8	0	2,2	0	0	0,3	7,1	0,5	0	0	0	0	0
9	0	1,2	0	23,8	1,2	0	5,2	0	0	0	0	0
10	0	1,2	0	4,2	0	0,5	0	31,2	0	0	0	0
11	0,9	28,4	0	0	0	0	0	2,7	0	0	0	0
12	32,1	2,6	0	0	0	0	1,6	3,2	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	3,8	0	0	0	0	1,4	0	0	0	0	0	0
15	5,5	0	0	0	0	4,1	1,4	0	0	0	0	0
16	3,1	0	0	6,7	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0,6	0	0	3,1	8,3	0	0	0	0	0	0	0
18	0,1	0	0	3,5	0,8	0	0	0	0	0	0	0
19	9,1	0	0	0	2,8	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0,1	0	0	0	2,2	0	0	0	0
21	0	0	0	0	24,8	0	0	0	0,3	0	0	2,6
22	0	0	0	0,1	26,8	1,1	0	0	0,2	0	0	0
23	0	0	0	6,8	0	0	0	0	8,2	0	0	10,4
24	1,0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	0	0	7,5
25	13,2	0	0	18,5	0,7	11,9	0	0	6,7	0	0	2,4
26	0	0	0	2,9	1,6	0	0,6	0	2,6	0	0	1,4
27	0	1,5	0	11,9	17,9	0	3,8	0	8,1	0	0	16,7
28	0	9,3	1,2	0,6	55,9	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0,3	0	2,1	3,0	0,4	0	0	0	0	0	37,2
30	0	0	0	11,5	0,7	0	3,8	0	0	0	0	0,7
31	0	0	0	1,3	1,5	0	0	0	0	0	0	0

Pluviométrie mensuelle 84,4 50,3 1,2 102,9 175,8 34,1 24,8 39,3 27,1 3,0 6,6 79,0

Hauteur annuelle 628,5

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djougar
B.V. II Pluviographe 1
N° DRES 4131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1964 - 1965

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	2,1	45,5	1,5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1,2	8,6	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	3,4	10,5	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0,8	0,6	5,9	0	0,3	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	3,2	0	17,2	0,6	2,6	0	0	0	0	0
12	0	0	1,0	0	2,6	0,6	3,6	0	0	0	0	0
13	0	0	1,3	0	0,2	0	0	0,4	0	0	0	0
14	0	0	0	2,0	14,8	1,2	10,6	0	0	0	0	0
15	0	0	0	10,4	0	2,1	4,1	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0,8	0	1,5	0,4	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	7,5	1,4
18	0	0	0	5,5	0	0	0,8	0	0	0	0	0,4
19	0	1,4	0	0,9	13,6	7,0	19,6	0,5	0	0	3,1	21,0
20	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	1,3	13,9
21	0	0	0	0	4,9	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0
23	0	7,0	0	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0,8
24	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	5,5	0	0	0	0	3,0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	1,1	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,0	0
29	0	22,0	0	0	0	0	0	0	11,1	0	0	0
30	0	162,0	0	0	0	0	0	0,8	0,1	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0
Pluviométrie mensuelle	0	193,4	6,5	26,4	103,6	16,5	55,4	19,6	15,8	0,3	16,2	37,5
Hauteur annuelle	491.2											

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djougar
B.V. II Pluviographe 1
N° DRES 4131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1965 - 1966

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	2,2	0	0,4	1,3	-	-	-	-	-	-	0	0
2	5,7	0	0	0,6	-	-	-	-	-	-	0	0
3	18,6	0	0	1,2	-	-	-	-	-	-	0	0
4	0	0	0	3,1	-	-	-	-	-	0	0	0
5	0	1,2	0	0	-	-	-	-	-	6,6	0	0
6	0	0	0	0	-	-	-	-	-	2,5	0	0
7	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0
8	0	0	4,4	0	-	-	-	-	-	0,8	0	0
9	0	5,8	16,8	2,8	-	-	-	-	-	0	0	0
10	1,5	0	0	1,5	-	-	-	-	-	0	0	0
11	2,7	0	0	12,0	-	-	-	-	-	0	0	0
12	4,4	0	0	0,1	-	-	-	-	-	0	0	0
13	0,1	0,7	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0
14	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0
15	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	10,1	0
16	0	0,7	0	0	-	-	-	-	-	0	1,0	0
17	0	0,3	0	0,1	-	-	-	-	-	1,5	0	0
18	0,1	0,2	0	0	-	-	-	-	-	5,5	0	0
19	0	0	0	0,1	-	-	-	-	-	0	0	5,6
20	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	9,0
21	0	0	0,3	3,1	-	-	-	-	-	0	0	0
22	1,7	0	10,0	1,8	-	-	-	-	-	0	0	0
23	0	5,6	0,5	0	-	-	-	-	-	0	0	0
24	0	0	2,9	0	-	-	-	-	-	0	0	0
25	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0
26	0	0	0	0,1	-	-	-	-	-	0	0	0
27	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0
28	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0
29	0	0	0	0,2	-	-	-	-	-	0	0	0
30	0	8,3	6,1	22,9	-	-	-	-	-	0	0	0
31	0	22,7	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0
Pluviometrie mensuelle	37,0	45,5	41,4	50,9	-	-	-	-	-	-	11,1	14,6

Hauteur annuelle: (incomplet)

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djougar
B.V. II Pluviographe 1
N° DRES 4131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1966 - 1967

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0
3	0	0	24,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,2	0	0	0,5	0	0	0	0	0,8	0	0	0
5	0	0	0	1,4	0	18,4	0	0	0	0	0	0
6	0	1,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	2,5	0	0	0,2	7,2	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,3	0	0
10	0	0	14,7	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0,2	0	8,6	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0,6	0	0	0,9	4,1	0,3	0	0	0
14	0	0	0	0	0,9	1,2	4,6	0	0	0	0	0
15	0	0,1	0	0	0,5	4,6	0	0	2,0	0	0	0
16	(9,2)	26,7	3,0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
17	(6,6)	0	3,1	0	0	3,0	0	0	2,9	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	4,8	0,1	0,0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	3,4	0	2,6	0,4	0	9,6
20	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0
22	0	0,1	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	13,4	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
25	9,4	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	2,0
26	0	0	0	0	0	0	0,6	2,9	0	0	0	2,0
27	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	4,2	0
28	4,5	0	0,3	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	10,6	0	0	0	0	0	0,5	0	0
30	0	0	0	0	0	0	7,6	0	0	0	0	2,7
31	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pluviométrie mensuelle (29,9) 31,2 45,7 29,0 2,3 44,0 21,9 13,9 10,7 4,2 4,2 16,3

Hauteur annuelle 274.

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djougar
B.V. II Pluviographe 1
N° DRES 4131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1967 - 1968

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	0	0	2,8	1,2	0	0	0	0	0	9,8	0	0
2	0,5	0	0	6,2	7,5	0	3,2	14,2	0	0,4	0	0
3	3,7	7,2	0	1,6	1,4	0,3	0	0	0	5,0	0	0
4	0	0	0	0	5,0	0,8	0	0	0	19,4	0	0
5	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	6,2	0	0	0	0	0
8	4,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
9	(29,1)	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	0	0
11	0,9	0	0	1,8	13,8	0	5,1	10,4	0	1,7	0	0
12	0,3	0	0	9,3	4,7	0	0,8	1,2	0	4,4	0	0
13	0	0	0	0	1,7	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	9,9	0	20,4	0	0
15	0	0	0	2,4	34,7	11,4	0	0	0	0	10,3	0
16	0	0	0	0	0	4,0	8,5	0	0	0	0	0
17	0	0	0	1,1	0	0	0	0	0	0	1,4	0
18	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	2,4	9,4	0	0	0	0	1,0	0	0
21	0	0	34,4	0	19,6	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	35,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0,2	0	0,3	0	0	0	0	10,2	0	0
24	0	1,7	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0
25	0	1,8	0,1	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0,4	0	0,4	0	0	0	13,9	0	0	0
28	0	0	1,7	0	0	12,5	0	0,2	20,4	0	0	0
29	0	0	0	0	0	10,0	0	1,2	2,0	0	0	0
30	0	0,4	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pluviométrie mensuelle	41,0	11,8	76,6	26,4	65,9	39,0	23,8	37,1	36,3	74,8	11,7	0,5

Hauteur annuelle 445,1

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djounggar
B.V. II Pluviographe 1
N° DRES 4131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1968 - 1969

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	0	0	0	0	1,7	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	5,9	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0,7	2,7	13,2	0	1,6	2,4	0	0	5,3	0
4	0	0	2,0	1,2	0	2,3	9,8	1,9	10,5	1,5	2,2	0
5	0	0	0	0	0	1,0	0	0,3	11,5	2,8	0	0
6	0	0	0	0	0,6	1,1	0	1,2	0	0	0	8,4
7	0	0	0	0	0,3	0	0,6	10,2	0,4	0	0	0
8	0	0	0	0	0,4	0	8,4	4,6	0	0	0	0,6
9	1,2	0	0	0	1,5	0	0	5,8	0	0	0	0
10	0	0	0	0	9,0	0,4	0	2,9	0	0	0	16,4
11	0	0	0	3,0	0,1	0,6	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	10,3	1,2	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	1,4	1,4	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0,5	0	3,6	2,0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	10,0	0,3	0	0	0	7,3
16	0	0	0	0	7,0	0	0,5	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	2,0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	3,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	5,8	0	0	0	2,2	0,9	0	0	0	0	0
21	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
23	0	0	0	0	0	7,0	2,0	0	0	0	0	0,5
24	0	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	3,0	0	14,0	0,8	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0,6	0	2,5	2,6	0	0	0	0	0
29	0,6	0	5,4	0	0	0	2,3	0	0	0	0	0,4
30	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0,4
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pluviométrie mensuelle	1,8	9,6	8,1	21,8	43,4	31,1	45,1	33,0	22,4	4,3	7,5	34,5

Hauteur annuelle 262.6

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djougar
B.V. II Pluviographe 1
N° DRES 4131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1969 - 1970

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	0	12,9	0,8	2,4	0	0	0	4,2	0	0	0	0
2	0	0	0	0	3,3	0	0,8	9,0	0	0	0	0
3	0	0,2	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0
4	1,1	0	0	0	0	0	0,7	0	0	0	0	0
5	0,2	60,0	0	11,5	12,8	0	0	0	0	0	0	0
6	0	112,1	0	0,9	1,2	0	0,7	0	0,8	0	0	0
7	1,8	0	0	2,0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0,2	0	0	0,3	0	0	0	3,0	0	0,4	0	0
9	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	25,0	0	0	0	0	0	15,5	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0,2	0	2,2	0,7	0	0	0	0
12	0	0	0	0	2,8	0	0	0	0	0	0	0
13	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	3,6	0	0	1,9	0	3,0	0	0	0	0	0
15	0	0,4	0	0	2,7	0	5,8	0	0	0	2,4	0
16	6,2	14,3	0	0,4	0	0	0,5	0	0	0	0	0
17	0	1,4	0	(4,9)	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	17,1	(9,8)	0	2,0	0	0	0	0	0	0
19	0	2,7	0	17,6	0	0	0	0	11,2	0	0	0
20	3,6	0	0	2,0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	7,9	62,7	0	0	0	0	0	5,0	0	0	0	0
22	0,8	11,6	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0
23	0,6	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
24	27,0	0,3	0	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0
25	46,6	10,3	0	0	0	5,1	0	0	0	0	0	0
26	25,0	14,2	0,6	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0
27	8,8	80,0	0,6	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0
28	0	5,8	0	1,4	0	0	1,4	0	0	0	0	0
29	0	14,8	0	0	0	0	0	0	5,8	0	0,2	0
30	0	0,0	0	0	3,6	0	0	0	0,8	0	0	0
31	0	4,4	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0

Pluviométrie mensuelle 132,0 436,7 19,1 (55,8) 29,7 8,9 15,5 37,4 18,6 0,4 2,6 0

Hauteur annuelle 756.7

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djougar
B.V. II Pluviographe 1
N° DRES 4131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1970 - 1971

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	0	0	0	0	0	0	3,2	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0,3	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0,3	11,0	1,4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0,4	0,5	0	0	0	2,9	0	0
6	0	0	0	0	4,0	0	0	0	0	5,3	0	0
7	0	0	0	0	0,8	0	0,2	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0,4	0,1	0	0	0	0
9	0	0	0	80,0	0	117,5	0,9	6,5	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0,1	3,0	0,9	0	0	0
11	0	0	0	0	0	6,4	0	0	25,3	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	2,0	0	0	0
13	0	0	0	0,8	0	0	2,0	0	0	0	0	0
14	0	0,4	1,6	15,6	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	1,6	0	5,6	8,8	0,2	4,0	0	0	0	0	0
16	0	3,0	0	0	9,8	0,3	0	0	0	0	0	0
17	0	7,2	0	0	0,1	0,9	0,4	2,5	0	0	0	0
18	0	0	0	0	2,0	0,9	0	0	0	0	0	0
19	5,8	0	0	0	0	21,6	0	0	0	0	0	0
20	5,6	0	0	52,4	0,5	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	13,0	0	4,4	4,0	0	0	0	0	0
22	0	24,8	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	3,7
23	0	0	0	0	0	17,4	1,4	0	7,4	0	1,0	0
24	0	1,4	0	0	0	22,6	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1	0	0	0
28	0	0	0	0,3	0	0	0,2	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0,3	0	0	2,8	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pluviométrie mensuelle	11,4	38,4	1,6	168,0	28,9	204,1	21,0	12,1	40,9	8,2	1,0	3,7
Hauteur annuelle	539,3											

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djougar
B.V II Pluviographe 1
N° DRES 4131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1971 - 1972

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	0	22.2	0	0	0	0	0	4.4	0	1.2	0	0
2	0	60.0	0	0	0	0	7.0	0	21.0	0	0	10.8
3	0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	16.8	8.7	0	21.7	0	0	0	0	0	1.0	0	0
5	2.2	2.6	0	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	16.0	0	4.0	0	0	0	0	5.7	0	0	0
7	0	0	0	4.0	0	0	0	0	2.0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0.7	0	0
9	0	0	0	3.2	0	0.7	0	0	0	0	0	0
10	0	1.2	0	1.7	0	0.5	0	44.4	0	6.5	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
12	0	0	0	0	3.8	2.0	0	4.6	0	0	0	0
13	1.8	0	0	0	1.0	1.2	0	0.8	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0	0	0	0
15	20.2	0	0	0	0	0	0	5.0	0	0	0	0
16	1.2	3.0	0	0	0	0	29.2	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	8.4	0	4.4	0	0	12.2
18	0	0	0	0	0.9	0	0	22.0	0.4	0	0	0
19	0	0	1.7	0	21.4	0	0	3.6	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	0
21	0	0	0.5	0	6.0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	1.0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	2.2	0	0	0	0	0	0	0
24	0.4	0	0	0	0	20.3	2.4	0	0	0	0	0
25	6.6	0	0	0	0	0	0	7.0	0	0	0	0
26	4.9	0	21.2	0	17.7	0	0.1	1.9	0	0	0.6	0
27	0	6.8	0	0	1.4	0	0.8	1.0	0	0	0	6.8
28	0	2.8	0	0	1.5	1.8	0	0	0	0	0	4.0
29	5.3	1.8	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	3.6
30	6.2	0	0	4.0	1.2	0	4.7	3.9	0	0	0	3.4
31	0	1.4	0	0	0	0	2.2	0	0	0	0	0
Pluviométrie mensuelle	65.6	127.5	23.4	43.8	58.1	28.5	54.8	99.8	33.5	9.4	2.8	40.8
Hauteur annuelle	588.0											

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djougar
B.V. II Pluviographe 1
N° DRES 4131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1972 - 1973

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	0	0	0	30,9	3,1	0	0	0	0	0	0	-
2	2,2	0	0	0	0	3,8	1,2	0	0	0	0	-
3	7,5	0	0	0	0	0,2	2,3	0	0	0	0	-
4	8,2	0	0	30,0	1,1	31,0	0	1,5	0	8,3	0	-
5	0	0	0	0	0	3,1	0	0	0	0	0	-
6	6,6	9,6	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0	-
7	7,4	60,0	0	0	3,6	0	0	0	0	0	0	-
8	7,4	0	0	0	3,4	0	0	0	0	0	7,3	-
9	0	0	0	0	2,6	4,4	0	0	0	0	0	-
10	0	0	0	0	1,6	0,8	0	0	0	0	0	-
11	0	0	0	0	0	5,7	7,6	0	0	0	0	-
12	0	0	0	0	1,0	0	7,9	0	0	0	0	-
13	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
14	0	1,8	0	2,3	0	2,0	1,9	8,2	0	0	0	-
15	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	-
16	0	0	0	0	0	0,5	28,4	0	0	0	0	-
17	0	0	0	0	0,7	3,6	0	9,6	0	0	0	0,7
18	0	0	0	0	0	0	1,6	32,0	0	0	0	0
19	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0	0
20	0	6,0	0	0	0	0	0	1,8	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	5,4	0	0	0	1,0	0	0
22	0	0	0	0	4,3	0	6,6	0,1	0	0	0	0
23	0	0	0	0	24,5	0	5,5	0,4	0	0	-	0
24	0	0	0	0	20,2	0,4	5,0	0	0	0	-	9,3
25	0	0	0	0	7,3	4,2	0,5	0	0	0	-	0
26	0	0	0	2,3	0	7,6	11,5	0	0	0	-	0
27	1,4	0	0	5,0	0	6,2	13,7	0	0	0	-	0
28	0	2,0	24,2	7,9	7,9	1,0	9,7	0	0	0	-	15,7
29	0	2,8	1,2	12,2	6,0		3,2	0	0	0	-	0
30	0	0	0	24,7	0		5,8	0	0	0	-	0
31		0			0		0		0			0
Pluviométrie mensuelle	40,7	84,2	25,4	115,3	88,0	81,3	212,6	53,6	0	10,0	7,3	25,7
Hauteur annuelle	744,1 mm (Incomplet)											

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djougar
B.V II Pluviographe 1
N° DRES 4 131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1973 - 1974

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	1.4	0	0	0	0	(0.2)	0	0	0	0	0	-
2	0	0	0	0	0	(0)	0	0	0	0	0	-
3	0	0	0	12.0	0	(0)	12.4	0	0	0	0	-
4	0	0	0	20.4	0	(0.9)	3.8	11.0	2.4	0	0	-
5	0	0	0	114.8	0	(0)	0	3.3	0	0	0	-
6	0	0	0	0	0	(0)	0	0	0	0	0	-
7	0	0	0	0	0	(1.9)	0	0	0.8	0	0	-
8	0	0	0	0	0	(0)	0	0	0.4	0	0	-
9	0	0	0	0	0	(0)	1.1	0.6	0	0	0	-
10	0	0	0	0	0	(0)	0	1.3	0	0	0	-
11	0	0	0	9.4	0	(0)	4.0	4.2	0.6	0	0	-
12	0	0	0	(64.0)	0	(0)	3.9	3.4	0	0	0	-
13	0	0	0	(41.0)	0	(3.8)	0	0.7	0	0	0	-
14	0	0	0	0	0	(0.9)	0	0.2	2.1	2.8	0	-
15	0	0	0.7	0	1.1	(0)	1.3	0	0	0	0	-
16	0	0	0	0	0	(0)	0	0	0	0	0	-
17	1.7	0	0	0	0	(0)	0	1.2	0	0	0	-
18	0	0	0	0	0	(0)	0	0	0	0	0	-
19	0	0	29.4	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.0	0	-
21	0	0	0	3.6	0	9.8	0	0.6	0	0	0	-
22	0	0	0	0	0	24.6	0	0	0	0	0	-
23	0	0	0	1.0	(0)	0	0	15.6	0	0	0	-
24	0	1.0	0	0	(0)	0	0	12.0	0.3	0	0	-
25	0	32.5	0	0	(0)	1.4	0	0	0	0	2.2	-
26	0	17.6	0	0	(0)	4.1	0	0	0	0	0	-
27	0	8.8	0	3.0	2.6	0	0	0	0	0	0	-
28	0	3.3	2.0	0.9	(0)	0	0	0	0	0	0	-
29	0	0	0	0	(0)	0	0	1.4	0	0	0	-
30	0	0	0	0	(0)	0	0	0.3	0	0	0	-
31		0	0	0	(0)	0	14.7	0	0	0	0	-
Pluviométrie mensuelle	3.1	63.2	31.4	270.1	3.7	48.2	41.2	55.8	6.2	29.2	2.2	-
Hauteur annuelle	554.3 (Incomplet)											

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Djougar
B.V. II Pluviographe 1
N° DRES 4131

ANNEE HYDROLOGIQUE 1974 - 1975

DATE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	0	0	0	7,6	0	0	0	6,4	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	4,5	9,0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	100,0	0	0	2,4	0	0	
5	0	0	22,8	0	0	4,6	0	0	1,3	0	0	
6	0	4,5	4,7	0	0	18,8	8,1	0	0	0	0	
7	0	0	13,2	0	0	0	34,6	0	0,6	0	0	
8	0	0	1,1	0	0,4	0	1,3	0	5,2	0	0	
9	0	0	0	0	0	5,8	0,6	0	0	0	0	
10	0	8,2	0	0	0	1,8	0	0	1,4	0	0	
11	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	2,4	0	0	
12	1,3	0	0	2,0	0	6,2	0	0	3,1	0	0	
13	0	0	0	1,9	0	0,4	0,4	0	0,2	0	0	
14	0	20,6	0	0	0	0	0	7,8	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	10,4	0	0	0	0	0	
16	3,6	0,1	0	0	0	15,8	0	0	0	0	0	
17	0	8,3	0	0	0	20,8	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	
19	0	0,7	0	0	4,6	0	0	0	0	0	0	
20	0	1,9	0	0,6	0	0	1,5	0	0,2	0	0	
21	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0,2	3,7	14,0	0	0	0	
23	0	0	0	0	3,5	0,6	0,7	3,2	0	0	0	
24	1,9	0	0	0	1,5	2,9	0	0	1,8	0	0	
25	0	0	0	1,4	0	1,4	0	0	11,3	0	0	
26	0	0	0	0	0	3,3	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	
28	0	2,7	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	30,8	1,4	0,2	0	0	-	0	0	0	0	0	
30	1,1	0	0,5	0	0	-	0	0	0	0	0	
31	-	1,5	-	2,8	0	-	4,7	-	0	0,2	0	
Pluviométrie mensuelle	39,1	50,3	42,8	16,4	14,5	203,3	55,6	31,4	29,9	0,2	0	
Hauteur annuelle	483,5 (Incomplet)											

ANNEXE 2. LE COEFFICIENT D'INDEXATION (C)

Culture ou végétation	Traitement ou pratique	Condition de la végétation	Groupes hydrologiques de sols			
			A	B	C	D
— Jachère	en ligne de pente	----	77	86	91	94
— Culture en ligne	en ligne de pente	faible	72	81	88	91
	en ligne de pente	bonne	67	78	85	89
	en courbe de niveau	faible	70	79	84	88
	en courbe de niveau	bonne	65	75	82	86
	c.de niv. et banquettes	faible	66	74	80	82
	c.de niv. et banquettes	bonne	62	71	78	81
— Céréales (sauf maïs)	en ligne de pente	pauvre	65	76	84	88
	en ligne de pente	bonne	63	75	83	87
	courbe de niveau	pauvre	63	74	82	85
	courbe de niveau	bonne	61	73	81	84
	c.de niv. et banquettes	pauvre	61	72	79	82
	c.de niv. et banquettes	bonne	59	70	78	81
— Légumineuses (1) ou prairie dans une rotation	en ligne de pente	faible	66	77	85	89
	en ligne de pente	bonne	58	72	81	85
	courbe de niveau	faible	64	75	83	85
	courbe de niveau	bonne	55	69	78	83
	c.de niv. et banquettes	faible	63	73	80	83
	c.de niv. et banquettes	bonne	51	67	76	80
— Pâturage naturel ou parcours	-----	faible	68	79	86	89
	-----	moyenne	49	69	79	84
	-----	bonne	39	61	74	80
	courbe de niveau	faible	47	67	81	88
	courbe de niveau	moyenne	25	59	75	83
	courbe de niveau	bonne	6	35	70	79
— Prairie permanente	-----	bonne	30	58	71	78
— Bois et banquettes	-----	faible	45	66	77	83
	-----	moyenne	36	60	73	79
	-----	bonne	25	55	70	77
— Arbords de ferme	-----	----	59	74	82	86
— Pistes boueuses à surface dure (2)	-----	----	72	82	87	89
	-----	----	74	84	90	92

(1) — semées en ligne très serrées ou à la volée .

(2) — compter aussi les bermes.

Tableau A.2.1. COEFFICIENT D'INDEXATION POUR LES DIFFÉRENTS COMPLEXES SOL-VÉGÉTATION (valables pour la condition A.II d'antécédents de pluie)

Tableau A 2.2. LA DÉFINITION DE LA CONDITION DE PLUIE
ANTÉCÉDENTE D'APRES LE TOTAL DES PLUIES DE 5 JOURS PRÉCÉDANT LA CRUE.

Condition de pluie antécédente	Le total de la pluie de 5 jours précédant (en mm)	
	Saison de repos végétatif	Saison de croissance de la végétation
A _I I	< 12	< 35
A _I II	de 12 à 28	de 35 à 53
A _I III	> 28	> 53

Tableau A 2.3. LA CONVERSION DU COEFFICIENT D'INDEXATION (C)
POUR DES CONDITIONS DIFFÉRENTES DE PLUIE ANTÉCÉDENTE

Condition de pluie antécédente		
A_1 II	A_1 I	A_1 III
100	100	100
90	78	96
80	63	91
70	51	85
60	40	78
50	31	70
40	22	60
30	15	50
20	9	37
10	4	22

ANNEXE 3 . L'ANALYSE MULTIVARIABLE DE LA PLUIE ET DU RUISSELLEMENT*

Les mêmes crues importantes utilisées dans l'étude de régression (paragraphe 5.3) ont été soumises à «l'analyse de correspondance» (BEN ZÉCRI 1966, TOMASSONE et al 1972), une méthode d'analyse factorielle similaire à l'analyse des composantes principales. Son but fondamental est de résumer le tableau des données en le remplaçant par un tableau réduit exprimé en fonction de facteurs sans corrélation entre eux. Dans notre cas le tableau de données comportant 52 événements ou crues (= lignes) et 14 variables (= colonnes) est remplacé par un tableau de 52 lignes et deux colonnes seulement. Ces colonnes représentent deux facteurs sans corrélation entre eux qui peuvent être étudiés chacun séparément. Les variables utilisées dans cette analyse sont définies sur la figure A 3, tandis-que les événements sont identifiés sur les tableaux 2,3 et 4 par le numéro à l'extrême droite.

Le résultat de l'analyse de correspondance a montré que les deux premiers facteurs expliquent 85% de la variance totale (65% et 20% respectivement). C'est pourquoi nous limitons l'étude au plan de ces deux facteurs. Les valeurs propres correspondantes aux deux premiers facteurs sont 0,24 et 0,07. La figure A 3 présente les 14 variables aussi bien que les 52 événements par rapport aux deux premiers facteurs.

— Les variables

D'après leur position sur cette figure les variables se répartissent en trois groupes :

1ier groupe : P_{24} , P_C , I_{15} , I_{30} (P_C /Durée de la pluie)

2ième groupe : $q_{\max}$, Q , (Q /Durée de la pluie), (Q/P_C)

3ième groupe : A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5 .

Le premier facteur semble intégrer les relations cause/effet car les variables de ruissellement (2ième groupe) se distinguent des variables de pluie (1ier et 3ième groupe) principalement par le premier facteur. Par contre, le deuxième facteur distingue les variables de la pluie antécédente (3ième group) des celles liées à la pluie génératrice de la crue (1ier groupe).

* Participation du laboratoire de statistique de l'INP.

Les contributions absolues permettent de distinguer les variables importantes pour caractériser les événements, comme les suivantes : P_{24} , P_C , I_{15} , I_{30} , $q_{\max}$, A_2 , A_5 . La proximité sur la figure des variables P_{24} et P_C ; I_{15} et I_{30} ; A_2 et A_5 indique qu'elles ont des caractéristiques assez semblables, ce qui nous permet de mesurer une seule variable par couple pour décrire les événements sur les trois bassins, réduisant ainsi le travail de mesure et de dépouillement. Par contre, la variable Q n'appartient pas au plan des deux premiers facteurs.

— Les événements

Sur la figure A 3 les événements du B.V.II sont très concentrés autour des variables du 2ième groupe, et peuvent donc être caractérisés par la variable $q_{\max}$ qui est la plus importante au sens des contributions. Sur les deux autres bassins les événements sont plus dispersés dans le plan. Nous distinguons trois sortes d'événements ; ceux liés aux indices de pluie antécédente, à la quantité et l'intensité de la pluie génératrice de la crue, et enfin ceux caractérisés par le ruissellement. Il importe de souligner que la troisième sorte de crue qui ne se rattache ni à la pluie antécédente ni à la pluie génératrice de la crue peut s'expliquer par d'autres variables que celles retenues dans l'analyse (nature et utilisation du sol). C'est le cas en particulier de la quasi totalité des crues dans le B.V.II. Presque toutes les crues du B.V.I et B.V.III qui appartiennent à la troisième sorte (qui se trouve à proximité des événements du B.V.II), sont survenues en Septembre/Octobre 1969, époque des crues exceptionnelles. Ceci nous amène à conclure que lors des périodes extrêmes le comportement des B.V.I et B.V.III tend vers celui du B.V.II.

Signalons qu'en plus de grouper les variables et les événements comme on vient de faire, l'analyse de correspondance sert aussi pour prévoir les caractéristiques des événements ; par exemple le ruissellement qui correspond à une certaine constellation des variables.

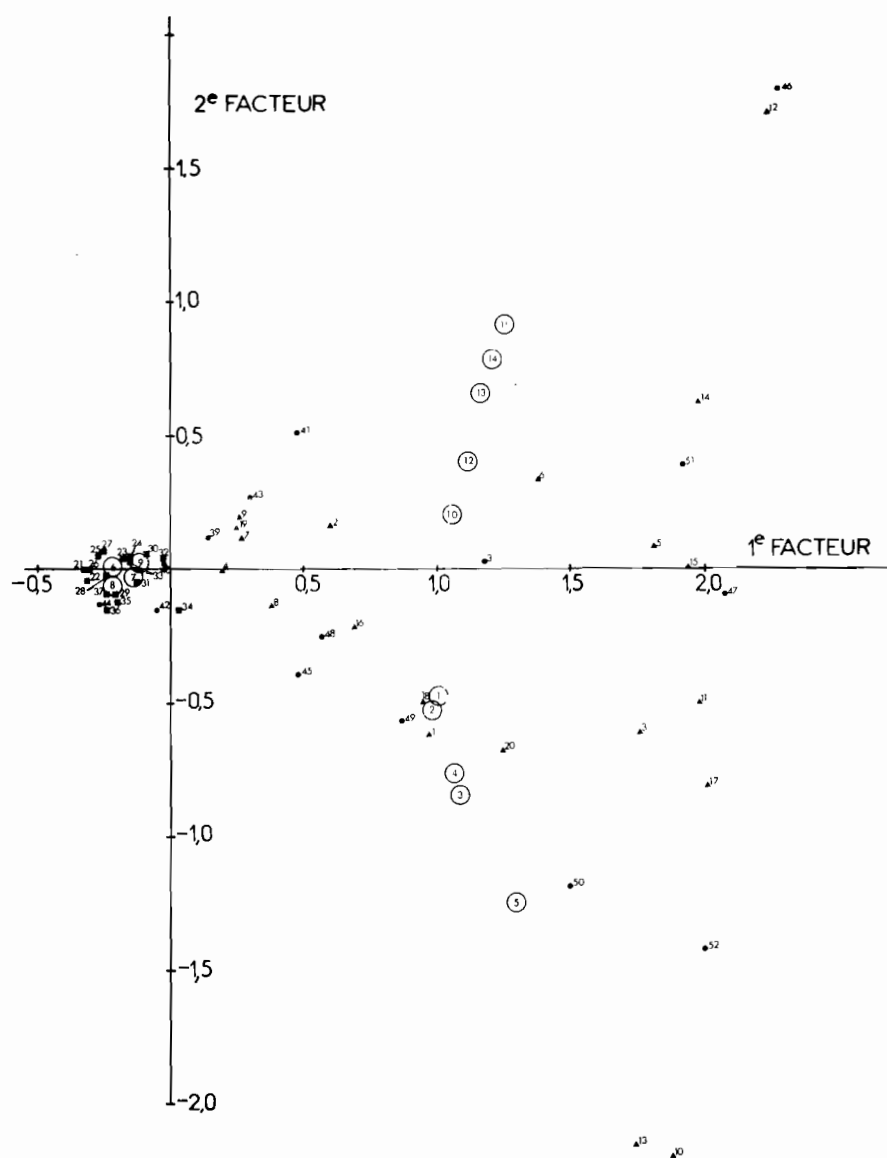


Fig. A.3. REPRÉSENTATION SIMULTANÉE DES VARIABLES ET
DES ÉVÉNEMENTS POUR LES TROIS BASSINS VERSANTS.
(légende voir page suivante)

Légende des événements :

△ B.V.I.

□ B.V.II.

○ B.V.III.

Les événements sont identifiés par le numéro de la dernière colonne des tableaux 3,4 et 5.

Légende des variables :

① = P_{24}

⑥ = $q_{\max}$

⑩ = A_1

② = P_c

⑦ = Q

⑪ = A_2

③ = I_{15}

⑧ = $Q/\text{Durée pluie}$

⑫ = A_3

④ = I_{30}

⑨ = Q/P_c

⑬ = A_4

⑤ = $(P_c/\text{Durée pluie})$

⑭ = A_5



Dans le nord-est de la Tunisie (Djougar), on a mesuré de 1963 à 1975, les précipitations et le ruissellement dans trois petits bassins versants drainés par des cours d'eau généralement secs et ne coulant qu'après de fortes pluies pendant une période de courte durée. L'occupation dominante des sols était : Bassin I (60 ha) couvert d'une forêt naturelle de jeunes pins d'Alep. Bassin II (100 ha) occupé par la céréaliculture mécanisée traditionnelle avec jachère, sans aucune précaution antiérosive. Bassin III (83 ha) occupé par une arboriculture mécanisée (olivier) en courbes de niveau dans un réseau de banquettes.

Les précipitations se sont révélées pratiquement identiques dans ces trois bassins contigus, soient 530 mm par an en moyenne.

Les régimes hydrologiques des bassins I et III, sous forêt et celui sous arboriculture avec traitement CES sont relativement semblables, mais ils contrastent fortement avec celui du bassin versant cultivé en blé, où le ruissellement a été beaucoup plus marqué. Au cours de chaque année d'observation, on a noté qu'il y avait une chance sur deux d'avoir, dans le bassin versant sous céréaliculture traditionnelle, une crue dépassant 3.500 l/s/km², alors que les crues n'atteignaient, par contre, qu'un débit de 200 l/s/km² dans les deux autres bassins versants.

Dans le premier bassin versant, 26% des précipitations ont ruisselé contre 3% seulement dans les deux autres. 40 à 80% du ruissellement total mesuré durant la période d'observation, ont été relevés pendant les cinq plus grandes crues. Les variables les plus étroitement corrélées avec la lame d'eau écoulée et le débit maximal de la crue sont : la quantité totale de la pluie, l'intensité de la pluie pendant 30 minutes et l'indice de la pluie antécédente.

L'examen de la méthode de l'«U.S. Soil Conservation Service» pour prédire le ruissellement a donné des résultats prometteurs et les «curve numbers» ont été donc calculés pour chaque bassin versant.

Le schéma expérimental établi pour l'étude ne permet pas de séparer l'influence des diverses occupations du sol sur le régime hydrologique des différences provenant de la nature des sols et des conditions topographiques. Cependant, de toute évidence, on peut dire que les mauvaises pratiques culturales, sans considération pour les techniques de conservation des sols sont responsables en grande partie du mauvais comportement hydrologique du bassin occupé par la céréaliculture.

— SUMMARY —
THE HYDROLOGY OF THREE SMALL CATCHMENTS
WITH CONTRASTING LAND USES

*In northeastern Tunisia, rainfall and runoff were measured on three small catchments drained by ephemeral streams, from 1963 to 1975. Predominant land use was : Catchment I (60 ha) — young *Pinus halepensis* forest. Catchment II (100 ha) — traditional mechanized wheat/fallow monoculture without soil conservation measures. Catchment III (85 ha) — olive trees on a system of contour terraces. Precipitation was almost the same on these three neighboring catchment, that is 530 mm the year average. The hydrologie régime of the catchment I and III, under forest and the one under olive trees were similar but contrasted sharply to the catchment cultivated in wheat, from which runoff was more flashy. During any year there was a 50% chance of exceeding a discharge rate of 3500 l/s/km^2 on the wheat covered catchment, compared to 200 l/s/km^2 for the other two. On the former catchment 26% of the rainfall appeared as runoff in contrast to only 3% for the others. Between 40% and 80% of the total runoff measured during the observation period was concentrated in the five largest runoff events.*

The variables most closely correlated with the amount of runoff and the maximum discharge rate were : the amount of rainfall, the maximum 30 minutes depth of rainfall and an antecedent precipitation index.

The test of the U.S. Soil Conservation Service method for predicting runoff gave promising results and «curve numbers» were computed for each catchment.

The design of the study does not make it possible to isolate the influence of differences in land use on the hydrologie regime from the influence of soil and topographical differences. However, evidence indicates that poor farming practices without sufficient consideration of soil conservation are to blame for most of the undesirable hydrology performance of the catchment cultivated in wheat.

ملخص

هدرولوجية ثلاثية أحواض نهسية صغيرة مستعملة باستعمالات مختلفة للنهسية

في الشمال الشرقي من البلاد التونسية في منطقة (جقار) تحت الأمطار وسيلان المياه في ثلاث أحواض نهسية من سنة 1963 إلى سنة 1975. هذه الأحواض الثلاثة تغطيها أنهار جبال تصطف عماسة ولا تجري أبعد أمطار خفيفة وفي فترة قصيرة.

إن أغلب النضام النباتي لهذه الأراضي على النحو التالي :

الحوض الأول (60 هكتارا) مغطى بغابة طبيعية من الصنوبر الغني - الحوض الثاني (100 هكتارا) مستعمل لزراعة الحبوب بالطرق التقليدية بحدود أي حذر ضد الانجراف وتحتل زراعة الحبوب فترة استراحة الأرض - الحوض الثالث (83 هكتارا) مستعمل لمراسة الأشجار (الزيتون) على الخطوط الكنتورية في شبكة من المواجهز الترابية.

لقد تبين أن كمية الأمطار متشابهة في الأحواض الثلاثة المتجاورة وهي بمعدل 530 مم سنويا .

إن جريان المياه في الحوض الأول والثالث أي الغني بالعناية والمستخرج بالزيتون مع المعالجة لحفظ المياه، والتهبة، هو متشابه نسبيا لكنه مختلف جدا لجريان المياه في الحوض المزروع بالحبوب حيث كان السيلان أكثر بكثير . وفي كل سنة مراقبة تبين في الحوض المزروع بالحبوب صفة تقليدية أن هناك امكانية على اثنين أن نحصل على فيضان يتجاوز 3500 لتر في الثانية في الكيلو متر المربع مقابل منسوب نهر قدره 200 لتر في الثانية في الكم المربع في الحوضين الآخرين .

لقد سأل في الحوض الأول 26 $\times$ من الأمطار مقابل 3 $\times$ في الحوضين الآخرين وسجلت من 40 $\times$ إلى 80 $\times$ من جملة السيلان المعطاة أثناء فترة المراقبة في الفيضانات الخمسة الكبرى وإن المتغيرات التي لها صلة قوية مع كمية الماء السائل ومنسوب النهر الأولى هي : كمية الأمطار بامانة وكتافة المطر في 30 دقيقة والرمم القياسي للطر الساف . إن امتحان طريقة " مصلحة حفظ التربة " بالولايات المتحدة للتنبأ بالسيلان أعطت نتائج مشجعة وإن المنحنيات (*Curve numbers*) حسبت لكل حوض .

ولا تسمح طريقة العمل الموزونة للدراسة بالفصل بين اثر استعمال الأرض المتغير عن النظام الهيدرولوجي من الاختلاف الناتج من طبيعة التربة والمواصل الطبوغرافية - لكن بكل تأكيد يمكن أن نقول ان الاستغلال الزراعي الذي " بدون أي اجراء فنيي لوقاية التربة هو السبب الأساسي لسوء النظام الهيدرولوجي في الحوض المستعمل لزراعة الحبوب .

