

RUISSELLEMENT
ET
EROSION
SUR
L'OUED ZITA

(SUD TUNISIEN, 1972-1979)



ORSTOM

Direction Générale
des ressources en Eau

H. CAMUS
J. BOURGES

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES
EN EAU

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT
EN COOPERATION
(O.R.S.T.O.M)

RUISSELEMENT ET EROSION SUR L'OUED ZITA

(Sud Tunisien, 1972-79)

H. CAMUS
J. BOURGES

Photo H.CAMUS
Maquette de la couverture JP.DEBUICHE

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 LE CADRE REGIONAL	13
1.1. - LOCALISATION (fig. 1.1)	13
1.2. - LE CLIMAT	13
1.3. - GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE	15
1.4. - LA PEDOLOGIE	15
1.5. - L'HYDROGRAPHIE	16
1.6. - L'HYDROGEOLOGIE	16
CHAPITRE 2 LE BASSIN DE L'OUED ZITA	19
2.1 - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS	20
2.1.1 - Forme, surface, relief	20
2.1.2 - Réseau hydrographique	23
2.2 - LA GEOLOGIE (d'après J.M. LAMACHERE)	24
2.3 - GEOMORPHOLOGIE (d'après J. BONVALLOT)	25
2.3.1 - Les formes structurales	26
2.3.1.1 - Les corniches monoclinales	26
2.3.1.2 - Les crêtes subverticales	26
2.3.1.3 - Les surfaces structurales dégradées	26
2.3.2 - Les épandages détritiques	28
2.3.3 - Les processus d'érosion	28
2.3.3.1 - L'érosion diffuse	28
2.3.3.2 - L'érosion ravinante	28
2.3.4 - Conclusion	29
2.4 - PEDOLOGIE (d'après R. PONTANIER)	30
2.4.1 - Les sols minéraux bruts non climatiques	30
2.4.1.1 - Les sols bruts d'érosion	30
2.4.1.2 - Les sols bruts d'apport	30
2.4.2 - Les sols peu évolués non climatiques	30
2.4.2.1 - Les sols d'érosion	30
2.4.2.2 - Les sols d'apports modaux sur colluvions	30
2.4.2.3 - Les sols d'apport mixtes colluviaux et alluviaux	30
2.4.3 - Les sols calcomagnésimorphes gypseux	32
2.4.4 - Conclusions	32
2.5 - PHYTOECOLOGIE ET BOTANIQUE (d'après R. JOFFRE)	33
2.5.1 - Association à <i>Artemisia herba-alba</i> et <i>Arthrophtytum scoparium</i>	34
2.5.2 - Association à <i>Anarrhinum brevifolium</i> et <i>Zygophyllum album</i>	34
2.5.3 - Groupement à <i>Frankenia thymifolia</i> et <i>Limonium pruinosum</i>	34
2.5.4 - Groupement des lits d'oueds et terrasses	34
CHAPITRE 3 CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES	37
3.1 - LA STATION CLIMATOLOGIQUE DU TELMAM	37
3.2 - TEMPERATURE DE L'AIR	40
3.2 - HUMIDITE DE L'AIR	41
3.4 - EVAPORATION	43
3.4.1 - Evaporation Piche	43
3.4.2 - Evaporation sur bac	44

3.4.2.1 - Comparaison des résultats des bacs	45
3.4.2.2 - Température de l'eau	46
3.5 - TEMPERATURE DU SOL	46
3.6 - LES VENTS	48
3.6.1 - Vitesse du vent à 2,0 mètres	48
3.6.2 - Vitesse du vent à 0,50 mètre	48
3.6.3 - La direction du vent	49
3.6.3.1 - La direction du vent à l'échelle annuelle	49
3.6.3.2 - La direction du vent à l'échelle de la période 1973-1979	49
3.7 PLUVIOMETRIE	51
3.7.1 - Pluviométrie annuelle	51
3.7.1.1 - Pluviométrie annuelle au Telmam	51
3.7.1.2 - Pluviométrie annuelle de Gabès	52
3.7.1.2.1 - Homogénéisation des données	52
3.7.1.2.2 - Ajustement et estimation des récurrences	53
3.7.1.3 - Estimation des récurrences à Telmam	54
3.7.2 - Pluviométrie mensuelle	55
3.7.2.1 - Pluie saisonnière	56
3.7.2.2 - Corrélation entre Gabès et Telmam à l'échelle mensuelle	56
3.7.3 - Pluviométrie journalière	57
3.7.4 - Etude du gradient pluviométrique à la station de Telmam	57
CHAPITRE 4 EQUIPEMENT DES BASSINS VERSANTS	61
4.1 - EQUIPEMENT PLUVIOMETRIQUE	61
4.2 - LES STATIONS HYDROMETRIQUES	61
4.2.1 - Station principale	61
4.2.2 - station secondaire : Zita II	64
4.2.3 - Station secondaire : Zita III	65
4.2.4 - Station secondaire : Zita IV	67
4.2.5 - Station secondaire : Zita V	68
CHAPITRE 5 REGIME DES PRECIPITATIONS SUR LES BASSINS VERSANTS	71
5.1 - EQUIPEMENT	71
5.2 - PLUVIOMETRIE ANNUELLE SUR LE BASSIN DU ZITA	71
5.3 - PLUVIOMETRIE MENSUELLE	72
5.4 - PLUVIOMETRIE SAISONNIERE	73
5.5 - PLUVIOMETRIE JOURNALIERE SUR LE BASSIN	73
5.6 - ETUDE DES AVERSES INDIVIDUALISEES	74
5.6.1 - Hauteur de l'averse	74
5.6.2 - Corps de l'averse (ou pluie utile)	75
5.6.3 - Durée de l'averse	75
5.7 - INTENSITE DES AVERSES	80
5.7.1 - Etude des hyéogrammes classés	80
5.7.2 - Etude des hyéogrammes enveloppes	82
5.8 - LES PLUIES EXCEPTIONNELLES DU 12 DECEMBRE 1973	84
5.8.1 - Aperçu régional	84
5.8.2 - Les précipitations sur les bassins de l'oued Zita	84
CHAPITRE 6 ANALYSE DU RUISELLEMENT ET ETUDE DES APPORTS	89
6.1 - GENERALITES	89

6.1.1 - Caractéristiques des crues du Zita I	96
6.1.2 - Caractéristiques des crues du Zita II	96
6.1.3 - Caractéristiques des crues du Zita III	97
6.1.4 - Caractéristiques des crues des bassins du Zita IV et Zita V	97
6.2 - ETUDE DES LAMES RUISELLEES	98
6.2.1 - Précipitation limite de ruissellement	98
6.2.2 - Influence des facteurs conditionnels sur la hauteur de la lame ruisselée	102
6.2.2.1 - Influence de la hauteur de pluie utile	103
6.2.2.2 - Influence des autres facteurs	104
6.2.3 - Essai de reconstitution des lames ruisselées	106
6.3 - BILAN DES OBSERVATIONS SUR LA PERIODE 1972-1979	108
6.3.1 - Distribution mensuelle de l'écoulement	110
6.3.2 - Ecoulement annuel	110
6.3.3 - Comparaison entre les différents bassins	111
6.3.3.1 - Comparaison de bilan entre les bassins I, II et III	111
6.3.3.2 - Comparaison des bilans sur les 5 bassins	111
CHAPITRE 7 CARACTERISTIQUES ET FORMES DES CRUES	113
7.1 - LE BASSIN VERSANT DU ZITA I	113
7.1.1 - Description générale des principaux événements liés averses-crues	113
7.1.2 - Forme et puissance des crues	116
7.1.2.1 - Les débits de pointe	116
7.1.2.2 - Temps de réponse du bassin et temps de montée des hydrogrammes	118
7.1.2.3 - Temps de base et paramètre de forme	119
7.1.2.3.1 - Temps de base	119
7.1.2.3.2 - Paramètre de forme	120
7.1.3 - Hydrogrammes des crues exceptionnelles	120
7.1.3.1 - Etablissement de l'Hydrogramme type	120
7.1.3.2 - Essai de définition de la crue décennale	122
7.1.3.2.1 - La méthode l'hydrogramme unitaire	122
7.1.3.2.2 - La méthode globale	124
7.1.3.2.3 - Estimation par les lames ruisselées	124
7.1.3.2.4 - Conclusions	126
7.1.3.3 - Les crues exceptionnelles du 12 décembre 1973	127
7.1.3.3.1 - Les faits observés	127
7.1.3.3.2 - Essai de modélisation des crues exceptionnelles	
du 12 décembre 1973	130
7.2 - LE BASSIN VERSANT DU ZITA II	136
7.2.1 - Description des principaux éléments liés averses-crues	136
7.2.2 - Forme des crues et crue type	138
7.2.3 - Les débits de pointe du Zita II	138
7.2.4 - Etude des lames ruisselées du Zita II	141
7.2.5 - Essai de détermination de la crue décennale	143
7.3 - LE BASSIN DU ZITA III	144
7.3.1 - Estimation de la crue type	145
7.3.2 - Essai de détermination de la crue décennale	145
7.4 - LES BASSINS DU ZITA IV ET DU ZITA V	145
CHAPITRE 8 ETUDE DES TRANSPORTS SOLIDES ET DE LA SALINITE	147
8.1 - GENERALITES	147

8.2 - LE BASSIN DU ZITA I	147
8.2.1 - Résultats acquis durant la période d'observation	147
8.2.2 - Estimation des valeurs de concentration moyenne en fonction du débit	148
8.2.3 - Les crues du 12 décembre 1973	149
8.2.4 - Qualité chimique des eaux de l'oued Zita (Zita I)	151
8.2.5 - Bilan de la période 1972-1978	151
8.3. - LE BASSIN DU ZITA II	153
8.3.1 - Résultats acquis sur la période d'observations	153
8.3.2 - Les crues du 12 décembre 1973	155
8.3.2.1 - Transport en suspension	155
8.3.2.2 - Salinité	157
8.3.2.3 - Transport de fond	159
8.3.3 - Qualité chimique des eaux du Zita II	159
8.3.4 - Bilan de la période 1973-1978	161
8.4 - LE BASSIN DU ZITA III, DIT BASSIN DE LA "RAVINE"	161
8.4.1 - Résultats acquis durant la période d'observations	161
8.4.2 - Les crues du 12 décembre 1973	161
8.4.3 - La qualité chimique des eaux du Zita III	161
8.4.4 - Bilan de la période 1973-1978	164
8.5 - LES BASSINS DU ZITA IV ET DU ZITA V	164
8.5.1 - Bassin du Zita IV	164
8.5.1.1 - Dispositif de mesures	164
8.5.1.2 - Résultats obtenus	165
8.5.1.3 - Qualité chimique des eaux du Zita IV	170
8.5.2 - Qualité chimique des eaux du Zita V	171
8.6 - LES SOURCES DU BASSIN DE L'OUED ZITA	173
8.6.1 - MESURES ET OBSERVATIONS	173
8.6.2 - RESULTATS ACQUIS	173
8.6.2.1 - Source S1	173
8.6.2.2 - Source S2	174
8.6.2.3 - Source S3	177
8.6.2.4 - Source S4	177
8.6.2.5 - Source S5	177
8.6.2.6 - Source S6	178
CONCLUSIONS	181
ANNEXES	185
Annexe 1- Quelques crues observées sur les différents bassins versants de l'oued Zita.	185

RESUME

Le bassin versant de l'oued Zita a été choisi comme étant représentatif du Sud Tunisien. La région où il se trouve est soumise à un climat méditerranéen sub-aride et reçoit en moyenne 185 mm de pluie par an, répartie d'une manière assez aléatoire entre septembre et juin. Ce bassin versant d'une superficie de 3,20 km² comprend quatre sous-bassins, dont 2 plus secondaires qui n'ont été observés que deux années; des observations intenses y ont été effectuées entre septembre 1972 et août 1978 sur les paramètres suivants: précipitations, débits et transports solides. Le relief des bassins est étroitement dépendant de la structure géologique, chaque strate de roches dures apparaissant en relief, sculptée par l'érosion hydrique, ce qui confère aux bassins un aspect assez tourmenté. Le couvert végétal est rare, très clairsemé, à l'exception des lits d'oueds où il apparaît un peu plus important.

1 - En matière de régime des pluies, il a été vérifié que la hauteur de précipitation annuelle sur le bassin versant de l'oued Zita est comparable à celle de la station de Gabès S.M. ($P_Z = 0.20 P_G - 2.8$), sur une période commune, ce qui permet de prendre Gabès S.M comme station de référence. Pour cette station la moyenne interannuelle est de 195 mm avec un écart-type de 102 mm. Sur la période d'observations, il y a eu en moyenne 22 jours de pluie par an sur le bassin et la hauteur journalière de récurrence décennale a pu être estimée à 64 mm. L'étude des enregistrements pluviographiques a permis de constater que le nombre d'averses en une journée croît avec la hauteur et que la part de l'averse la plus forte représente de 45 à 50 % du total journalier pour une pluie de 60 mm. Les averses sont en général assez peu homogènes. L'étude des intensités-durées-fréquences a permis l'établissement de hyètogrammes classés de diverses récurrences ne dépassant pas 20 ans, en raison de la petitesse de l'échantillon observé et d'en extraire un hyètogramme de récurrence décennale.

2 - En matière de ruissellement, on a observé sur le bassin versant du Zita I, 47 crues en 6 ans, dont seulement 51 % correspondent à une lame de 1.0 mm (15 % des crues ont une lame ruisselée dépassant 5.0 mm); sur le Zita II et sur la même période, on observe 58 événements liés averses-crues (dont 15 % ont une lame ruisselée supérieure à 5.0 mm) et pour le Zita III, 40 crues, dont 12 % ont des lames supérieures à 5.0 mm. Le ruissellement n'apparaît que si la précipitation dépasse une certaine intensité (de 25 mm/h sur un sol sec à moins de 10 mm/h avec une bonne imbibition préalable du sol). On a pu constater que les ruissellements les plus intéressants sont dus à des séries d'averses successives et rapprochées ou alors à des averses isolées mais de forte intensité.

La forme des crues a été étudiée par la méthode de l'hydrogramme-type. Son application à un événement pluviométrique d'ordre décennal a permis l'estimation de la crue résultante de même récurrence: la crue décennale du Zita I a une lame de 14.6 mm et un débit de pointe de 34.7 m³/s (soit 10,8 m³/s.km²), celle du Zita II, respectivement 20,0 mm et 340 l/s (soit 24,1 l/s.km²) et celle du Zita III, 18,0 mm et 432 l/s (soit 12,3 l/s.km²). Sur les cinq années de mesures communes (1973 à 1978) l'écoulement total représente 23 % des précipitations sur le Zita I, 30 % sur le Zita II et seulement 21 % pour le Zita III, soit de l'ordre de 5 à 6 % par an. Il convient de signaler que ce bilan prend en compte les événements exceptionnels du 12 décembre 1973; sans ceux-ci le bilan à l'échelle annuelle s'établirait à moins de 2 % pour le Zita I; 2,8 % pour le Zita II et moins de 1,5 % pour le Zita III.

Un paragraphe spécial a été consacré aux événements exceptionnels de décembre 73 où pour une pluviométrie moyenne journalière de 256 mm sur le Zita I, il a été observé deux crues successives d'un débit maximal de 84 m³/s pour la première et de 131 m³/s pour la seconde (débits spécifiques respectifs de 26,2 et 40,9 m³/s.km²). Pour les deux autres bassins; Zita II, pluie moyenne 271 mm, deux crues dont les débits maximaux étaient de 530 et 712 l/s (soit en débits spécifiques 37,5 et 50,5 m³/s.km²); Zita III, pluie moyenne de 243 mm, crues de 1,5 et 2,4 m³/s (soit des débits spécifiques de 42,8 et 68,0 m³/s.km²). Un modèle mathématique simple a permis de reconstituer ces crues exceptionnelles à partir d'hydrogramme-type médian. Les résultats acquis sont assez satisfaisants.

3 - Enfin en ce qui concerne les transports solides et la qualité chimique des eaux, on a pu constater que sur la période observée, le transport solide global pour le bassin versant de Zita I s'élève à 67600 tonnes (soit en moyenne 3,5 t/ha.an) mais ne dépasserait pas 6600 tonnes (soit moins de 0,34 t/ha.an), si l'on ne prenait pas en compte les apports du 12 décembre 1973 qui à eux seuls représentent plus de 90 % du bilan global. En ce qui concerne la qualité chimique des eaux, la présence d'halites et de bancs de gypse les rend de type sulfaté-sodique, très fortement chargées ($R_s = 10 \text{ g/l}$), donc impropre à toutes utilisations; seules les eaux des zones exemptes de formations gypseuses (cas du Zita II) peuvent être à la rigueur utilisables. ($R_s < 2,0 \text{ g/l}$)

ABSTRACT

The Zita watershed was selected as being representative of Southern Tunisia. The region in which it is situated has a sub-arid mediterranean climate with an average annual rainfall of 185 mm, spread intermittently over the period september-june. This watershed covers an area of 3.20 square kilometers and contains 4 sub-basins including two secondary ones which where observed for two years only; intensive observations were carried out there between 1972 and 1978 on the following parameters: rainfall, discharges and solid discharges. The relief of the basin depends closely on the geological structure, each stratum of hards rocks standing out, sculptured by water erosion and giving to the basins a squire tortured look. Vegetation is very thin and sparce, except in the bed of the oueds, where it is slightly denser.

1 - As far rainfall is concerned it was found that the annual level in the Zita watershed is comparable to that the Gabes S.M station ($P_Z = 0.820 P_G - 2.8$) over the same period. This allows Gabes S.M to be taken as a reference station. At this station the interannual average is 195 mm with a standard-deviation of 102 mm. During the observation period, there were on average 22 days of rain per annum in the watershed and the daily level of a ten-years frequency was estimated at 64 mm. From the study of rains records, it can be seen that the number of storms in one day increases with depth of rainfall and that the heaviest represents 45 to 50 % of the total for a storm of 60 mm. The storms are not generally very homogeneous. Study of intensity and duration allowed the establishment of storm intensity patterns classified for some recurrence intervals not exceeding 20 years. This is due to the smallness of sample observed and it was possible to work out from them also a ten-years recurrency storm pattern.

2 - During the 1972-1978 period, we registered 47 floods on the Zita I basin; only 51 % correspond to a runoff of 1.0 mm (15 % to a runoff of more than 5.0 mm). Over the same period, for the Zita II, only 58 % of the runoff coefficients exceed 1.0 mm and 15 % of them are above 5.0 mm. For the Zita III basin, 40 % of the runoff coefficients exceed 1.0 mm and 12 % of them are above 5.0 mm. The runoff occurs when the rainfall exceeds a certain limit (25 mm/h on a dry soil to less than 10 mm/h with a good initial rain from the soil). It was noted that the most important flows are the result of close and successive storm series or a single storm with high intensity. The shapes of flows were studied by using the unitgraph method. Its application on ten-years storm allowed the evaluation of the resulting hydrograph. The decennial flow corresponds to an efficient rainfall of 14.6 mm and the maximum discharge of 34.7 m³/s (or 10.8 m³/s.km²) for the Zita I; 20.0 mm and 340 l/s (or 24.1 m³/s.km²) for the Zita II and 18.0 mm and 432 l/s (or 12.3 l/s.km²) for the Zita III basin. Over the five years of common measurements (1973-1978) total outflow was 28 % of rainfall for Zita I, 30 % for Zita II and only 21 % for Zita III, or in other words roughly 5 to 6 % for one year. It would be well to note that this water balance include the exceptional events of 12th december 1973. Without these, the balance of an annual scale would be less than 2 % for Zita I, 2.8 % for Zita II and less than 1.5 % for Zita III.

A special paragraph was given over the exceptional events of december 1973, when for an average daily rainfall of 256 mm over Zita I, two successive floods were observed with a peak flow of 84 m³/s for the first and 132 m³/s for the second (respective specific discharges 26.2 m³/s.km² and 40.9 m³/s.km²). For the two other basins, Zita II had an average rainfall of 271 mm with two flows of which the maximum discharges were 530 and 712 l/s (respective specific discharges 37.5 and 50.5 m³/s.km²); Zita III, an average rainfall of 243 mm, two flows of 1.5 and 2.4 m³/s (or specific discharges 42.8 and 68.0 m³/s.km²). A simple mathematical model allowed these exceptional flows to be reconstituted from typical hydrograph. The results acquired are very satisfactory.

3 - Finally, as regards the load transports and the chemical quality of the water, it was noted over a period of six years, that the global load transport for Zita I amounted to 67.000 tons (or an average of 3.5 t/ha/year), but not exceed 6.600 tons (or less than 0.34 t/ha/year), if one does not take into account the flows of the 12th december 1973. These alone account for more than 90 % of the global balance. The presence of halites and gypsum-banks give the water a sulphated-calcic character very strongly laden ($R_s = 10$ to 15 g/l) and therefore unsuitable for use. Only water in the areas free of gypsum (Zita II, for instance) are fit for use.

لقد وقع اختيارنا على حوض صرف واد " زيتا " كنموذج ممثل للجنوب التونسي و تُعرف المنطقة التي ينتمي إليها هذا الحوض بناخها المتوسطي الشبه الجاف حيث يقدر المعدل السنوي للامطار بـ 185 م تسقط بصفة متذبذبة بين شهرين ستمبر و مارس .

وتبلغ مساحة هذا الحوض 20،3 كم² ويضم 4 أحواض منها اثنان صغيران لم تصلهما القياسات الا لعدة سنتين . اما بالنسبة الا حواض الاخر فقد اجريت فيها قياسات مكثفة ما بين 1972-1978 و تناولت خاصة الامطار الصيفي و نقل الرواسب .

ان تضارس هذا الحوض مرتبطة ارتباطا شديدا بالمنima الجيولوجية فكل طبقة صخرية صلبة تكون نتوءاً منحنياً بتأثير الماء مما يعطي هذه التضارس مظهراً مقطعاً . اما الفطاء النباتي فهو نادر وغير كثيف باستثناء مجامى الارادية حيث يكون أكثر كثافة نسبياً .

1- اما فيما يخص الامطار فقد ثبت لدينا ان المعدل السنوي في حوض واد " زيتا " يعادل معدل الامطار في محطة قابس (مطر زيتا = 0،20 مطر قابس - 208) بالنسبة الى نهر الماء ، مما يسمح باتخاذ محطة قابس كمرجع . في هذه الاختير يبلغ المعدل السنوي للهطول 195 م مع حياد معياري يساوي 102 م . في المدة التي شملتها الدراسة كان معدل أيام الهطول على حوض واد " زيتا " 22 يوما في السنة . وامكن تقدير كمية الهطول اليومي ذات التواتر المتشابهة بـ 64 م . كما لوحظ ان عدد رذخات السطر في اليوم الواحد يزداد وفقاً لارتفاع الكثافة الجملية وان الرذخات الغزيرة تكون 45 الى 50 % من مجموع المطر ليهطل 60 م . وعادة ما تكون رذخات المطر قليلة التجانس . و مكثتنا دراسة الفرازة والدئومة من رسم بيانات الفرازة لعدة تواترات لا يفوق اطولها العشرين سنة نظراً لقصر مدة القياسات ، كما استطعنا استخراج بيان الفرازة ذات التواتر المتشابهة .

2- بالنسبة للجريان أحصي في حوض واد " زيتا " 47 جرياناً في مدة 6 سنوات منها 51 % فقط تمتل صفيحة مائية تقدر بـ 1،0 م (15 % منها لها اكبر من 0،50 م) . اما فيما يخص حوض " زيتا " 2 " وبالرجوع لنفس الفترة فقد كانت النسب بال التالي 58 % و 15 % و 15 % و 15 % وفي حوض " زيتا " 3 " 40 % و 12 % و 12 % . والجريان لا يظهر الا اذا فاقت غزارة الامطار حد امعينا (25 م / الساعة) . كما ان اهم جريان يحدث عند ما يكون المطر على شكل رذخات متتابعة و متقاربة او عند ما تكون الرذخات منفردة لكتها شديدة الفرازة .

ولقد وقعت دراسة شكل الجريان عن طريق بيانات الصبيب و مكثن تطبيق هذه الطريقة على الامطار العُشارية من تقدير كمية الجريان الذي له نهر التواتر (العُشاري) . و تبلغ الصفيحة المائية بالنسبة للجريان العُشاري في " زيتا " 1 14،6 م ويصل اقصى الصبيب الى 34،7 م³ / الثانية (اي 10،8 م³ / الثانية / الکم²) ، و بال التالي 20،0 م و 34,0 ل / الثانية (اي 1،1 م³ / الثانية / ل / الکم²) بالنسبة " زيتا " 2 " و 18,0 م و 4,3 ل / الثانية (اي 1,2 م³ / الثانية / ل / الکم²) بالنسبة لـ " زيتا " 3 " . بالنسبة لسنوات المراقبة الخمسة المشتركة (1973-1978) بلغ الجريان الكلي نسبة 28 % من مجموع الهطول في حوض " زيتا " 1 " و 30 % في " زيتا " 2 " و 21 % في " زيتا " 3 " . يعني ما يقدر بمعدل 5 الى 6 % من مجموع الامطار السنوي . يجب الملاحظة ان في هذه الحصيلة وقع اعتبار الامطار الاستثنائية التي نزلت في 12 ديسمبر 1973 . فبدون اعتبارها تنخفض الحصيلة السنوية بمقدار 2 % في " زيتا " 1 " و 2,8 % في " زيتا " 2 " و 1,5 % في " زيتا " 3 " .

و خصمت فقرة خاصة لدراسة الحالة الاستثنائية التي حدثت في ديسمبر 1973 حيث بلغت كمية الهطول في يوم واحد 256 م في " زيتا " 1 " و حدثت اذالك في بيانات متالبيان بلغ اقصى الصبيب في الاول 84 م³ / الثانية وفي الثاني 131 م³ / الثانية (الصبيب المحدد بال التالي 26،2 م³ و 40،9 م³ / الثانية / ل / الکم²) . بالنسبة لـ " زيتا " 2 " بلغت كمية الهطول اليومي 271 م و وقع في بيانان كذلك ووصل اقصى الصبيب الى 530 و 712 ل / الثانية (الصبيب المحدد 37,5 و 50,5 م³ / الثانية / ل / الکم²) . اما في " زيتا " 3 " فكانت كمية الهطول اليومية 243 م و وقع في بيانان كان فيما اقصى الصبيب 11,5 و 2,4 م³ / الثانية (الصبيب المحدد 42,8 و 0,568 م³ / الثانية / ل / الکم²) . و مكثنا نموذج حسابي من اهراز هذه البيانات الاستثنائية انطلاقاً من بيانات صبيب نموذجية وكانت النتيجة حسنة .

3- و اخيراً و فيما يخص نقل الرواسب و الخماش الكيميائية للماء لوحظ ان مقدار الرواسب المنقولة بلغ في مدة 6 سنوات 67,6 طناً (معدل 3,5 طن / هكتار / السنة) هذا بالنسبة لـ " زيتا " 1 " لكن هذا النقل لا يفوق 6,000 طناً (0,34 طن / هكتار / السنة) لواستثنينا حدث 12 ديسمبر 1973 (الاستثنائي) الذي يمثل لوحده اكبر من 90 % من المجموع . ان وجود صفائح من الجير وجود الاملاح يجعل الماء من النوع السلفاتي الكسي تذكر فيها الرواسب (10 غ / ل) وهي لا تصلح لاي استعمال و يمكن فقط استعمال مياه المناطق التي تخلو من الجير (مثل " زيتا " 2) . و حمولتها 2 غ / ل .

AVANT - PROPOS

En 1973, L'ORSTOM démarrait un programme d'études et de recherches sur bassins représentatifs au sein de la Direction des Ressources en Eau et en Sol du Ministère de l'Agriculture. Ces études intéressaient trois zones climatiques : la Tunisie du Nord, dans la région des Mogods, en climat méditerranéen sub-humide (bassins versants de l'oued Sidi Ben Naceur), en Tunisie Centrale en climat méditerranéen semi-aride (bassins versants de l'oued El Hissiane) sur le djebel Semmama et enfin dans le Sud Tunisien, en climat méditerranéen aride (bassins versants de l'oued Zita).

Au cours de cette étude, l'ensemble des paramètres climatiques, pluviométriques et hydrométriques ont été observés pendant 8 années et à différentes échelles. Les phénomènes d'érosion, qui sont extrêmement importants en Tunisie et plus spécialement dans le Centre et le Sud Tunisien ont également été étudié, car il est vite apparu indispensable d'essayer d'appréhender les causes et les modalités de ces phénomènes afin d'être en mesure d'atténuer, autant que faire se peut, leur ampleur, qui dans ces régions peut devenir catastrophique (crues de décembre 1973, crues de mars et avril 1979).

Le présent rapport, qui fait la synthèse des observations de 8 années, est avant tout le fruit d'un travail d'équipe pluridisciplinaire, auquel ont participé notamment :

MM. Jacques BOURGES, hydrologue ORSTOM (1972-78), responsable des premières observations, puis Henri CAMUS (1978-80) assisté de René GUALDE (1973-74), Mohamed BEN YOUNES (1973-77), tous hydrologues de l'ORSTOM.

Ont contribué également MM. Slaheddine BOUZAIANE, Abdelmajid GHORBEL et Mohamed FERSI (1974), Mohamed ADJILI (1977), tous hydrologues de la DRES. On peut signaler la participation de Roger PONTANIER, à qui l'on doit l'étude des sols des bassins (1973), Jean-Marie LAMACHE, qui se chargea de l'esquisse géologique et lithologique (1974), Jacques BONVALLOT, qui fit l'étude géomorphologique des bassins et en dressa une carte (1976-77) et Robert JOFFRE, qui a réalisé l'étude phytosociologique.

PLANCHE N°1

PHOTO : 1 -



Le lit de l'oued Zita en amont de la station de Zita V

PHOTO : 2



Les vestiges de la station du bassin de Zita V.
on note encore la présence de la lame déversante
et du puits du limnigraphie

PHOTO : 3 -



La station de Zita IV avec les différentes fosses correspondant
à chaque niveau de prélèvement automatique
de sédiment en solution

PHOTO : 4 -



Les restes de la station du bassin de Zita II
sur glacis en amont de Zita I

PHOTO : 5 -



La station principale de L'oued Zita (Zita I) avec la passerelle de jaugeage et le puits du limnigraphie
On note la section de mesures des débits de moyennes et basses eaux. Cette station fait partie du réseau D.R.E

CHAPITRE 1

LE CADRE REGIONAL

1.1. - LOCALISATION (fig. 1.1)

Situé entre 34° 02' et 34° 03' de latitude Nord et entre 7° 29' et 7° 30' de longitude Est, à 30 kilomètres au nord-ouest de Gabès et à une vingtaine de kilomètres de la mer, le bassin principal de l'Oued Zita et ses sous-bassins drainent une partie du jbel Tebaga-Fatnassa, prolongement ouest de la chaîne montagneuse qui domine la rive septentrionale des chotts Djerid et Fedjadj.

A 2 kilomètres au sud de ce site, se situe la station climatologique du Telmam. Cette zone, appartient à la région naturelle des Basses Plaines Méridionales Orientales (LE HOUEROU, 1959).

1.2. - LE CLIMAT

Le climat de cette région de la Tunisie est régi par sa position aux confins des deux bassins méditerranéens et du Sahara. Séparé du bassin occidental, qui intéresse tout le reste de l'Afrique du Nord, par l'Atlas, cette zone est soumise à l'influence de deux centres d'action totalement opposés :

- le Sahara, au sud-ouest avec un climat sub-tropical saharien sec et chaud,
- le golfe de Gabès à l'est, profitant d'un climat tempéré chaud méditerranéen, donc relativement humide et tempéré.

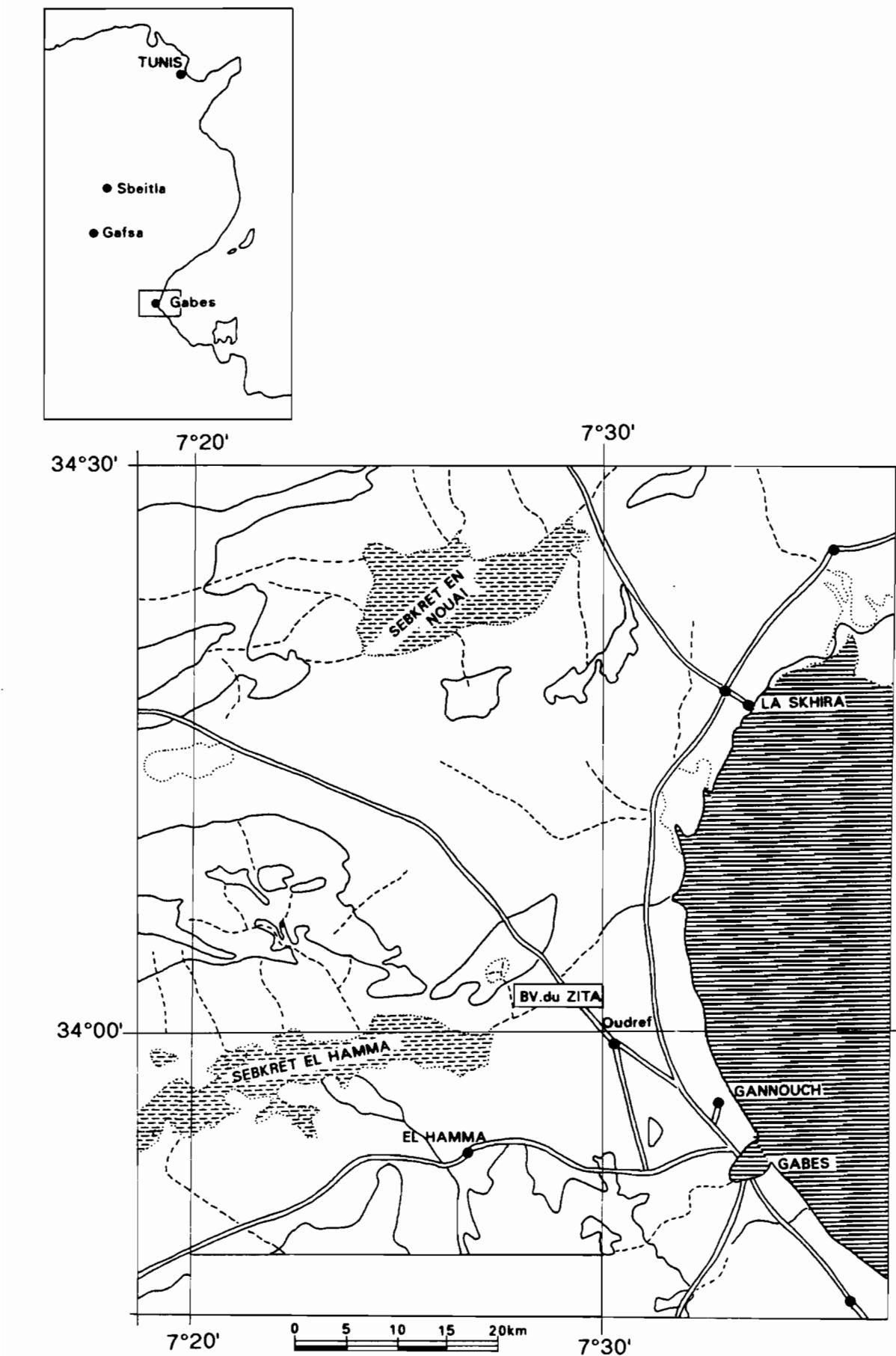
En été, avec la montée du soleil vers le Tropique, apparaît au-dessous du Sahara, une situation cyclonique entraînant un courant qui se dirige vers l'intérieur du continent et qui se traduit pour le sud tunisien, par un régime de vents d'est, tempérés et humides sur la côte. En hiver, la situation inverse, anticyclonique sur le Sahara, provoque un régime de vents d'ouest à sud-ouest, tempérés, chauds et secs (BOURGES, FLORET, PONTANIER, 1977).

"A ce régime général, peu favorable aux précipitations, vient se superposer l'influence des dépressions passagères qui provoquent la quasi-totalité des précipitations sur cette zone. On peut distinguer :

- les dépressions venant de l'Atlantique et qui suivent une voie suffisamment méridionale dans leur migration vers l'est pour passer au sud des montagnes telliennes : les pluies sont relativement fortes, intermittentes et parfois orageuses.

- les dépressions venant du bassin occidental de la Méditerranée, qui arrosent surtout le Tell, mais peuvent aussi provoquer des pluies au sud, rarement fortes. Exceptionnellement, ces dépressions peuvent interrompre leur déplacement vers l'est et revenir vers le sud-ouest se bloquer dans le golfe de Gabès et le centre sud de la Tunisie où elles déclenchent de très fortes pluies (témoins les crues de 1969).

Il résulte de ces conditions particulières, qu'exception faite de l'été, qui est une saison stable et calme, le climat de cette région est caractérisé par une très grande irrégularité dont les conséquences sur le milieu peuvent être désastreuses (inondation, sécheresse, famine)."



1.3. - GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE

La région étudiée est représentative d'un système géomorphologique que l'on trouve fréquemment en Tunisie méridionale : "les séguis". Il est constitué d'une chaîne de montagnes au relief escarpé (jbel Tebaga-Fatnassa) servant de "réservoir aquifère" à des glacis aux pentes faibles et à des plaines alluviales situées à l'aval des piémonts.

A la sortie des reliefs, les eaux sont drainées par un système mal structuré, vers des zones semi-endoréiques (telle la cuvette Telmam), souvent très salées (sebkha d'El Hamma).

Du point de vue géologique, la mise en place de l'anticlinal du jbel Fatnassa-Tebaga est contemporaine de celle du dôme du Fedjadj.

Cet anticlinal éventré en boutonnière, dont le cœur est occupé par la Garaet Fedjadj, est constitué essentiellement de Crétacé Inférieur représenté par :

- des calcaires durs dolomitiques du Turonien soulignés par les puissantes corniches qui dominent la combe à une altitude comprise entre 230 et 275 m ,
- des marno-calcaires à bancs de gypse du Cénomanien ; des grès continentaux très tendres du Barrémien , fortement érodés par le vent,
- des argiles et marnes bariolées du Néocomien, présentant d'épais bancs de gypse et d'anhydrite (faciès Weald) dont la puissance peut atteindre plus de 2000 m d'épaisseur (forage SEREPT de Zemlet El Beida). Ces argiles occupent la totalité du fond de la boutonnière.

A partir de ce relief, un système de glacis d'érosion et d'accumulation s'est façonné au sud-est dans les argiles sableuses et gypseuses du Miopliocène et les sables du Pontien, après la dernière orogenèse post-Villafranchienne.

Actuellement, la zone des piémonts est constituée par :

- une ancienne surface couronnée de croûte et d'encroûtement gypseux, fortement entaillée par les oueds (Amor, Zita, etc.) descendant du jbel Tebaga ; elle est à l'état de lambeaux sur les piémonts et en meilleur état dans la région du Draa Oudref,
- un niveau plus récent constitué par les cônes de déjection des oueds qui s'étalent dans la plaine jusqu'aux bordures de la sebkha El Hamma, dans laquelle se jette l'oued Telmam.

1.4. - LA PEDOLOGIE

Les sols de la région, soumis sans cesse à des phases érosives ou d'accumulation, donc sans arrêt remaniés, sont peu différenciés . On observe essentiellement :

- dans la montagne des lithosols (sur calcaire), des régosols (sur les marnes et les grès), des sols à croûtes et encroûtements gypseux associés à ces derniers, ainsi que quelques sols peu évolués alluviaux sur des lambeaux de terrasses. D'une façon générale l'érosion hydrique y est très forte à l'occasion des pluies.
- Dans la zone aval, des sols gypseux à encroûtements localisés principalement sur les piémonts et sur quelques témoins de l'ancien glacis dans la plaine (10 % de la surface) et des sols d'origine alluviale peu évolués à texture lourde, très battants, à mauvais drainage interne, présentant des caractères de salure en profondeur.

1.5. - L'HYDROGRAPHIE

"Dans la région qui nous intéresse, le réseau hydrographique peut se partager entre deux grands bassins endoréiques et les oueds côtiers.

La gouttière, limitée au nord par la chaîne des jbels de Gafsa (Bou Hedma, Orbata, Ben Younes...) et au Sud par la chaîne du jbel Cherb, constitue une suite de dépressions formant autant de "chott" et de "sebkhet" dans lesquels se déversent, outre les oueds issus de ces jbels, trois oueds importants qui se sont frayé un passage à travers ces reliefs (il s'agit de l'oued Bayech, de l'oued Sedja et de l'oued Horchane, et dont le bassin remonte plus au nord, jusqu'aux monts de Tebessa".

On peut d'ailleurs schématiser le mode de propagation des crues de la manière suivante : une fois le ruissellement amorcé, les premiers écoulements commencent par se perdre dans le lit des oueds, développant ainsi vers l'aval une zone de saturation qui favorise l'écoulement au fur et à mesure que se développe la pluie. Ainsi, l'arrivée des eaux de ruissellement se fait en masses de plus en plus grandes. Les derniers écoulements rattrapent les premiers et la crue se présente alors comme un front brutal arrivant à vitesse élevée et présentant des débits importants pendant un temps très bref.

Cet effet d'accumulation est fortement modéré sur les grands bassins, sauf en cas de pluie homogène sur une région, et présentant de fortes intensités.

Les débits de pointes sont élevés. Il a été relevé sur les dix dernières années des débits spécifiques atteignant 6000 l/s.km² sur des bassins d'une centaine de kilomètres carrés et près de 2000 l/s.km² pour des bassins de 500 km².

1.6. - L'HYDROGEOLOGIE

Du point de vue hydrogéologique, il faut distinguer trois grands aquifères qui constituent l'essentiel des réserves d'eaux souterraines de cette région¹.

- La nappe du Continental Intercalaire, couvrant 600.000 km² répartis sur la Tunisie et l'Algérie, est épaisse en moyenne de plusieurs centaines de mètres. Elle est très profonde au centre du bassin, fortement artésienne et contient une eau chaude et salée (dont le résidu sec varie de 2,5 à 3,5 g/l).

- Le Complexe Terminal, constitué d'un ensemble de couches aquifères, plus ou moins liées, contenu dans les horizons du Crétacé Supérieur et du Tertiaire, forme une nappe couvrant une superficie de 350.000 km², peu profonde (de 100 à 400 mètres), de température peu élevée, et relativement peu salée.

- La nappe de la zone côtière du Sud tunisien, plus connue sous le nom de nappe de la Djeffara, est contenue dans les horizons assimilables à ceux du Complexe Terminal, et semblerait en constituer la continuité malgré sa situation dans un bassin apparemment indépendant. Elle est peu profonde (de 100 à 300 mètres), de température normale (25° C) et d'une salure comprise entre 3 et 4 g/l.

Si l'on fait abstraction du remplissage de ces immenses réservoirs, effectué durant les périodes pluvieuses du Quaternaire, il semble que leur alimentation actuelle se fasse à partir d'infiltration des eaux de ruissellement sur les bordures montagneuses du bassin (Atlas Saharien et Dahar principalement) ou à partir de pluies exceptionnelles, sur les grands ergs sahariens, qui sont en communication avec les aquifères.

- Le bassin des chotts Djerid et Fedjadj, qui se prolonge par la sebkha d'El Hamma, est limité au nord par le jbel Cherb, au Sud par le grand Erg Oriental et au sud-est par la chaîne des Matmats. Il reçoit toutes les eaux des jbels qui bordent le chott, et en particulier, celles du jbel Tebaga au Sud, ainsi que les oueds du Dahar.

¹ Extrait du rapport de BOURGES, FLORET, PONTANIER, 1977

- Les oueds côtiers, peu importants au nord de Gabès, forment au Sud un réseau d'oueds parallèles, issus des montagnes de Matmata et se dirigeant vers la mer. Dans la partie Sud de ces reliefs, beaucoup plus éloignée de la côte, les cours d'eau disparaissent dans de petits systèmes endoréiques." (BOURGES, FLORET, PONTANIER, 1977).

Il n'y a pas d'orientation générale du réseau hydrographique, mais la plupart des oueds, dans leur cours inférieur, présentent une direction est-ouest.

D'une façon générale le réseau est peu structuré et surtout formé de petits oueds qui, à leur sortie des reliefs, trouvent rapidement une pente insuffisante pour se tailler un lit, s'étendent en nappe et se perdent. Parfois leurs eaux sont récupérées par un oued plus important qui, mettant à profit un changement de pente, se taille un lit qu'il reprend aussitôt après.

Dans sa partie amont, le lit de l'oued entaillant la roche elle-même, est souvent sableux ou encombré de blocs rocheux. Au cours de fortes crues les vitesses peuvent atteindre 5 à 10 m/s. Dans son cours moyen, les berges souvent abruptes délimitent un lit sableux, plus large, et parfois mal défini. La vitesse de l'eau est suffisante pour charrier les matériaux et éviter le comblement du lit. En avançant vers l'aval les berges deviennent de moins en moins marquées, le lit s'élargit et finit par disparaître.

Le régime hydrologique de ces oueds est caractérisé :

- par l'irrégularité des crues qui peuvent survenir à n'importe quelle époque de l'année,
- par la rareté des crues : en année moyenne, sur des bassins de 50 km², il peut y avoir de 3 à 4 crues, un peu plus sur des petits bassins et moins sur les grands,
- par leur violence, résultant à la fois de l'intensité des averses, de l'état squelettique du sol et de la végétation, et des caractéristiques du réseau (lit à sec et fond perméable).

Il faut signaler également les alimentations moins bien connues entre nappes qui s'effectuent au niveau des failles, en particulier dans cette région, la faille de El Hamma-Medenine.

A ce système aquifère très important, vient se superposer une série de petites nappes, plus proches de la surface et très localisées :

- des nappes phréatiques pouvant atteindre 20 mètres de profondeur, et peu étendues, telles que Gabès-Nord, Chenchou, Oglat Merteba, Djerba, Zarzis,
- la nappe d'El Hamma, contenue dans les calcaires francs du Campanien entre 1 et 10 mètres de profondeur, fournissant une eau tiède (40°) et au résidu sec compris entre 2,9 et 4,3 g/l,
- la nappe du Chott Djerid contenue dans les horizons sablo-argileux du quaternaire et dont le niveau piézométrique varie de +0,5 à -1,5 mètre.

L'alimentation de ces nappes s'effectue :

- soit à partir des eaux météoriques,
 - . par infiltration des eaux de ruissellement collectées par le réseau de drainage et injectées dans les nappes par l'intermédiaire de l'inféro-flux,
 - . par l'infiltration directe dans des sols perméables (tels ceux du Draâ Oudref),
 - . par infiltration progressive des eaux dans les systèmes endoréiques perméables ou semi-perméables,
- soit à partir des eaux d'irrigation, non loin des périmètres de cultures irriguées et des eaux de colature ,
- soit à partir des alimentations sous-jacentes, provenant des nappes principales (c'est le cas de la nappe d'El Hamma qui reçoit la quasi totalité de son eau de la nappe du Continental Intercalaire par le truchement de la faille d'El Hamma-Médenine).

PLANCHE N°2

PHOTO : 1 -



PHOTO : 2 -



Fonds d'oueds (Zita 1 et 5) à *Phragmites communis*, palmier sauvage et *Lygeum spartum*

PHOTO : 3 -



Dans la partie médiane du cours de l'oued Zita, au confluent avec le Zita IV développement de *Phragmites communis* et *Arthrocnemum indicum*
(milieu hydrophile salé)

PHOTO : 4 -



PHOTO : 5 -



Aspects caractéristiques des lits d'oueds (Zita IV et II)

CHAPITRE 2

LE BASSIN DE L'OUED ZITA

La dénomination "bassin de l'oued Zita" désigne en fait un ensemble de 5 bassins versants situés sur l'oued Zita et sur ses affluents, dans le jbel Zemlet El Beïda, à 30 km au Nord-Ouest de Gabès, non loin du village d'Oudref (fig. 2.1).

Hormis le bassin principal de l'oued Zita ou Zita 1, d'une superficie de $3,2 \text{ km}^2$, qui a fonctionné de 1972 à 1980, et sur lequel ont été faites des mesures de débit, de transports solides et de matières en suspension, nous trouvons 4 sous-bassins, à savoir :

- le bassin de Zita 2 d'une superficie de $0,0141 \text{ km}^2$, situé en rive gauche sur un affluent de l'oued Zita et en amont, et étudié de 1973 à 1978 (années hydrologiques) (cf fig. 2.3),
- le bassin de Zita 3 dit de "la ravine", d'une superficie de $0,035 \text{ km}^2$, situé en rive droite de l'oued Zita, et dont l'exutoire se trouve à une dizaine de mètres en amont de la station principale. Sur ce bassin, de 1973 à 1977, en plus du contrôle des débits, il a été effectué des mesures de transports solides et en solution ainsi que des mesures de charriage (fig. 2.3).

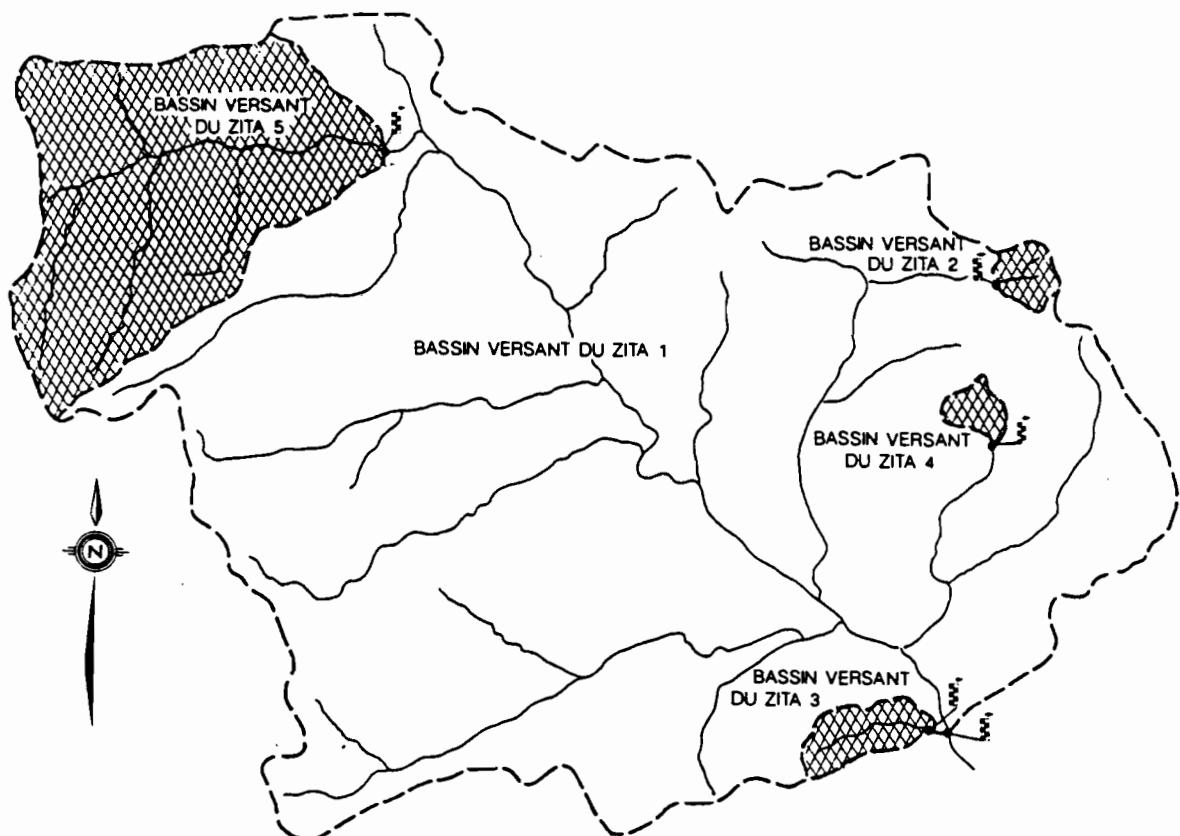


Fig-2-1 - LES BASSINS VERSANTS DE L'OUED ZITA

- Le bassin de Zita 4, situé sur un affluent rive gauche du Zita, non loin du bassin de Zita 2, a une superficie de 0,0133 km², et a été équipé pour servir de test, d'une station de prélèvement automatique qui a fonctionné en 1976. Les résultats ont fait l'objet d'un rapport (BOURGES, 1978). La période des observations va de 1975-76 à 1977-78, soit 3 années (fig. 2.3).
- Le bassin de Zita 5, situé en amont de l'oued Zita, a une superficie de 0,44 km², a été également observé pendant 3 années hydrologiques de 1975 à 1978. Il n'y a eu, en raison de l'éloignement de la station, aucun prélèvement de fait, et l'on a mesuré le charriage uniquement (fig. 2.3).

2.1 - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS

C'est à partir d'un orthophotoplan au 1/10.000^e, englobant la totalité du bassin de l'oued Zita, qu'ont été calculées les diverses caractéristiques physiques des bassins versants. Pour les petits bassins des levés topographiques ont complété, voire même remplacé l'orthophotoplan. C'est alors à l'échelle du 1/500^e ou du 1/1000^e que les calculs ont été effectués (fig. 2.3).

2.1.1 - Forme, surface, relief

Nous avons calculé pour chacun des bassins :

- la surface A en km²
- le périmètre stylisé P en km
- le coefficient de forme de Gravelius $K_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi} A}$
- la longueur et la largeur du rectangle équivalent L et l en km

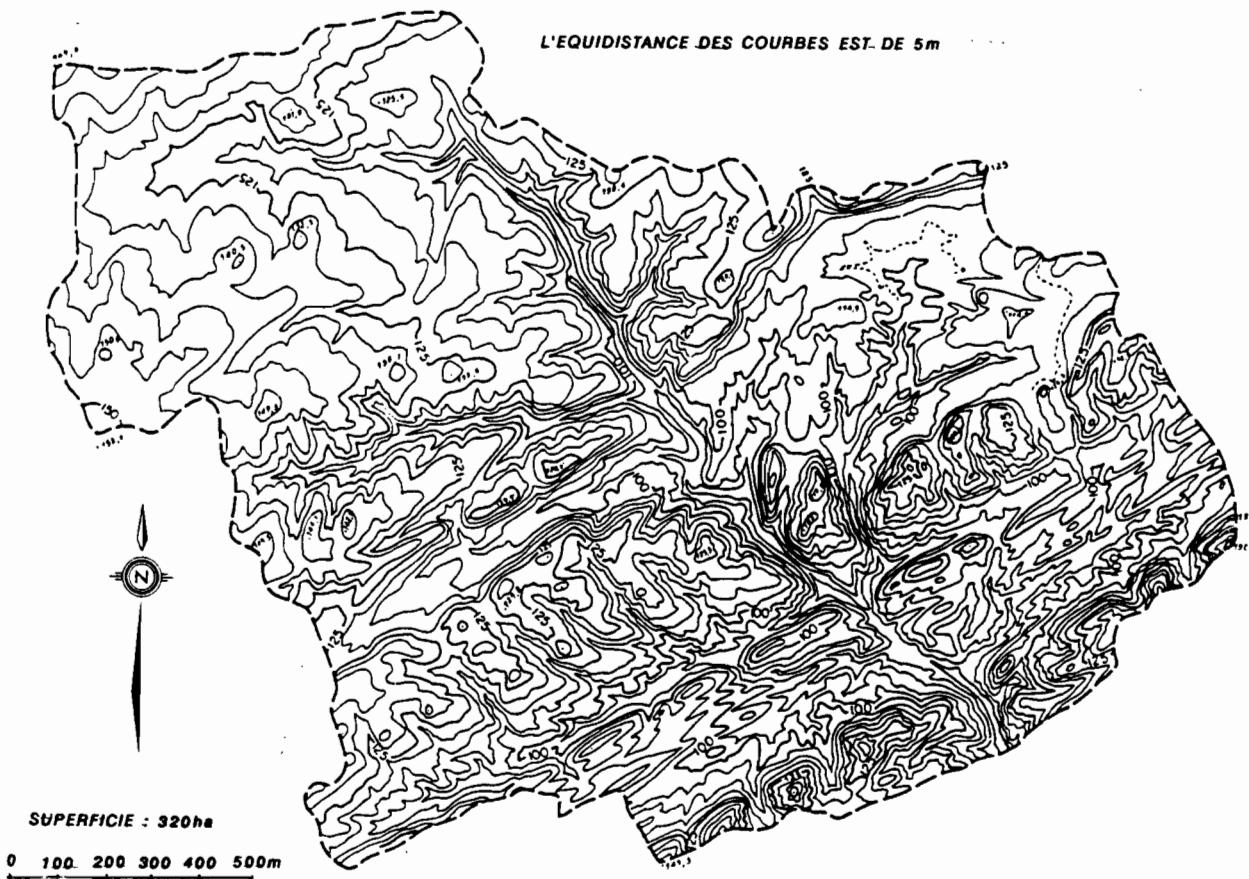


Fig-2-2 - CARTE HYPSEMTRIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

$$- \text{l'indice de pente de Roche } I_p = L^{1/2} \sum_{i=1}^n (a_i d_i)^{1/2}$$

où a_i = portion de la surface comprise entre les courbes de niveaux c_i et c_{i-1} et $d_i = c_i - c_{i-1}$

$$- \text{l'indice global de pente } I_{gp} = \frac{H 95 \% - H 5 \%}{L}$$

- l'altitude maximale, minimale et moyenne en mètres

$$- \text{la dénivellation spécifique } D_S = I_G \cdot A^{1/2}$$

Toutes ces valeurs ont été portées dans le tableau 2.1, ci-après. Dans les tableaux 2.2 et 2.3, nous donnons les valeurs de l'hypsométrie pour chacun des bassins.

Le bassin du Zita, compris entre 155 et 70 m d'altitude, draine une surface de 3,2 km² et présente un relief accentué dans sa partie sud. Sa forme allongée dans la direction NO-SE, lui confère une assez faible compacité. Sa pente régulière ne laisse apparaître aucune cassure (fig. 2.5).

Les courbes hypsométriques de la figure 2.2 permettent de distinguer :

- un bassin très plat, celui du Zita 2,
- 2 bassins à peu de relief, Zita 4 et Zita 5,
- un bassin très pentu, le Zita 3 avec une cassure au niveau de la cote 110 m due aux bancs de calcaires et de grès.

Tableau 2.1 - Caractéristiques physiques des bassins versants de l'oued Zita

Désignation / Nom des stations	Zita I	Zita II	Zita III	Zita IV	Zita V
Superficie A du bassin en km ²	3,2	0,0141	0,035	0,0133	0,440
Périmètre (km)	7,75	0,48	0,83	0,50	2,855
Indice de forme Kc	1,21	1,13	1,24	1,22	1,68
Longueur du rectangle équivalent en km	2,65	0,136	0,300	0,175	1,25
Largeur du rectangle équivalent en km	1,21	0,104	0,117	0,076	0,35
Altitude maximale en m	155	126,6	139	132,4	152
Altitude minimale en m	70,7	111,4	77,5	101,0	105,0
Altitude moyenne en m	115,0	114,5	108,0	118,5	142,0
Indice de pente Roche I_p	0,162	0,275	0,428	0,385	0,167
Indice de pente global I_{gp} (m/km)	50,0	11,0	41,0	20,8	28,0
Dénivellation spécifique (m)	32,2	9,6	26,0		
Classe de relief	R ₃	R ₁	R ₃		

Tableau 2.2 - Hypsométrie du Bassin Versant principal - Zita I

	Superficie partielle km ²	Pourcentage
Supérieur à 150 m	0,0032	0,1
de 140 à 150 m	0,1344	4,2
de 130 à 140 m	0,3936	12,3
de 120 à 130 m	0,7328	22,9
de 110 à 120 m	0,7232	22,6
de 100 à 110 m	0,6624	20,7
de 90 à 100 m	0,3744	11,7
de 80 à 90 m	0,1536	4,8
inférieur à 80 m	0,0224	0,7

Tableau 2.3 - HYPSCOMETRIE DES BASSINS ZITA 2, 3, 4 et 5.

Bassin de ZITA II			Bassin de ZITA III			Bassin de ZITA IV			Bassin de ZITA V		
Hypsometric	S ha	P%	Hypsometric	S ha	P %	Hypsometric	S ha	P%	Hypsometric	S ha	P%
126 a 126.6m	0,007	0,5	135 a 139m	0,035	1,0	132 a 132.4m	0,013	0,1	> 150 m	0,15	0,3
125 a 126m	0,021	1,5	130 a 135m	0,070	2,0	130 a 132m	0,027	2,0	145 a 150m	3,27	7,4
124 a 125m	0,021	1,5	125 a 130m	0,175	5,0	128 a 130m	0,064	4,8	140 a 145m	4,76	10,8
123 a 124m	0,035	2,5	120 a 125m	0,315	9,0	126 a 128m	0,073	5,5	135 a 140m	6,59	15,0
120 a 123m	0,028	2,0	115 a 120m	0,490	14,0	124 a 126m	0,094	7,1	130 a 135m	9,93	22,6
118 a 120m	0,042	3,0	110 a 115m	0,420	12,0	122 a 124m	0,152	11,4	125 a 130m	8,04	18,3
117 a 118m	0,028	2,0	105 a 110m	0,560	16,0	120 a 122m	0,158	11,9	120 a 125m	6,05	13,7
116 a 117m	0,112	8,0	100 a 105m	0,490	14,0	118 a 120m	0,132	9,9	115 a 120m	4,16	9,5
115 a 116m	0,212	15,0	95 a 100m	0,350	10,0	116 a 118m	0,154	11,6	110 a 115m	0,74	1,7
114 a 115m	0,352	25,0	90 a 95m	0,245	7,0	114 a 116m	0,129	9,7	105 a 110m	0,31	0,7
113 a 114m	0,368	26,0	85 a 90m	0,210	6,0	112 a 114m	0,124	9,3			
112 a 113m	0,156	11,0	80 a 85m	0,105	3,0	110 a 112m	0,093	7,0			
110 a 112m	0,028	2,0	77,5 a 80m	0,035	1,0	108 a 110m	0,065	4,9			
						106 a 108m	0,046	3,5			
						104 a 106m	0,020	1,5			
						102 a 104m	0,008	0,6			
						100 a 102m	0,001	0,1			

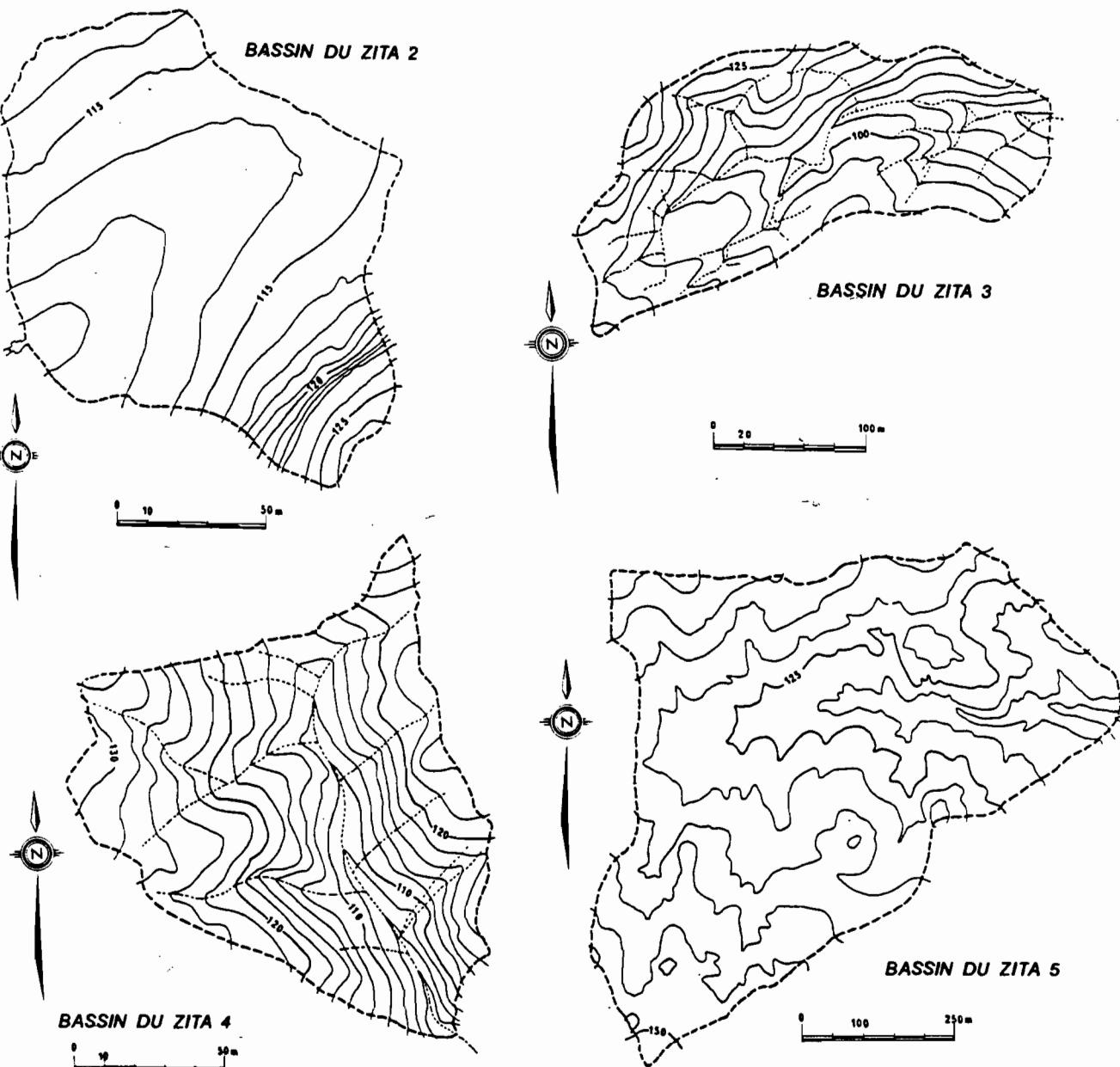


Fig-2-3 - HYPSCOMETRIE DES 4 SOUS-BASSINS DU ZITA

2.1.2 - Réseau hydrographique

Reflet de la stratigraphie, le drainage superficiel se fait par un réseau très dense et bien ramifié (fig. 2.4). Dans la partie Nord-Ouest, le ruissellement est collecté rapidement par un réseau de rigoles et de ravines qui se taillent sans peine un passage dans les matériaux marneux.

Dans la partie Sud-Est, le pendage et l'alternance des couches dures (calcaires) et tendres (marnes et argiles) favorisent la formation des ravines.

Le rapport de confluence R_c est de 3,6 et le rapport de longueur R_1 est de 2,7. La densité de drainage atteint 15,1.

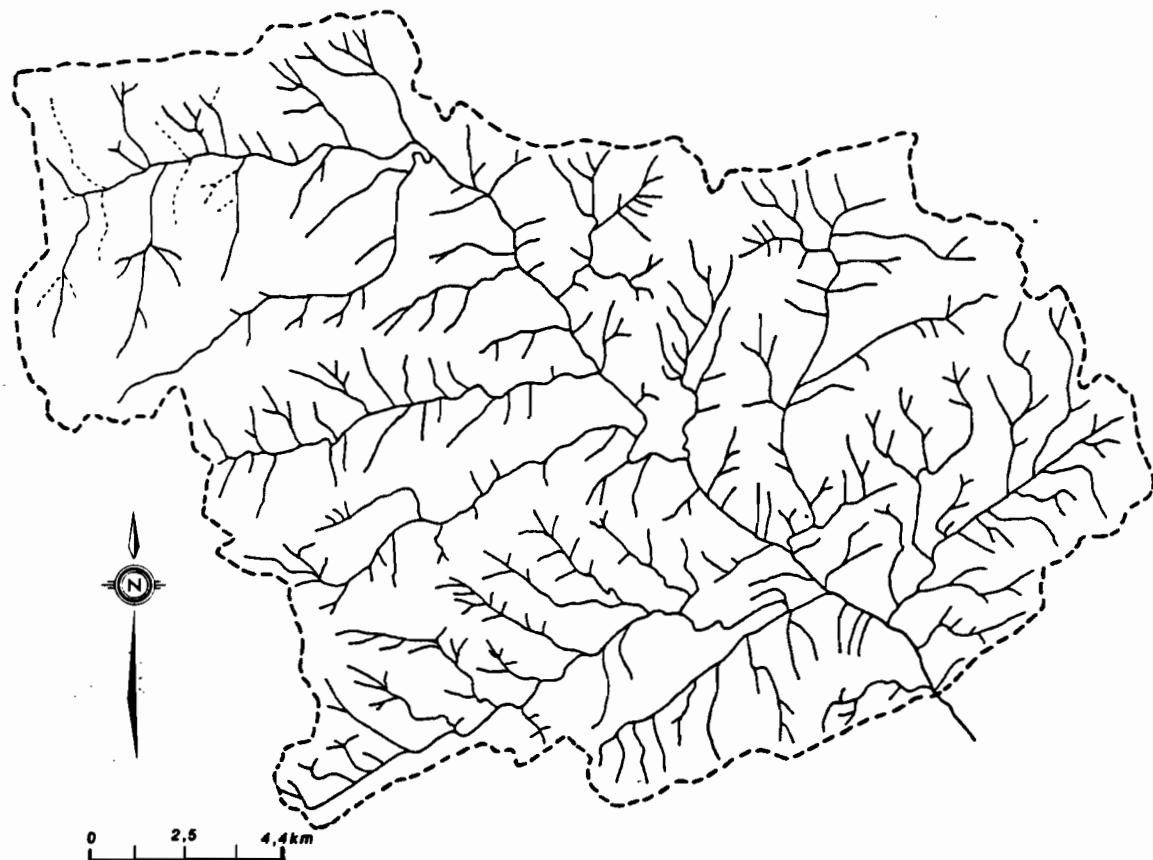


Fig-2-4 - LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN DE L'OUED ZITA

Les lits sont bien marqués. Ils présentent souvent des gorges aux passages de couches plus dures (calcaire ou gypse). Dans son cours supérieur, l'oued principal, comme ses affluents présente un lit accidenté, tapissé de blocs rocheux. La pente de ces lits, souvent interrompue par de petites chutes se situe en moyenne entre 0,025 et 0,03.

La pente de l'oued principal passe de 0,017 dans son cours médian à 0,013 à proximité de l'exutoire. Elle se situe en moyenne vers 0,024 pour une longueur de 3,3 kilomètres (fig. 2.5).

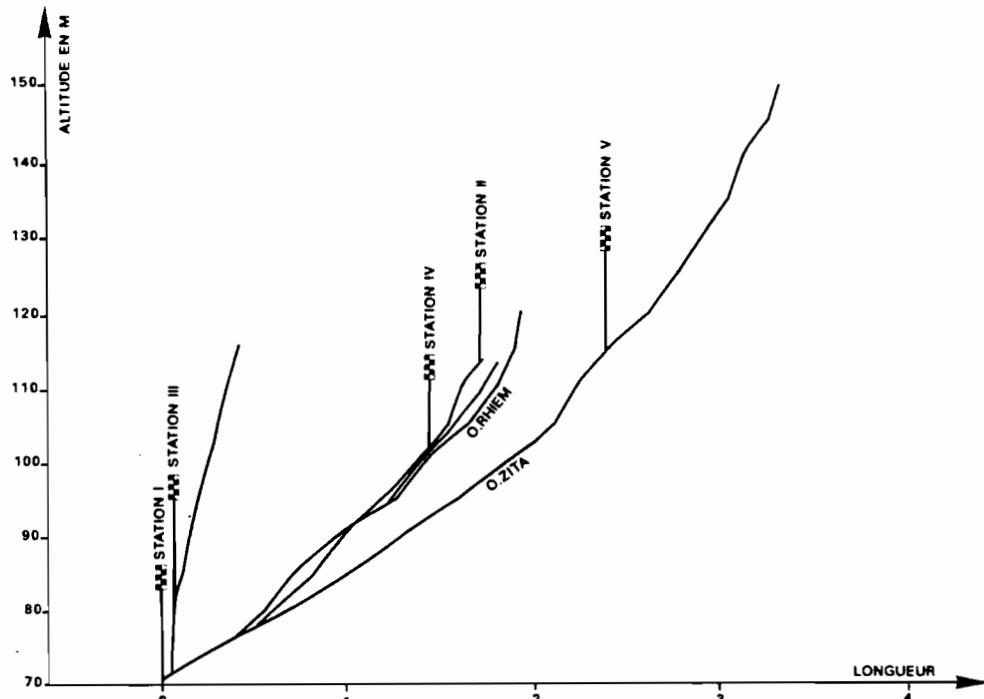


Fig. 2-5 - PROFILS EN LONG DE L'OUED ZITA ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS

2.2 - LA GEOLOGIE (d'après J.M. LAMACHERE)

Le bassin versant de l'oued Zita fait partie de la voûte anticlinale de Zemlet El Beïda, qui constitue l'extrémité orientale de la chaîne Nord des chotts, limite méridionale de l'Atlas tunisien.

La mise en place de l'anticlinal du jbel Fatnassa-Tebaga est contemporaine de celle du dôme de Fedjadj (première phase de l'orogenèse Atlasique appelée "phase post-lutétienne").

Cet anticlinal éventré en boutonnière, dont le cœur est occupé par la garaet Fedjadj, est constitué essentiellement par le Crétacé Inférieur comprenant :

- des calcaires durs dolomitiques du Turonien, soulignés par de puissantes corniches,
- des marno-calcaires à bancs de gypse du Cénomanien,
- des grès continentaux très tendres du Barrémien, fortement érodés par le vent,
- des argiles et marnes bariolées du Néocomien, présentant d'épais bancs de gypse et d'anhydrite dont la puissance peut atteindre plus de 2000 m d'épaisseur (forage SEREPT de Zemlet El Beïda). Ces argiles occupent la totalité du fond de la boutonnière.

Sur le bassin de l'oued Zita, on trouve (LAMACHERE, 1979), allant de l'exutoire du bassin vers le cœur de l'anticlinal, cinq unités lithologiques appartenant au faciès Weald (Valanginien-Hauterivien) du Crétacé Inférieur, qui affleurent en série normale.

L'unité 1 : alternance de gypse, marno-calcaire et marnes de 120 m de puissance,

- l'unité 2 : série gypseuse de 100 m de puissance,
- l'unité 3 : série argilo-marneuse de 150 m,
- l'unité 4 : série argilo-gypseuse d'une puissance d'environ 110 m,
- l'unité 5 : série argilo-sableuse n'affleurant pas sur le bassin.

Deux failles recoupent transversalement l'anticinal et ont pour effet principal de décaler vers le Sud-Est, les mêmes couches géologiques, quand on passe du compartiment Nord-Est au compartiment Sud-Ouest (fig. 2.6).

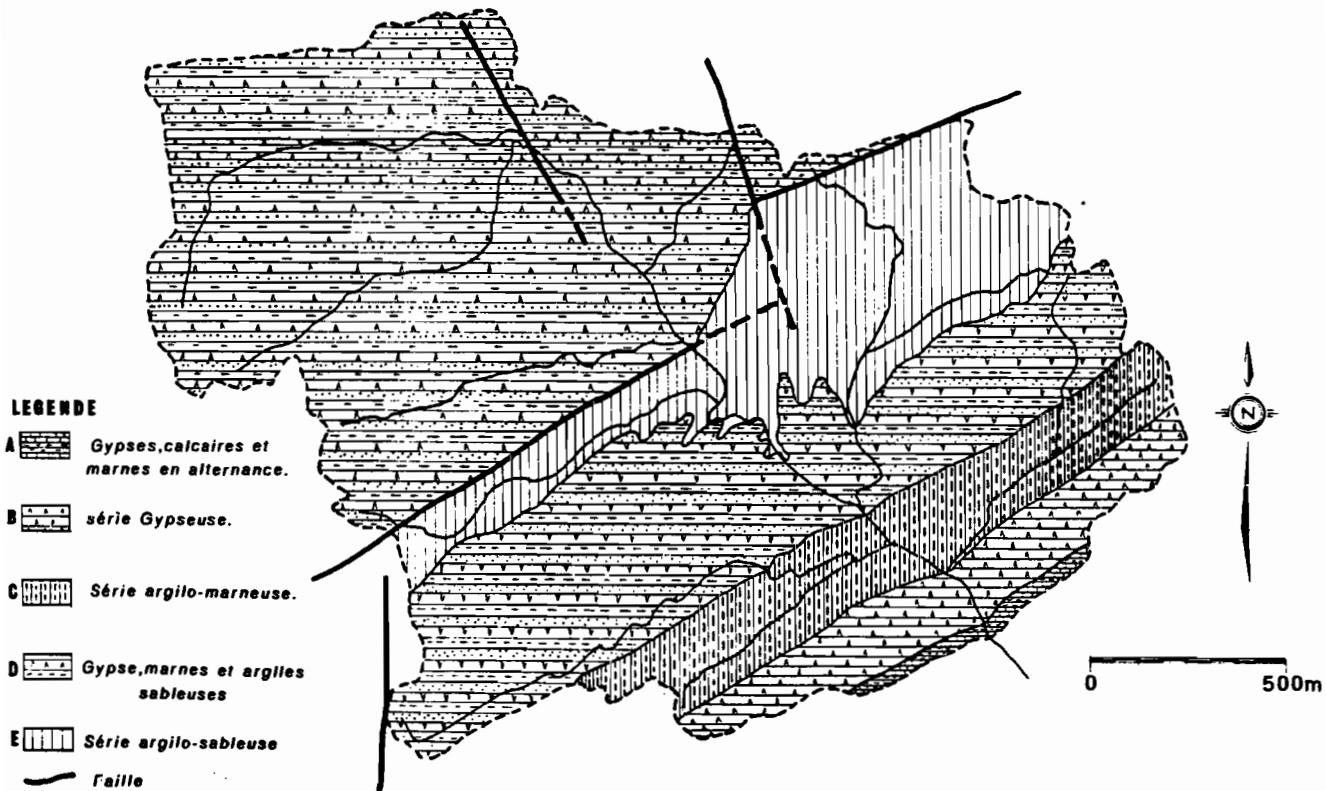


Fig-2-6 - CARTE LITHOLOGIQUE SCHEMATIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

2.3 - GEOMORPHOLOGIE (d'après J. BONVALLOT)

Le modèle du bassin versant de l'oued Zita est étroitement dépendant de la structure géologique. Les terrains du Crétacé Inférieur (Néocomien et Barrémien), présentant une alternance de faciès gréseux, marneux, gypseux et calcaires, ont été au cours de l'évolution géomorphologique, sculptés par l'érosion hydrique, chaque strate de roche dure apparaissant en relief. Les formes structurales sont donc ici prédominantes (fig. 2.7).

L'érosion très active et l'extrême ciselure du relief expliquent la rareté des témoins des différents épandages détritiques. Ceux-ci ne prennent une ampleur réelle que là où le substrat, suffisamment tendre, a été façonné en surface plane.

2.3.1 - Les formes structurales

L'anticlinal failé de Zemlet El Beïda est éventré par l'oued Zita et ses affluents. Les pentes structurales indiquées sur le croquis géomorphologique ont vers l'aval, des valeurs voisines de $20^{\circ}/30^{\circ}$, orientées du Sud-Est, puis passent vers le Nord-Ouest, à des valeurs beaucoup plus fortes ($50^{\circ}/55^{\circ}$). Elles vont ensuite en diminuant (de 55° à 23°) vers le cœur de l'anticlinal puis s'inversent en direction Nord/Nord-Ouest en conservant des valeurs faibles (5° à 12°).

La vigueur des formes structurales est fonction des pendages, mais aussi de l'épaisseur des couches de roche résistante.

2.3.1.1 - *Les corniches monoclinales*

Les corniches monoclinales sont des escarpements vigoureux façonnés dans une couche dure (gypse, grès ou calcaire), surmontant une couche tendre (marnes ou argiles) lorsque les pendages sont modérés.

Nous avons distingué sur le croquis géomorphologique :

- les corniches monoclinales majeures : elles forment des reliefs en pente forte aussi bien sur le revers en roche dure (généralement du gypse) que sur le talus d'érosion formé dans les terrains tendres (pentes comprises entre 40 et 70 %),
- les corniches rocheuses présentent peu d'abrupts verticaux, car les bancs de gypse reposant sur des couches fragiles ont tendance à basculer. Le talus est donc recouvert par de grandes dalles gypseuses qui glissent sur la pente mais aussi par des débris plus fins, cailloux et blocs, qui forment un tapis sub-continu épais d'une dizaine de centimètres, recouvrant les argiles et les marnes. Le revers laisse apparaître la roche à nu qui peut être taraudée, fractionnée, cassée et présente parfois l'aspect d'un véritable reg.
- Les corniches monoclinales mineures : dans la forme semblable aux majeures, elles n'en ont cependant pas les dimensions. Elles sont créées par l'affleurement de petits bancs de gypse, de calcaire ou de grès. Le plus souvent, elles se présentent sous la forme de chevrons bien visibles sur le revers des grandes corniches.

2.3.1.2 - *Les crêtes subverticales*

Lorsque les pendages sont très redressés, voisins de 60° , les corniches monoclinales prennent l'aspect de véritables arêtes aux deux versants aux pentes sensiblement égales. Les crêtes les plus importantes forment les points culminants du bassin versant. Elles sont presqu'exclusivement façonnées dans le gypse, leur talus étant, de plus, armé par de nombreux bancs gypseux métriques qui créent de petits ressauts. Comme pour les corniches monoclinales, les talus en roche tendre sont tapissés de débris hétérométriques issus des corniches et dont la taille peut aller jusqu'à la dalle de plusieurs dizaines de tonnes.

2.3.1.3 - *Les surfaces structurales dégradées*

Au cœur de l'anticlinal, là où les pendages n'excèdent pas 5° , les surfaces structurales dans les gypses ou les grès ont été légèrement retouchées par des phénomènes de planation, si bien qu'il est difficile de faire la part entre surface structurale et glacis.

Ces aplatissements qui ont quelques centaines de mètres de long, passent, sans rupture de pente à l'aval, à des épandages détritiques de plusieurs mètres d'épaisseur. Il y a ici concordance de forme entre une surface en roche dure, de faible pendage, et un glacis.

Fig-11 - OUED ZITA CROQUIS GEOMORPHOLOGIQUE



J.BONVALLOT

LEGENDE DU CROQUIS GEOMORPHOLOGIQUE

LITHOLOGIE : a = CALCAIRE

b = MARNES

c = GYPSE

d = MARNO-CALCAIRE

e = ARGILE GYPSEUSE

f = SABLE

FIGURES 1 = LIMITÉ D'UNITÉ

2 = PENDAGE

3 = FAILLE

4 = CORNICHE MONOCLINALE PRINCIPALE

5 = CORNICHE MONOCLINALE SECONDAIRE

6 = CRÈTE SUBVERTICALE PRINCIPALE

7 = CRÈTE SUBVERTICALE SECONDAIRE

8 = SURFACE STRUCTURALE DANS LES CALCAIRES

9 = TALUS D'ÉROSION SOUS CORNICHE

10 = GLACIS TERRASSE N°1

11 = SURFACE STRUCTURALE RETOUCHÉE EN GLACIS

12 = GLACIS SABLEUX N°2 (aval)

13 = ALTERNANCE D'ÉPANDAGES SABLEUX (N°1) ET DE TERRAINS ARGILE-GYPSEUX

14 = RAVINEAU ÉLÉMENTAIRE DANS LA ROCHE EN PLACE

15 = RAVIN

16 = BERGES SAPÉES

17 = SOURCE

18 = INCISION LINÉAIRE DANS MATÉRIAU MEUBLE

19 = ZONE DE "BAD-LANDS"

2.3.2 - Les épandages détritiques

Les épandages détritiques couvrent des superficies réduites dans le bassin versant. On les trouve surtout à l'extrême amont, région peu touchée par l'érosion ravinante et au centre même de l'anticlinal, dans la véritable combe partiellement faillée, où ils occupent le couloir situé entre les deux corniches gypseuses majeures qui se font face.

A partir de cette zone, une terrasse jalonne localement le cours principal et les affluents.

Les épandages se répartissent suivant deux niveaux bien distincts.

Le long d'un des affluents de l'oued Zita, l'on peut voir la coupe suivante :

- de 0 à 0,20/0,30 m : formation sablo-graveleuse avec individualisation de gypse sous forme de granules et de pseudomycélium.,.
- de 0,20/0,30 m à 1,40/1,50 m : lit graveleux passant en profondeur à une formation plus grossière (cailloux ayant jusqu'à 10 cm de longueur). Les éléments grossiers sont des fragments non émoussés de grès, de calcaire et de gypse fibreux rosâtre.
- De 1,40/1,50 m à 2,10 m : lit sableux fin à stratification entrecroisée.
- Au-dessous de 2,10 m : argile géologique verdâtre avec lits centimétriques de gypse fibreux blanchâtre.

Le long de l'oued principal, les coupes sont différentes, le matériau étant généralement beaucoup plus fin, les passées graveleuses se faisant plus rares.

2.3.3 - Les processus d'érosion

La faiblesse de la couverture végétale et les pentes fortes expliquent l'importance de l'érosion qui affecte le bassin versant.

2.3.3.1 - L'érosion diffuse

La majeure partie de la surface du bassin versant semble le siège de phénomènes de ruissellement diffus. En effet, les touffes de végétation sont très souvent déchaussées et, dans les secteurs les plus abrupts, elles servent fréquemment d'appuis à de petits replats d'accumulation qui donnent une microtopographie en marches d'escalier.

Lorsque la pente diminue, sur les ressauts ou au fond des petits talwegs, les atterrissements sableux couvrant des surfaces appréciables attestent de l'importance du processus.

Il faut en outre signaler l'intense dissolution des terrains gypseux. Les eaux d'infiltration ménagent dans ces substrats tout un réseau de galeries qui rendent le sol caverneux et provoquent, en bordure des vallées, des effondrements spectaculaires.

2.3.3.2 - L'érosion ravinante

Elle se manifeste surtout par :

- la formation de ravineaux dans les terrains meubles, principalement à la surface de la basse terrasse. Ces entailles élémentaires sont peu profondes (1 à 2 m) et très étroites.
- Le sapement des berges meubles de l'oued Zita et de ses affluents principaux. La basse terrasse, comme nous l'avons signalé plus haut, n'est pas encroûtée par le gypse. Elle est donc facilement entaillée par les

oueds. Les berges mises en porte à faux lors de la crue, s'effondrent ensuite, les matériaux mobilisés étant repris par la crue suivante et souvent redistribués dans le lit mineur sous la forme d'une petite banquette graveleuse ou sableuse.

- La formation de bad-lands dans les argiles et les marnes du cœur de l'anticlinal. Sur plus de 10 m de profondeur, les terrains tendres sont ciselés par le ruissellement en une multitude de ravins, les produits fins étant évacués vers l'aval.

2.3.4 - Conclusion

Le bassin versant de l'oued Zita semble donc être parfaitement représentatif des terrains plissés à dominante gypseuse du Sud tunisien. Les bancs de roches les plus dures, même très peu épais sont systématiquement soulignés par l'érosion qui cisèle les terrains encaissants. Les conditions de pente, favorables à un écoulement brutal, n'ont pas permis la formation de glacis importants. Les phénomènes d'érosion, malgré la faiblesse du volume des pluies sont très spectaculaires.

2.4 - PEDOLOGIE (d'après R. PONTANIER)

Le bassin de l'oued Zita, au relief très accentué et fortement marqué par l'érosion hydrique, est essentiellement constitué de sols minéraux bruts et de sols calcimagnésimorphes gypseux (carte pédologique de l'oued Zita, fig. 2.8).

2.4.1 - Les sols minéraux bruts non climatiques

2.4.1.1 - *Les sols bruts d'érosion*

- Les lithosols sont localisés au niveau des affleurements de calcaires et calcaires dolomitiques qui se présentent sous forme de corniches ou de pointements rocheux.

- Les régosols sur marnes bariolées à faciès wealdien sont juxtaposés ou associés à des croûtes ou encroûtements gypseux, dus à la présence de filons de gypse au sein des marnes, et qui, sous l'effet de l'action érosive de la pluie et du vent, sont mis en relief. Ces régosols sont bien représentés dans le secteur aval du bassin et également au Nord-Est.

2.4.1.2 - *Les sols bruts d'apport*

- Les apports fluviatiles sont uniquement localisés dans le lit de l'oued Zita et de ses principaux affluents. Ils sont constitués d'éléments érodés provenant du bassin (marnes, graviers gypseux et calcaires), souvent disposés en alternance discontinue.

- Les apports colluviaux sont limités aux zones d'éboulis descendant, soit des corniches calcaires, soit de pointements. Ils participent à la formation des sols bruts d'apports fluviatiles.

2.4.2 - Les sols peu évolués non climatiques

Ils sont représentés par :

2.4.2.1 - *Les sols d'érosion*

Ceux-ci sont bien représentés dans la partie Nord-Nord-Est du bassin et leurs caractéristiques physico-chimiques favorisent le ruissellement en nappe.

2.4.2.2 - *Les sols d'apports modaux sur colluvions*

Ils sont bien développés à l'amont des sols bruts d'érosion (régosols) et à l'Est du bassin où ils peuvent recouvrir des matériaux sableux ou des encroûtements gypseux.

2.4.2.3 - *Les sols d'apport mixtes colluviaux et alluviaux*

Ces types de sols se développent dans les vallées les plus larges, soit de l'oued Zita soit des gros affluents et sont plus spécialement répandus à l'Ouest et au Nord-Ouest du bassin.

Plus profonds que les précédents, ils présentent une évolution plus marquée (pseudomycélium gypseux).

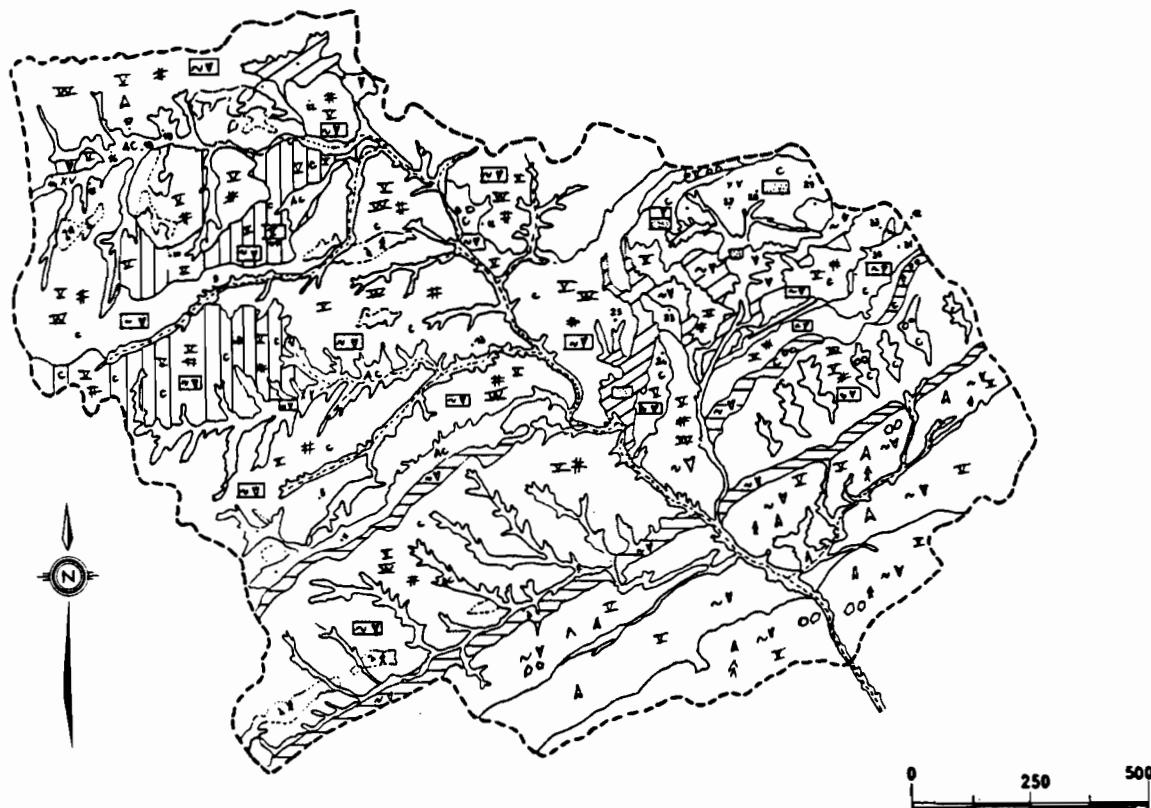


Fig-2-8 - ESQUISSE PEDOLOGIQUE DU BASSIN DE L'OUED ZITA

SOLS MINERAUX BRUTS NON CLIMATIQUES
BRUTS D'EROSION

LITHOSOLS (SUR ROCHES DURES)

A SUR CALCAIRE OU CALCAIRE MARNEUX,
PRÉNANT LOCALEMENT L'ASPECT DE REG

A SUR BANC DE GYPSE FIBREUX OU SACCHAROIDÉ

B REGOSOLS

~ V SUR MARNES BARIOLÉES (FACIES WEALDIEN)
À FILONS GYPSÉEUX DU CRÉTAÏQUE INFÉRIEUR.

~ V SUR SABLE FIN D'ORIGINE LAGUNAIRE.
EN RAISON DE GRANDES VARIATIONS DANS LE FACIES
LAGUNAIRE DE LA SÉRIE STRATIGRAPHIQUE, CES
DIFFÉRENTS SOLS D'EROSION SONT SOUVENT JUXTAPOSÉS
ET ASSOCIÉS À DES ENCRÔTEMENTS ET CRÔUTÉS GYPSÉEUX.

BRUTS D'APPORTS

A * FLUVIALES: LITS DE L'OUED ZITA ET DE SES
AFFLENTS CONSTITUÉS D'UNE ALTERNANCE DE
DÉPÔTS MARNEUX ET DE GRANIERS DE ROCHES GYPSÉEUSES,
CALCAIRES ET GRESSEUSES, SE SALANT LOCALEMENT FORTEMENT
DURANT LA SAISON SÈCHE (ZONE DES SOURCES ET DES AMEDIRS)

OO * COLLUVIAUX: EBoulis DE PENTE (SOUVENT GYPSÉEUX)
DES HAUTES CORNICHE (BLOCS ET CAILLOUX TRÈS ABONDANTS)

SOLS PEU EVOLUÉS NON CLIMATIQUES
SOL D'EROSION

~ V * REGOSOLIQUES SUR MARNES BARIOLÉES. EVOLUTION
SUR 20 À 30 CM, EROSION EN NAPPE LORS DES PLUIES.

SOLS D'APPORTS

B MODAUX

C SUR COLLUVIONS PROVENANT PRINCIPALEMENT DE
MARNE GYPSÉEUSES POUVANT ÊTRE LÉGÈREMENT SALÉES ET
ALCALISÉES. SURFACE TRÈS BATTANTE. SOUVENT ASSOCIÉS À DES
ENCRÔTEMENTS GYPSÉEUX D'OUILS PEUVENT RECOUVRIR.

A C SUR MATERIAU D'ORIGINE MIXTE DANS LES DÉPRESSIONS
ET LES FONDSCOLLUVIONS ET ALLUVIONS, IDENTIQUES AUX
PRÉCÉDENTS MAIS PRÉSENTANT PARFOIS UNE REMISE EN MOUVEMENT
DU GYPSE SOUS FORME DE PSEUDOMICELLEUM SOUVENT PLUS PROFONDS.

LEGENDE

SOLS CALCOMAGNESIMORPHES
SOLS GYPSÉUX

T * ENCRÔTEMENTS GYPSÉEUX SE DÉVELOPPIENT SOIT SUR DES
BANCS GYPSÉEUX, SOIT SUR DES COLLUVIONS GYPSÉEUSES. SOUVENT UN
PLACAGE COLLUVIAL LOCALISÉ (A) PERMET À UNE MAIGRE VÉGÉTATION
DE SE DÉVELOPPER.

T* * CRÔUTÉS GYPSÉEUX MÊME ORIGINE QUE LES PRÉCÉDENTS
AUXQUELS ELLES SONT SOUVENT ASSOCIÉES.

JUXTAPOSITION DES SOLS

T* * SOLS GYPSÉEUX, JUXTAPOSÉS À DES SOLS PEU ÉVOLUÉS SE
DÉVELOPPIENT DANS LES FONDS SUR DES COLLUVIONS LIMONO-ARGALEUSES
RECOUVRANT ELLES-MÊMES L'ENCRÔTEMENT PRÉCÉDENT.

SIGNE PARTICULIERS

ROCHES

A CALCAIRE

~ V MARNE GYPSÉEUSE

A GYPSE CRYSTALLISÉ
EN BANC

OO SABLE

A ALLUVIONS

C COLLUVIONS

SURFACE

A REG

C PLACAGE COLLUVIAL
(0.0 CM)

OO CAILLOUX

~ V EROSION FORTE

// EROSION MOYENNE

CRÔUTÉS

T* ENCRÔTEMENT GYPSÉUX T* CRÔUTE GYPSÉEUSE

TEXTURE

SABLEUX	S	*
LIMONO-ARGALEUX	L	+
ARGILE-LIMONEUX	U	+

surface

profondeur

SIGNE DIVERS

P POLYGONATION

□ HORIZON OU ROCHE ENTRÉE

21 PROFIL PÉDODOLOGIQUE

** PSEUDOMICELLEUM ET VÉRGE
CALCAIRE-GYPSÉEUSE

2.4.3 - Les sols calcomagnésimorphes gypseux

Ces sols sont représentés pratiquement sur tout le bassin versant en dehors des lits d'oueds et des vallées. Ils se présentent sous forme de croûtes ou d'encroûtements gypseux et se développent plus spécifiquement sur les bancs de marnes à stratification gypseuse ou sur leurs colluvions. La présence de bancs de gypse dans les marnes a limité leur érosion et a permis le développement des croûtes et encroûtements gypseux qui, à leur tour limitent l'érosion ravinante, et favorisent le ruissellement en nappe.

2.4.4 - Conclusions

A l'exception des pointements et corniches calcaires, support du relief, le bassin de l'oued Zita est essentiellement constitué de marnes gypseuses et de formations gypseuses encroûtées. L'érosion en ravines se développe plus spécialement au niveau des affleurements marneux tandis que les croûtes et encroûtements gypseux constituent des sols favorisant le ruissellement en nappe d'eaux faiblement turbides mais bien chargées en sels dissous (Ca^{++} , SO_4^{--}).

2.5 - PHYTOECOLOGIE ET BOTANIQUE (d'après R. JOFFRE)

Les grandes unités de végétation de la Tunisie méridionale ont déjà été étudiées et décrites (LE HOUEROU, 1959, 1969). On peut dire que la végétation primitive (proche du climax) de cette région a totalement disparu. On peut imaginer qu'elle consistait en une steppe à base de Chaméphytes avec quelques arbres. Actuellement sur les sols bruts d'érosion des jbel Tebaga-Fatnassa, il ne subsiste qu'un couvert végétal faible, principalement représenté par l'alfa.

Les unités phyto-écologiques cartographiées sur le bassin versant de l'oued Zita, font partie des deux associations définies par LE HOUEROU (JOFFRE 1978).

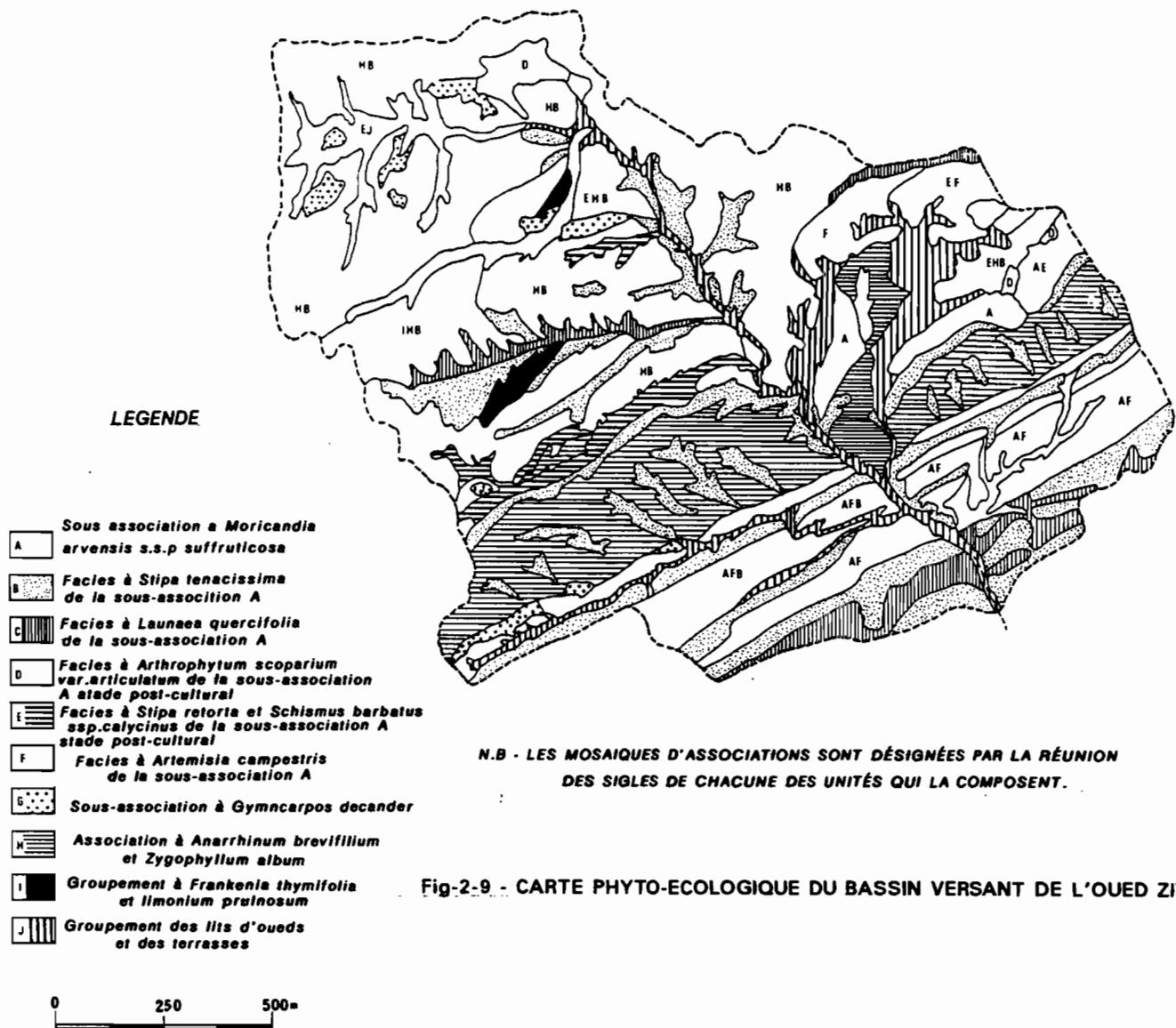


Fig-2-9 - CARTE PHYTO-ECOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

Nous retiendrons donc sur les bassins de l'oued Zita (fig.2.9), les sous-associations et faciès suivants :

2.5.1 - Association à *Artémisia herba-alba* et *Arthrophytum scoparium*

Elle comprend six groupes écologiques dont les principaux sont ceux des sols steppiques de l'étage aride et ceux des sols gypsophiles. A partir de ces groupes écologiques, l'auteur a défini deux sous-associations. La première, la sous-association à *Moricandia arvensis*, qui se décompose en cinq faciès, assez représentatifs du type de sols sur lesquels on les trouve.

C'est ainsi, par exemple, que le faciès à *Stipa tenacissima* est localisé presque exclusivement sur les versants exposés au Nord-Ouest, alors que le faciès à *Launea quercifolia* se trouve sur les mêmes types de sols, mais exposés au Sud-Est.

Le faciès à *Arthrophytum Scoparium* var. *articulatum*, est lui, localisé sur des marnes gypseuses anciennement cultivées et le faciès à *Stipa retorta* et *Schismum herbatus* ssp. *calycinus* est localisé dans les vallées anciennement cultivées. Enfin, le faciès à *Artemisia campestris* se trouve développé sur les colluvions gréseuses et les argiles sableuses.

La deuxième sous-association est celle à *Gymnocarpos decander* bien développée sur les lithosols calcaires ou calcaro-marneux, présentant souvent un aspect de reg.

2.5.2 - Association à *Anarrhinum brevifolium* et *Zygophyllum album*

Elle comprend deux groupes écologiques principaux, le groupe écologique gypsophile et celui des croûtes et encroûtements. Le premier se divise en groupes liés aux sols gypseux salés (avec des différences de salure) et aux encroûtements non salés. Cette association se rencontre sur les sols gypseux à encroûtements bien développés.

2.5.3 - Groupement à *Frankenia thymifolia* et *Limonium pruinosum*

Il comprend les groupes écologiques suivants : le groupe gypsohalophile de salure diverse, le groupe halophile et le groupe des croûtes et encroûtements.

On le trouve sur les sols gypseux, présentant une tendance à la salure.

2.5.4 - Groupement des lits d'oueds et terrasses

L'extrême hétérogénéité de la végétation dans les lits d'oueds et terrasses ne permet pas de définir une composition type de celle-ci. On y rencontre toutes les espèces des groupements précédents. On donnera un caractère particulier aux groupes halophiles, gypsophiles et phréatophiles.

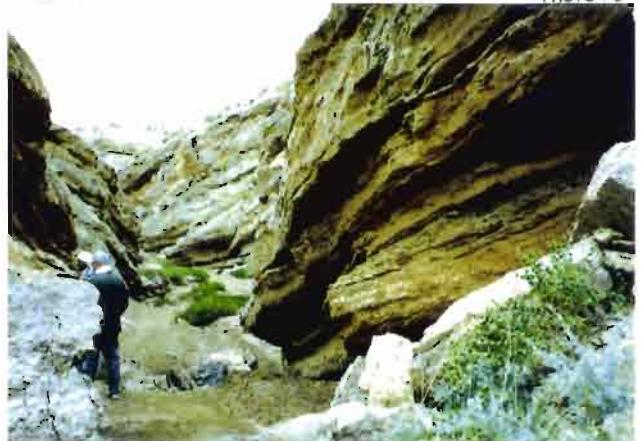
PLANCHE N°3

PHOTO : 1 -



Série gypso-marneuse et argilo-sableuse du néocomien supérieur de l'anticlinal de Zemlet el Beida creusé par le lit majeur alluvionné de l'oued Zita

PHOTO : 2 -



Vue du flanc méridional de l'anticlinal de Zemlet el Beida creusé par l'oued Zita dans les séries marno-gypseuses du Néocomien supérieur (vue vers l'aval)

PHOTO : 3 -



Alternance de petits bancs de gypse libreux et de calcaire fréquemment dolomitique de couleur jaune-beige

PHOTO : 4 -



Barre décimétrique de gypse fibreux recouvert par des marno-calcaires feuilletés(Néocomien supérieur)

PHOTO : 5 -



Micropolis décimétriques affectant une série de petits bancs de gypse fibreux rose,d'argiles lie de vin et de marno-calcaires beiges (vue rive droite de l'oued Zita)

PHOTO : 6 -



Micropli-métrique du flanc méridional de l'anticlinal de Zemlet el Beida,affectant la série marno-gypseuse du Néocomien supérieur.Axe anticinal à gauche de la photo.(vue rive gauche de l'oued Zita)

CHAPITRE 3

CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES

Nous donnons dans les pages qui suivent les résultats des observations effectuées à la station climatologique du Telmam, au cours de la période 1972-1979.

3.1 - LA STATION CLIMATOLOGIQUE DU TELMAM

Cette station se trouve non loin de la citerne Telmam (hors du bassin versant de l'oued Zita).

Elle est située à environ 1,200 km de la station aval du Zita I, sur une zone de piémont. Elle a fonctionné sans interruption de septembre 1972 au 31 août 1980.

Elle se présente sous forme d'un carré de 15 m de côté, clos par un grillage à maille de 3 cm, sur une hauteur de 1 m; la végétation à l'intérieur de la station est celle du milieu environnant (fig. 3.1).

A la fin de la saison 1973-1974 son équipement était le suivant :

1) Un abri météorologique en bois situé à 2 m du sol, avec volets à double inclinaison renfermant :

- 1 thermomètre à maximum (relevé à 8 h donnant le maximum de la veille),
- 1 thermomètre à minimum (relevé à 8 h et donnant le minimum journalier),
- 1 psychromètre mural à ventilation naturelle Prolabo (lu à 8 h, 12 h, 16 h et 20 h),
- 1 évaporimètre Piche (lu à 8 h, 12 h, 16 h et 20 h),
- 1 barographe à rotation hebdomadaire (Richard),
- 1 thermo-hygromètre à rotation hebdomadaire (Richard).

2) Deux bacs à évaporation

- 1 bac Colorado type ORSTOM, de 1 mètre de côté, en tôle d'aluminium épaisse de façon à résister au mieux à la corrosion de l'eau saumâtre (en été l'eau de remplissage tirée d'un forage présente une salinité de 3 g/l et peut atteindre par effet de concentration 10 g/l).
- 1 bac américain, classe A, du Weather Bureau, en tôle d'acier inoxydable placé à 9 cm au-dessus du sol sur un caillebotis en bois.

Ces deux bacs sont couverts à 60 cm du sol, par un cadre carré de 3 mètres de côté tendu d'un grillage à fil fin et larges mailles pour en barrer l'accès aux oiseaux.

Les relevés sont faits chaque matin à 8 h.

- Deux thermomètres destinés à la mesure de la température de l'eau dans les bacs. Les relevés sont faits à 8 h, 12 h, 16 h et 20 h.

3) Température du sol

- Une batterie de thermomètres sol mesurant la température à 10, 20, 30 et 60 cm de profondeur. Ces thermomètres complètement enterrés dans une gaine de cuivre, comportent un bulbe placé à la profondeur à mesurer, et relié à l'échelle des températures, situé sur la partie émergeant du sol par une colonne plus ou moins longue selon l'importance de la profondeur mesurée. Il s'ensuit, pour ces

deux raisons, longueur de la colonne émergente et conductivité thermique du cuivre, une certaine imprécision.

4) Mesure du vent

- Deux anémomètres totalisateurs relevés à 8 h, 12 h, 16 h et 20 h :

- . l'un placé à 2 m du sol, type Casella, donne les lectures au décamètre près ,
- . l'autre, placé à 50 cm du sol, de marque Siap, fournit avec la même précision l'importance du vent au niveau des bacs à évaporation ,
- . une girouette observée à chaque relevé, située à 1,75 m du sol ,
- . une balance de rosée du type Lambrecht. La mesure de la rosée piégée sur le plateau collecteur de 100 cm² se fait directement avec une précision de 0,1 g. Un tambour à rotation hebdomadaire en permet l'enregistrement continu.

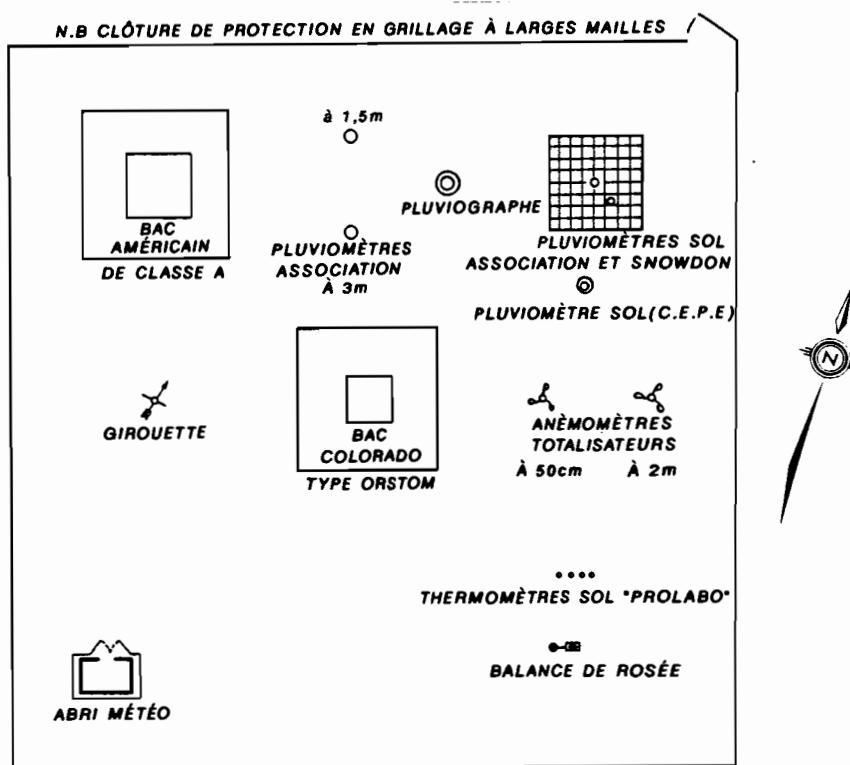


Fig-3-1 - STATION CLIMATOLOGIQUE DU TELMAM
PLAN DE LA STATION DU 1.9.74 au 1.8.80

5) Mesure de la pluie

- A partir de cinq pluviomètres, dont 4 ont été mis en place en 1973 :

- . 2 pluviomètres de type Association, 400 cm², placés à 1,5 m (n° de code 1489491104) et 3 m du sol (n° de code 1489491106),
- . 1 pluviomètre de type Association, 400 cm², placé au centre d'une fosse carrée de 2 m de côté, la

collerette affleurant au niveau du sol. Autour de ce pluviomètre est mis en place un entrecroisement de tôles (mailles de 25 x 25 cm) qui évite simultanément les tourbillons de vent dans la fosse et les rejaillissements de gouttes à l'intérieur du pluviomètre (n° de code 1489491105).

- . 1 pluviomètre de type Snowdon, adopté comme pluviomètre de référence par l'OMM et installé dans la même position que le pluviomètre précédent (n° de code 1489491107).
- . 1 pluviomètre de type CEPE en plastique de 100 cm². Il est composé d'un seau enterré, fermé par un couvercle, qui supporte l'entonnoir récepteur. L'eau est collectée dans un deuxième seau, fermé, plus petit, placé à l'intérieur du précédent. La collarette est à 20 cm au-dessus du sol.

Enfin un pluviographe de type Précis mécanique, 400 cm², à augets basculeurs (PG 21) à rotation de 24 h complète l'équipement de la station météorologique (n° de code du pluviographe 1489491151).

3.2 - TEMPERATURE DE L'AIR

Nous présentons en annexe, dans le tableau I les températures caractéristiques mensuelles et annuelles des huit campagnes. Elles sont exprimées en degrés centigrades et comprennent :

- la température maximale observée au cours du mois : T_{xa}
- la moyenne mensuelle des températures maximales journalières T_x
- la moyenne mensuelle des températures minimales journalières T_n
- la température minimale observée au cours du mois T_{na}
- la température moyenne mensuelle généralement représentée par l'approximation $T_x + T_n / 2$
- la moyenne mensuelle des températures moyennes journalières obtenues par planimétrage des courbes de variations journalières : T_m . Elle n'a été calculée de cette façon, que pour l'année 1972-73
- l'amplitude diurne moyenne mensuelle $T_x - T_n$
- l'amplitude maximale observée au cours du mois $(T_x - T_n)_{xa}$
- l'amplitude minimale observée au cours du mois $(T_x - T_n)_{na}$

A titre de comparaison, nous indiquons également les températures moyennes mensuelles relevées par le Service Météorologique National à la station de Gabès.

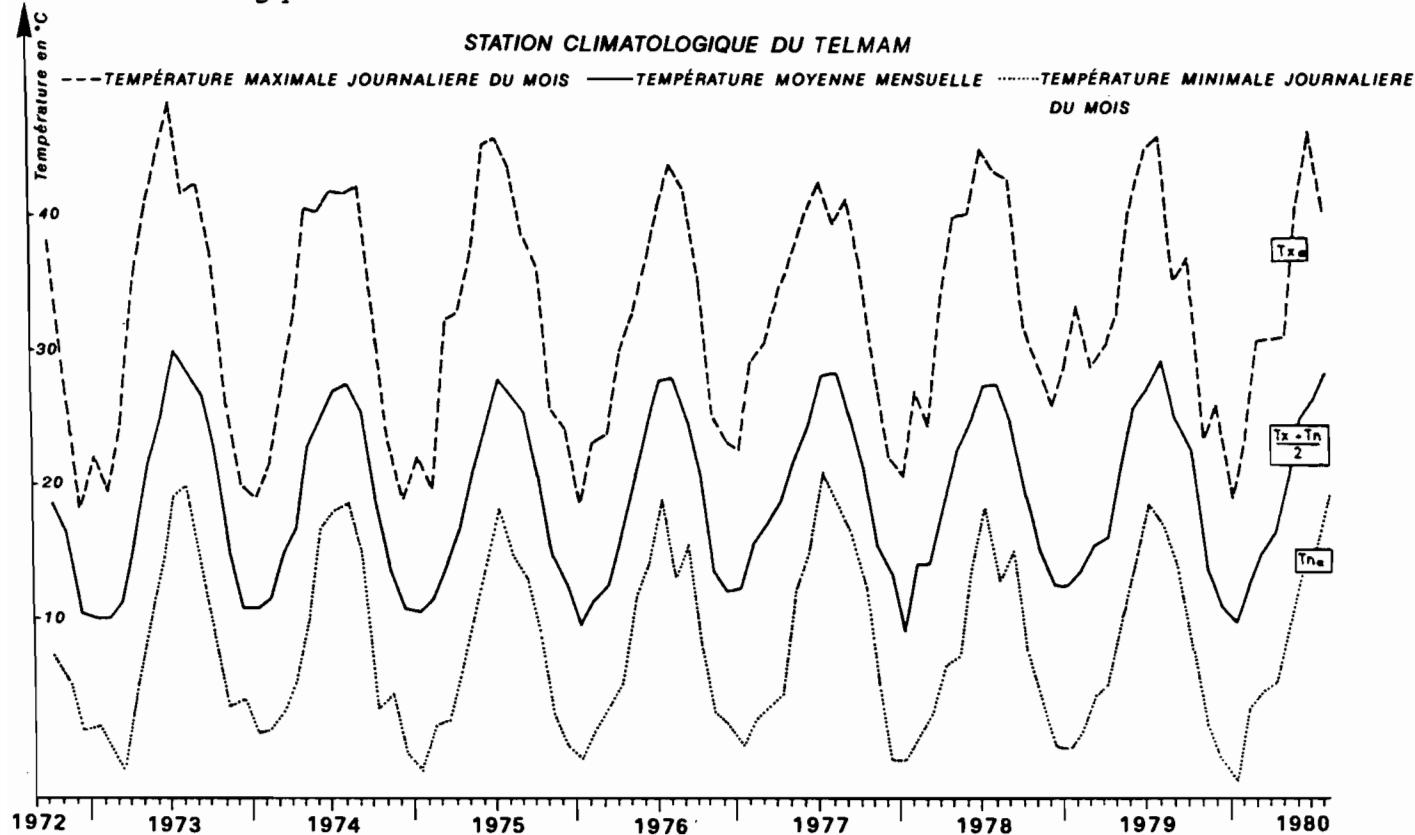


Fig-3-2 - TEMPERATURE DE L'AIR (1972-1980)

Signalons que l'erreur commise au cours de la campagne 1972-1973 en se basant sur l'approximation $T_x + T_n / 2$ avec $T / T_m = 2 \%$ n'est pas totalement négligeable

Néanmoins, pour permettre la comparaison avec d'autres stations et pour simplifier les mesures, nous garderons cette estimation de la température moyenne, tout en soulignant que la température moyenne réelle T_m lui est systématiquement inférieure.

Si nous considérons l'ensemble des valeurs mensuelles obtenues sur la période d'observations (1972-1979), on peut constater que le cycle de variation annuelle de la température mensuelle est assez régulier d'une campagne à l'autre (cf. fig. 3.2 et 3.3).

Il est caractérisé par un minimum réparti sur les trois mois d'hiver (décembre, janvier et février) et un maximum estival très net comme cela est le cas en juillet 1973, en juillet 1977 et en août 1976, ou bien alors en palier, comme pendant les années 1973 et 1974.

Nous noterons également que ce sont les hivers 1972 et 1979 qui ont été les plus froids et 1978 le plus doux. C'est encore 1972 qui présente l'été le plus chaud et 1976 le plus frais, la répartition des épisodes pluvieux y étant pour beaucoup.

Les températures extrêmes relevées pendant la période 1972-1979 sont de $-2,0^{\circ}\text{C}$ pendant l'hiver 1979 (1) et de $47,9^{\circ}\text{C}$ au cours de l'été 1972. Malgré des écarts importants d'une saison à l'autre, l'amplitude diurne accuse un minimum voisin de 11°C durant les trois mois d'hiver, puis augmente de façon très irrégulière pour atteindre en général son maximum en juillet ou août.

Le profil de la courbe de variation de la température de l'air au cours de la journée moyenne est difficile à déterminer étant donné l'irrégularité de ces températures. Nous donnons en annexe, dans le tableau II, les températures moyennes mensuelles et annuelles aux heures des relevés (8, 12, 16 et 20 heures).

Si l'on considère l'ensemble des observations sur les huit années, il apparaît que, d'une année sur l'autre, les variations de température à l'échelle de la journée sont relativement comparables, et l'on peut en déduire le profil de température de la journée type moyenne de l'année.

3.3 - HUMIDITE DE L'AIR

L'humidité de l'air s'exprime en degrés hygrométriques ou humidité relative. Elle est définie par :

$$U \% = 100 e / e_w$$

dans laquelle e est la tension de vapeur actuelle et e_w la tension de vapeur saturante aux mêmes conditions.

Les valeurs rassemblées dans le tableau III résument les observations faites aux heures des relevés pour l'ensemble de la période étudiée. Les humidités ont été calculées à partir des mesures de température aux thermomètres sec et humide du psychromètre et au moyen des tables de la Météorologie Nationale.

Dans ces tableaux, nous donnons les valeurs de l'humidité relative moyenne mensuelle aux heures des relevés (8 h, 12 h, 16 h, et 20 h), puis la moyenne mensuelle des maxima (U_x), le maximum de l'humidité relative observé au cours du mois (U_{xa}), et la valeur moyenne mensuelle des minima (U_n) et enfin sur la dernière ligne des tableaux, la valeur des minimums absolus de l'humidité relative observée au cours du mois (U_{na}).

L'humidité relative n'étant pas un paramètre physique, mais résultant du rapport de deux grandeurs, il peut paraître a priori inopportun de choisir la moyenne arithmétique pour figurer le phénomène moyen, et il est préférable d'utiliser la médiane.

Néanmoins, les écarts entre les valeurs relevées aux mêmes heures, durant un mois donné étant sauf exception, peu importants, on peut considérer la moyenne arithmétique comme suffisamment représentative pour une heure donnée.

(1) Nous avons convenu, pour des raisons de commodité, de dénommer l'année hydrologique par le premier millésime des deux années. C'est ainsi que 1979 correspond à l'année 1979-1980.

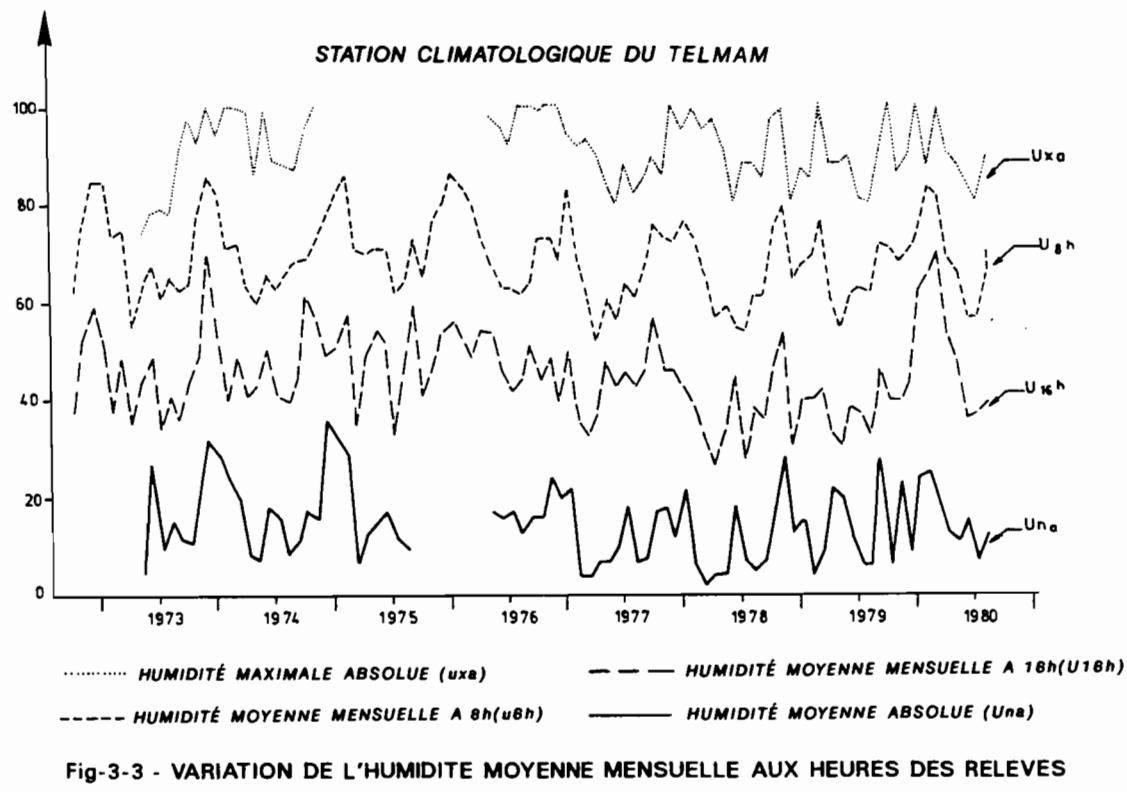


Fig-3-3 - VARIATION DE L'HUMIDITE MOYENNE MENSUELLE AUX HEURES DES RELEVES
(8h-16h) ET VALEURS MAXIMALE ET MINIMALE ABSOLUES

A partir de mars 1973, l'utilisation de deux thermohygrographes permet de mieux connaître les variations journalières de l'humidité et en particulier de déterminer pour chaque jour, à partir des résultats corrigés, les valeurs du maximum et du minimum.

L'examen du tableau III permet de constater une certaine constance à l'échelle interannuelle dans la variation de l'humidité relative moyenne annuelle au cours de la journée.

Tableau n° 3.1

Variation de l'humidité moyenne annuelle au cours de la journée

	8 h	12 h	16 h	20 h
1972 - 1973	70	49	45	65
1973 - 1974	70	48	46	64
1974 - 1975	72	50	49	65
1975 - 1976	72	52	50	69
1976 - 1977	65	43	43	60
1977 - 1978	66	41	40	55
1978 - 1979	66	41	38	59
1980 - 1980	69	49	48	65

De la période 1972-1979, il ressort que :

- l'humidité relative passe par un maximum au cours de la nuit ou au lever du jour. Elle décroît brusquement avec l'apparition du soleil et passe par un minimum qui se situe l'hiver entre 14 h et

17h. En mai, juin et juillet, ce minimum apparaît plus tôt, entre 10 h et 14 h, et dès le mois d'août, on le retrouve à nouveau aux environs de 14 h.

- Ce décalage du maximum dans la journée, consécutif à la position du soleil, donc à la durée du jour et à l'influence des vents humides, faisant leur apparition tard dans la matinée, a pour effet de perturber la variation journalière de l'humidité. Ainsi toute l'année, à l'exception des mois de mai et juin où l'humidité est maximale à 20 h et minimale à 12 h, on observe que :

$$U_{8h} > U_{20h} > U_{12h} > U_{16h}$$

- Au cours de l'année, l'humidité atmosphérique passe par un maximum en décembre, puis décroît jusqu'en février, remonte légèrement en mars avant de passer par un deuxième minimum en avril et atteint à nouveau un minimum en juillet après avoir marqué un maximum secondaire en juin (fig. 3.4). L'humidité relative minimum de l'été correspond cependant à la teneur en vapeur d'eau maximum (sans doute voisine de 20 g/m³ au lieu de 8 g/m³ environ pour les maxima relatifs d'hiver).

A cette époque-là, malgré une température ambiante élevée, cette recrudescence de l'humidité atmosphérique semble être due à l'influence dominante des vents marins (au mois de juin plus de 85 % des vents proviennent du secteur est contre seulement 30 % au mois d'avril).

Le réchauffement progressif du milieu, à l'approche de l'été, en augmentant la température ambiante, diminue l'humidité relative et conduit au minimum observé en juillet, et durant la première moitié du mois d'août.

L'examen des maxima et minimums confirme les remarques précédentes :

- la moyenne des maxima, U_x oscille autour de 80 % excepté pour les mois d'hiver où elle atteint 90 %.
- la moyenne du minimum U_n se maintient entre 30 % et 40 % excepté pendant l'hiver.

3.4 - EVAPORATION

Nous disposons pour la mesure de ce paramètre, essentiel à la connaissance du bilan hydrique, de trois dispositifs de mesures : un évaporimètre PICHE, un bac COLORADO type ORSTOM et un bac américain de classe A. Nous avons porté en annexe, dans le tableau IV les résultats obtenus pendant la période 1972-1979 avec les trois types d'appareillage.

3.4.1 - Evaporation Piche

Les quantités d'eau évaporée avec cet appareil sont mesurées 4 fois par jour.

Les totaux mensuels depuis le début des observations sont donnés dans le tableau IV₁.

Au cours de l'année, le total mensuel décroît rapidement de septembre à décembre ou janvier, où il passe par un minimum, et augmente ensuite graduellement, jusqu'au maximum atteint en général en juillet.

Notons que l'évaporation mensuelle maximum est celle de juillet 1973 (avec 437 mm), et la plus faible celle de décembre 1972 (94 mm).

A l'échelle de la journée, l'évaporation est maximale entre 12 h et 16 h, moment le plus chaud et le moins humide de la journée. Elle peut atteindre en moyenne, pour le mois le plus chaud, plus 1 mm par heure. Ensuite, par ordre décroissant, on trouve la période de 16 h à 20 h, puis celle de 8 h à 12 h et enfin la nuit de 20 h à 8 h, pour laquelle on relève une évaporation totale du même ordre de grandeur qu'entre 12 h et 16 h, mais répartie sur un intervalle de temps trois fois plus long. Les variations mensuelles pendant la période sont portées sur la figure 3.5.

3.4.2 - Evaporation sur bac

Les relevés d'évaporation dans les bacs sont effectués une seule fois par jour, le matin à 8 h, de façon à supprimer l'erreur de mesure due à la dilatation. Le niveau de la surface libre est ramené au niveau référence repéré par une pointe, par adjonction d'un certain volume d'eau duquel on déduit, connaissant la superficie du bac, la hauteur évaporée.

Dans le tableau IV donné en annexe, nous avons regroupé les résultats obtenus au cours des huit campagnes de mesures depuis le début des observations (le 28.09.72 pour le bac ORSTOM, et le 25.11.1972 pour le bac de classe A).

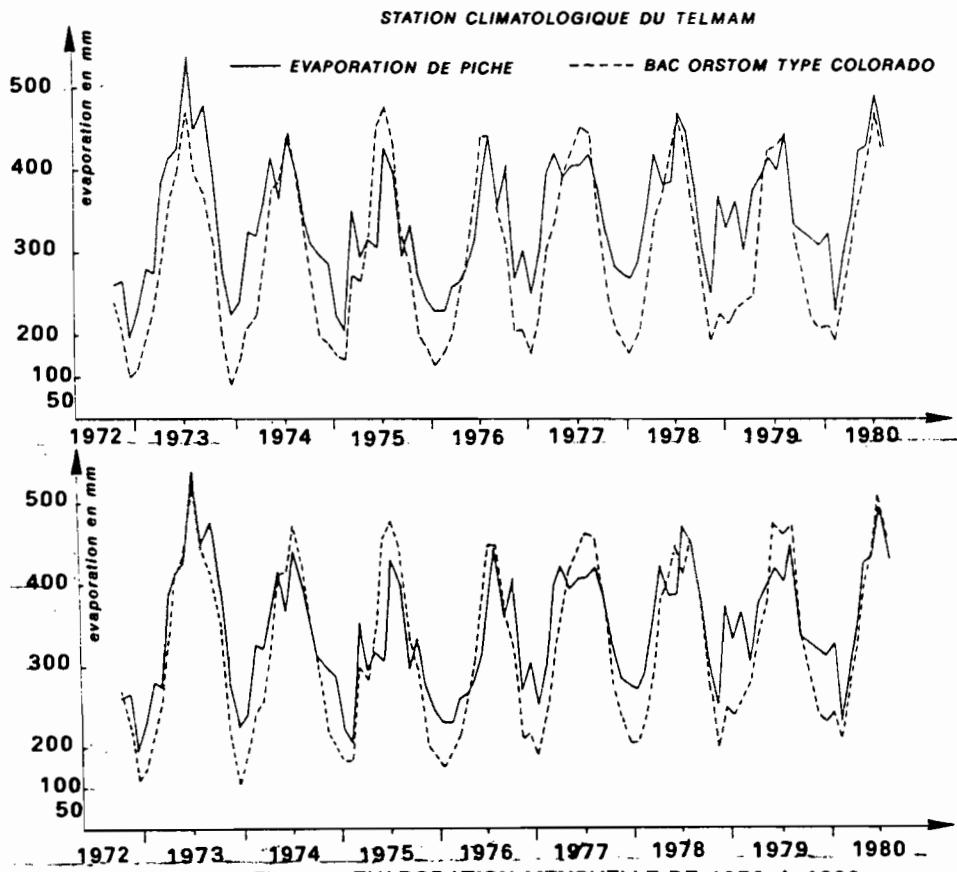


Fig-3-5 - EVAPORATION MENSUELLE DE 1972 A 1980

Hormis une courte période d'interruption chaque année, en été, pour l'entretien, le bac ORSTOM type Colorado a fonctionné de façon quasi continue depuis sa mise en place. Le bac de classe A, moins sensible à la corrosion (1), n'a pas supporté d'interruption.

Les courbes de variation annuelle du total mensuel évaporé par ces deux dispositifs, ont à peu près la même allure. On constate une baisse rapide de l'évaporation mensuelle qui passe par un minimum entre décembre et février (moins 60 mm), et une remontée aussi rapide interrompue par les ralentissements dus aux mois les plus humides (mars et juin en général). Le maximum est atteint en juillet avec une valeur supérieure à 360 mm pour le bac ORSTOM, et voisine de 400 mm pour le bac de classe A. Ceci représente une évaporation moyenne journalière de 10 mm/jour.

(1) l'eau utilisée pour approvisionner les bacs en hiver provient de la citerne Telmam et ne présente qu'une salinité négligeable. En été, elle provient d'un forage d'où elle jaillit avec une salinité de 3 g/l, et par effet de concentration dans le bac, l'eau peut atteindre 10 g/l.

A la suite de différents travaux de l'ORSTOM, notamment ceux réalisés au Tchad, on a admis qu'en Afrique de l'Ouest, le coefficient de réduction permettant de passer de l'évaporation du bac enterré (type ORSTOM) à une retenue d'eau libre, est comprise entre 0,85 et 1. En climat plus sec, les résultats obtenus par des chercheurs israéliens dans des zones climatiques proches de celles du Sud tunisien, donnent un coefficient de réduction de l'ordre de 0,72 à 0,77. D'après les observations effectuées à la station climatologique du Telmam, on peut donc en déduire que l'évaporation annuelle, sur une surface d'eau libre (type barrage), serait comprise entre 1800 et 2000 mm.

3.4.2.1 - Comparaison des résultats des bacs

Nous avons vu qu'il existe une certaine similitude entre les résultats obtenus avec les deux types de bac.

Afin de la mettre en évidence, nous avons étudié la corrélation liant les résultats fournis par ces deux dispositifs. La disposition des points indique qu'il existe une assez bonne corrélation entre ces deux variables, assez proche d'un segment de droite (fig. 3.6).

Cette corrélation entre les valeurs mensuelles d'évaporation est bonne. Sur un échantillon de $n = 88$ valeurs, le coefficient $R = 0,994$, l'équation de cette droite est :

$$E_{\text{Classe A}} = 1,048 E_{\text{Colorado}} + 12,3$$

C. Riou signale à N'Djaména une relation linéaire entre les deux bacs avec un coefficient de 1,12, dont les valeurs extrêmes varient de 1,00 à 1,23 (RIOU, DUBOIS 1981).

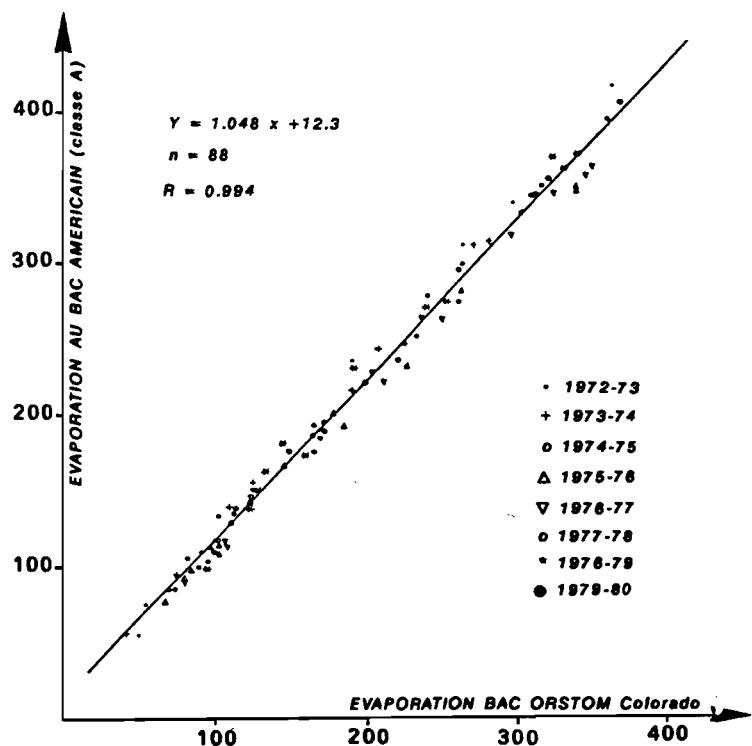


Fig-3-6 - CORRELATION ENTRE L'EVAPORATION MENSUELLE SUR BAC ORSTOM
ET SUR BAC AMERICAIN (CLASSE A) (1972-1980)

Nous avons également essayé de comparer l'évaporation bac Colorado type ORSTOM avec celle de l'évaporomètre de Piche, mais les résultats obtenus ne sont pas très concluants, contrairement à ce qui avait été mis en évidence à la station de N'Djaména par l'équipe d'hydrologues de l'ORSTOM.

A la station de Telmam, entre les résultats du Piche et ceux des bacs, on ne relève qu'une faible similitude qui confirme les périodes à évaporation maximale et minimale (juillet et décembre). La sensibilité de l'évaporimètre à certains paramètres climatiques (humidité, vent...) entraîne de fortes variations d'un mois à l'autre. A l'opposé le bac de classe A et plus encore le bac enterré, par leur masse, offrent une inertie thermique qui masque en partie ces variations, et ne les révèle que pour un léger ralentissement de l'évaporation mensuelle (mars et juin).

En outre, ces dispositifs directement soumis au rayonnement sont plus sensibles à l'insolation, relativement régulière et abondante de cette zone, que le Piche qui n'en subit les effets qu'indirectement.

3.4.2.2 - Température de l'eau

A la station de Telmam, des observations de la température de l'eau étaient faites régulièrement. Si l'on regarde à l'échelle de la journée les variations entre les bacs classe A et Colorado, en été et en hiver, on s'aperçoit que pour le bac Colorado, en été par exemple, la température de l'eau devient rapidement inférieure à celle de l'air. De même pour le bac classe A, l'eau se refroidit d'avantage que l'air et la température ne redevient supérieure à celle du bac Colorado, que vers le milieu de la journée.

En hiver, par contre, les températures des bacs sont constamment inférieures à celle de l'air. L'inertie du bac Colorado fait que son amplitude thermique est inférieure à celle du bac classe A.

A l'échelle mensuelle, on peut dire que la température de l'eau évolue comme celle de l'air, la variation annuelle fait apparaître que pour les deux types de bacs, il peut y avoir deux minima en hiver (décembre et mars) et deux maxima, l'un en été, l'autre en hiver.

3.5 - TEMPERATURE DU SOL

Parallèlement à la température de l'air, était mesurée la température dans le sol à différentes profondeurs 10, 20, 30 et 60 cm. Au moyen de thermomètres à alcool ou à mercure, à longue colonne, le bulbe étant enterré à la profondeur observée et la lecture se faisant directement sur la partie émergeant du sol.

En dépit des inconvénients propres à ce type de thermomètre (longueur de la colonne dont la température est différente de celle du bulbe, erreur due à la bonne conductivité thermique de la gaine de laiton,...), les observations commencées le 13 août 1973 donnent des indications intéressantes.

Nous avons regroupé dans les tableaux V à IX, donnés en annexe du présent rapport, les résultats des observations effectuées entre 1973 et 1979.

Dans ces tableaux sont donnés :

- les températures moyennes mensuelles de 8 h, 12 h, 16 h et 20 h
- le maximum observé durant le mois - T_{sx}
- le minimum observé durant le mois - T_{sn}
- la température moyenne mensuelle de la journée T_{sm} . Cette température a été calculée d'après la courbe de variation de la température au cours de la journée moyenne du mois et on constate qu'elle peut être calculée directement, avec une précision suffisante par les formules :

$$T_{sm} (10 \text{ cm}) = \frac{1}{2} T_s 8h + \frac{1}{2} \left(\frac{T_s 16h + T_s 20h}{2} + \frac{T_s 12h + T_s 16h + T_s 20h}{3} \right)$$

$$T_{sm} (20 \text{ cm}) \text{ et } T_{sm} (30 \text{ cm}) = \frac{1}{2} T_s 8h + \frac{1}{2} \left(\frac{T_s 16h + T_s 20h}{2} \right)$$

En général, avec le refroidissement de l'atmosphère, la température du sol baisse rapidement jusqu'à son minimum en décembre. Puis, à partir du mois de mars, la température remonte brusquement jusqu'en juillet. Il y a inversion du gradient thermique en février (fig. 3.7).

A l'échelle de la journée, en se basant sur les moyennes annuelles, on constate l'amortissement progressif de la courbe de variation lorsque la profondeur augmente, ce qui témoigne de la mauvaise conductibilité thermique du sol.

On peut estimer sur la période d'observations que l'amplitude diurne moyenne annuelle varie de 11,6 à 9,5° C à une profondeur de 10 cm, de 6 à 2,6° C à une profondeur de 20 cm, et qu'elle ne varie pas de plus de 0,5° C à 60 cm de profondeur. Au-delà, il semble que l'amplitude soit, sinon nulle, peu différente de zéro.

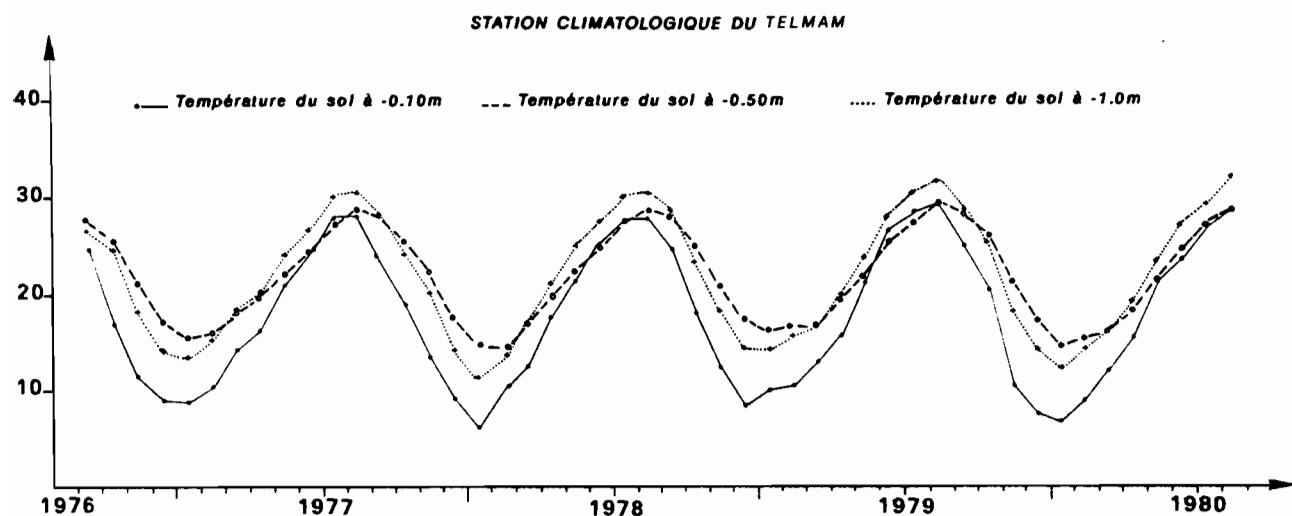


Fig-3-7 - VARIATION MENSUELLE DE LA TEMPERATURE DU SOL A DIFFERENTES PROFONDEURS
(RELEVES DE 8.heures) PERIODE 1976-1980

3.6 - LES VENTS

En raison de sa situation dans un couloir reliant les deux principaux centres d'action météorologique de cette zone, le Sahara et la Méditerranée orientale, la région de Gabès et du Zita bénéficient d'un régime de vents dominants, qui est un des facteurs déterminants du climat.

Deux valeurs permettent de caractériser cette variable :

- **sa vitesse moyenne** - elle est calculée à partir des relevés aux anémomètres totalisateurs placés à 0,50 m et à 2 m du sol, et ce depuis août 1973.

- **sa direction** - elle est donnée par une girouette observée 4 fois par jour.

3.6.1 - Vitesse du vent à 2,0 mètres

Nous présentons dans le tableau XI donné en annexe, les vitesses caractéristiques du vent mesuré à 2,0 m sol.

Dans ces tableaux nous avons présenté successivement :

- $V(h-i)$ = moyenne mensuelle de la vitesse moyenne du vent au cours de la période entre l'heure h et l'heure i
- V_d = la vitesse moyenne mensuelle diurne entre 8 h et 20 h
- V_n = la vitesse moyenne nocturne qui est en fait la vitesse entre 20 h et 8 h le lendemain matin
- V_m = la moyenne mensuelle de la vitesse moyenne journalière
- V_{mx} , V_{mn} = représentent les valeurs respectives des moyennes journalières maximales et minimales dans le mois
- V_{xa} , V_{na} = les valeurs moyennes maximales et minimales pendant le mois entre deux relevés.

L'ensemble des valeurs données dans ces tableaux sont exprimées en m/s. Si l'on considère l'ensemble des relevés de la période 1973-1980, on peut en conclure que :

- la moyenne annuelle s'établit autour de 3,6 m/s, mais la moyenne mensuelle peut varier entre 2,6 et 5,2 m/s.
- les vents les plus violents sont observés en général en mai avec un maximum en 1976 de 16,2 m/s (juin).
- les vents faibles sont, en général, plus fréquents pendant les mois d'hiver, et c'est pendant cette période de l'année qu'ils sont les plus irréguliers, la vitesse moyenne journalière variant de 0,8 à 8,9 m/s.
- les vents d'été et en particulier de juillet et d'août sont très réguliers et leur vitesse moyenne journalière est comprise entre 2 et 5 m/s. Ils se présentent en général sous forme de brise marine qui souffle dans la journée et se calme la nuit.

3.6.2 - Vitesse du vent à 0,50 mètre

Non loin du bac Colorado a été installé un deuxième anémomètre qui enregistre les vents à une hauteur de 0,50 m au-dessus du sol.

Les résultats sont présentés dans le tableau X et les symboles utilisés sont les mêmes qu'au paragraphe précédent.

L'interprétation des résultats nous amène à constater que :

- la moyenne annuelle est de 2,4 m/s
- la vitesse moyenne mensuelle varie de 1,6 à 3,6 m/s
- la vitesse moyenne journalière est comprise entre 0,5 et 6,7 m/s

3.6.3 - La direction du vent

3.6.3.1 - *La direction du vent à l'échelle annuelle*

Les observations effectuées 4 fois par jour à la station climatologique du Telmam ont permis de calculer année par année, toute valeur confondue, les fréquences de la direction des vents (en % du total des vents). Les résultats sont consignés dans les tableau XII donné en annexe.

A partir de ces résultats, nous avons pu représenter graphiquement sous forme d'anémo-isoplètes les variations de direction au cours de l'année.

On peut dire qu'en règle générale :

- les vents de secteur E/E N E sont dominants pendant les mois d'été (mai à septembre) et que les vents de secteur Ouest prédominent en automne et en hiver (de mi-octobre à mi-mars), la tendance étant toutefois moins marquée durant l'année 1976-1977.

- les secteurs les plus calmes sont les secteurs Sud et Sud-Ouest.

3.6.3.2 - *La direction du vent à l'échelle de la période 1973-1979*

Nous avons également étudié les fréquences de la direction des vents au cours de la période 1973-1979, mais cette fois, aux heures des relevés : 8 h, 12 h, 16 h et 20 h.

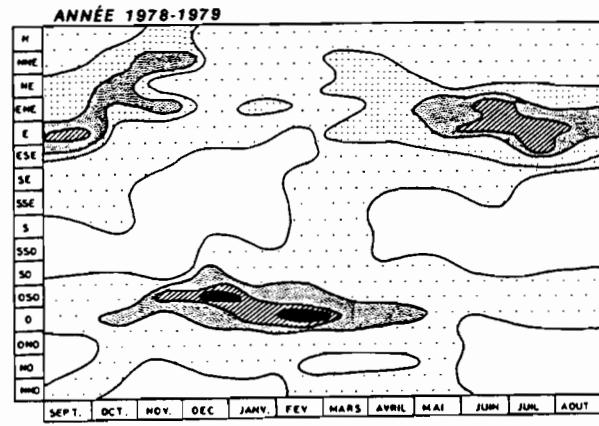
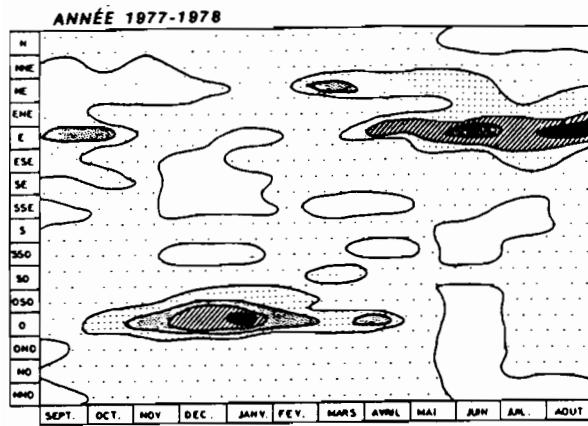
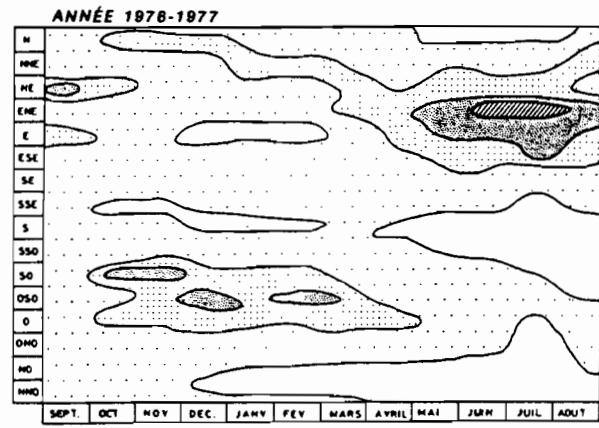
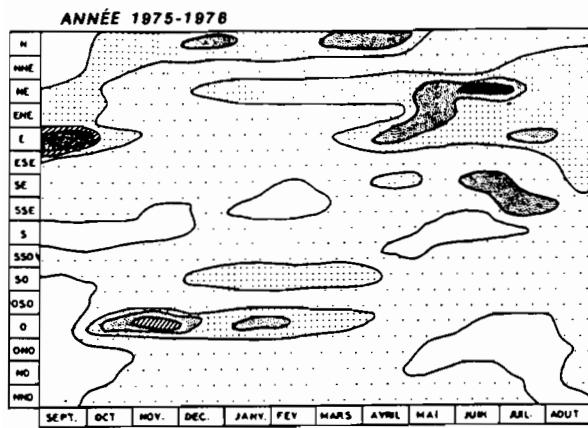
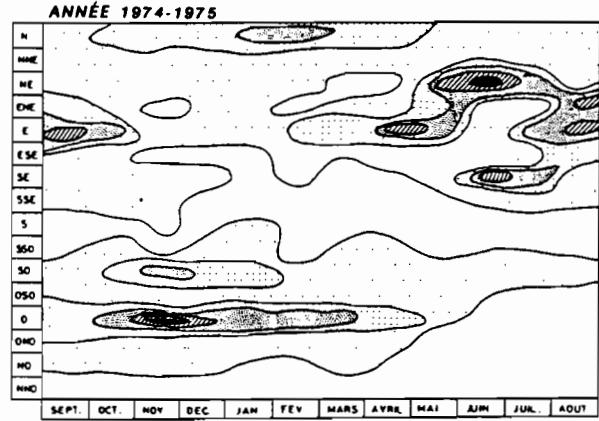
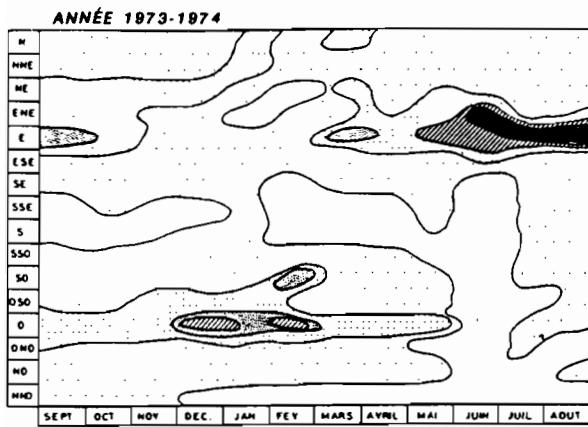
On peut voir (fig.3.8) qu'en été, les vents dominants viennent presque exclusivement des secteurs Est et Nord-Est (mai à septembre), le secteur Ouest étant inexistant et ce, quelle que soit l'heure de la journée.

En hiver, par contre, nette prédominance des vents d'Ouest et de Sud-Ouest avec une faible proportion de vents d'Est et de Nord-Est. On peut remarquer également que la prédominance des vents de secteur Ouest en hiver, est beaucoup moins nette que celle des vents d'Est au cours de l'été.

En effet, en juillet-août, on trouve plus que 50 % de vents d'Est, alors que le vent d'Ouest pendant l'hiver ne dépasse que rarement 35 % du total des vents.

Les mois de mai et d'octobre sont des mois de transition entre les deux périodes avec des proportions vents d'Ouest/vents d'Est très voisines.

STATION CLIMATOLOGIQUE DU TELMAM



LÉGENDE



Fig-3-8 - FREQUENCE DE LA DIRECTION DU VENT AU COURS DE L'ANNEE

3.7 PLUVIOMETRIE

Les résultats des observations pluviométriques effectuées à la station météorologique du Telmam, entre 1972 et 1979, sont assez intéressants. En effet, malgré une période d'observations relativement courte (8 années), nous sommes en présence d'un échantillon bien réparti quant aux valeurs quantitatives (de 0,0 mm à 256,3 mm en 24 heures).

3.7.1 - Pluviométrie annuelle

3.7.1.1 - Pluviométrie annuelle au Telmam

Nous avons porté dans le tableau ci-après, les valeurs de la pluviométrie mensuelle au DG21 pendant la période d'observations en faisant également figurer à l'extrême droite du tableau le nombre de jours de pluie annuel.

Tableau 3.2 - Pluviométrie mensuelle de la station du Telmam

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année	Nb. jours
1972-73	12,4	20,0	3,1	49,6	8,1	19,4	31,1	3,7	0,0	0,0	0,0	(6,7)	154,1	38
1973-74	0,0	2,6	13,2	299,4	1,6	20,7	2,9	10,5	2,0	0,0	0,0	0,0	372,6	18
1974-75	26,1	17,4	2,3	0,9	3,1	28,9	42,6	9,9	4,5	12,2	0,0	0,0	147,9	24
1975-76	13,2	15,2	18,4	4,8	120,7	66,0	43,3	0,0	19,1	1,9	0,0	0,0	302,7	41
1976-77	19,6	13,2	8,5	0,4	10,5	23,3	3,3	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	84,1	24
1977-78	19,6	13,2	8,5	0,0	21,0	23,5	4,5	0,0	26,5	0,0	0,0	4,0	176,3	19
1978-79	2,5	18,3	23,7	0,0	0,0	25,5	25,0	8,0	1,5	0,0	0,0	0,0	104,5	21
1979-80	17,5	5,5	10,0	0,0	8,0	29,0	30,5	23,0	14,5	0,0	0,0	0,0	138,0	27

La valeur moyenne est de 185 mm sur les 8 années d'observation. Pour la même période, la moyenne à la station de GABES est de 248 mm avec les valeurs suivantes de 1972-73 à 1979-79.

Pluie annuelle à Gabès :

1972-73	1973-74	1974-75	1975-76	1976-77	1977-78	1978-79	1979-80
148,9	311,4	285,4	533,6	115,8	220,8	245,6	127,2

Le rapport de la moyenne des précipitations sur 8 années aux postes de la station météorologique du Telmam et de Gabès S.M. est de 0,746.

A Gabès, le nombre moyen de jours de pluie est de 21,8 jours pour la période 1898-1937 et de 42,0 jours pour la période 1938-1975 sur des durées respectives de 33 et 45 années.

A la station du Telmam, nous avons comptabilisé 27 jours de pluie par années en moyenne, soit 40 % de moins qu'à Gabès (FERSI 1978, GIRARD 1979).

Afin de pouvoir estimer les récurrences des différentes valeurs annuelles observées à la station du Telmam, il a été nécessaire d'effectuer l'étude statistique des valeurs observées à la station de Gabès S.M. 1, sur une période de plus de 80 années.

principale tient dans le fait que Gabès est soumis à l'influence marine, alors que la station du Telmam est plus continentale. Malgré cette différence, nous considérerons que la répartition des pluies de Gabès et du Telmam suit la même loi statistique.

3.7.1.2 - Pluviométrie annuelle de Gabès

C'est à partir des 83 valeurs pluviométriques annuelles de la station de Gabès S.M. (dont le numéro de code DRES est 92775) que nous avons pu faire une étude statistique.

Les dossiers pluviométriques de Matmata, de Medenine et de Gabès établis par la Direction des Ressources en Eau (FERSI, 1978) fournissent l'ensemble des informations et le traitement statistique complet de celles-ci à chacune des stations.

3.7.1.2.1 - Homogénéisation des données

La courbe de simple cumul des pluies annuelles à Gabès, indique que, de l'année 1923-24 à l'année 1930-31, (soit 8 ans). La pluviométrie annuelle est extrêmement faible et correspond sensiblement à la moitié de la moyenne annuelle sur toute la chronique. Puis de 1942-43 à 1959-60, la pluviométrie présente une variabilité très accentuée et très nettement supérieure à celles des périodes antérieures, 1892-93 à 1922-23, et plus récentes, 1960-61 à 1978-79. La pluviométrie de la période récente étant supérieure de 12 % à celle de la période antérieure.

La courbe de simple cumul des pluies annuelles de Medenine ne présente pas de cassure brutale, mais également un accroissement de la pluviométrie sur la période récente (FERSI, 1978).

La station de Matmata, située dans des conditions différentes (influence de l'altitude) (FERSI, 1978) a été abandonnée pour cette étude au profit de Hachichina et Maknassy.

Les observations aux stations de Hachichina T.P., et Hachichina Borj, très voisines l'une de l'autre, permettent de créer des données continues à une station fictive (Hachichina*).

Il en est de même pour les stations de Maknassy-gare, Maknassy-deux-gazelles et Maknassy ksar el Hamma. Des contrôles par corrélations interpostes ont guidé les sélections. Pour Gabès S.M., les corrélations avec Gabès jardins et Gabès-H.E.R. sont excellentes, sauf pour l'année 1953-54.

La courbe de double masse du poste de Gabès S.M. avec Medenine indique une cassure entre les années 1922-23 et 1932-33 (pente 2,05 à 2,44) ; avec le poste de Maknassy*, il y a également une cassure entre les années 1924-25 et 1933-34 (pente 2,00 à 4,09) et enfin avec Hachichina* il y a également une cassure entre les années 1922-23 et 1933-34 (pente 1,81 à 1,86).

La courbe de double masse entre les pluies annuelles aux postes de Maknassy* et de Hachichina* ne présente aucune cassure mais simplement une oscillation de grande période.

En conclusion, pour la période 1924-25 à 1933-34, les données pluviométriques du poste de Gabès S.M. sont sous-estimées de près de 100 % pour une cause que nous ignorons. Est-ce un changement d'appareillage (éprouvette ou bague collectrice), difficile à dire !

Après correction des données de Gabès S.M. pour cette période et introduction des données anciennes 1886-87 à 1898-99, la nouvelle courbe de simple masse présente des particularités liées aux déplacements de la station, mais également à une légère anomalie entre les années 1886-87 et 1893-94 (pente voisine de 1,27) (GIRARD, 1979).

Le nouvel échantillon ainsi homogénéisé (tableau 3.4) a été mis sur support informatique et traité au Bureau Central d'Hydrologie de Paris avec un programme qui teste la série et l'ajuste au mieux à 8 lois statistiques. Il en ressort que le meilleur ajustement possible pour cette série de Gabès est une loi Gamma incomplète.

Tableau 3.4 - Précipitations anuelles de Gabès S.M. classées par ordre chronologique.

Année	Valeur	Année	Valeur	Année	Valeur
1885-86	98,0	1922-23	324,2	1950-51	396,8
1886-87	248,1	1923-24	87,6	1951-52	361,2
1887-88	155,4	1924-25	211,6	1952-53	161,8
1888-89	215,7	1925-26	160,0	1953-54	183,8
1898-99	124,2	1926-27	116,8	1954-55	118,1
1899-00	63,3	1927-28	264,6	1955-56	56,6
1900-01	135,5	1928-29	239,6	1956-57	259,7
1901-02	139,0	1929-30	156,6	1957-58	113,7
1902-03	166,5	1930-31	182,4	1958-59	304,4
1903-04	264,6	1931-32	450,2	1959-60	460,3
1904-05	129,5	1932-33	176,7	1960-61	67,0
1905-06	261,5	1933-34	103,3	1961-62	81,0
1906-07	262,2	1934-35	313,1	1962-63	332,9
1907-08	96,0	1935-36	68,4	1963-64	290,8
1908-09	133,3	1936-37	134,3	1964-65	175,0
1909-10	106,4	1937-38	124,3	1965-66	191,5
1910-11	155,5	1938-39	275,7	1966-67	232,8
1911-12	239,5	1939-40	99,5	1967-68	132,4
1912-13	190,9	1940-41	239,7	1968-69	122,2
1913-14	143,7	1941-42	194,6	1969-70	315,5
1914-15	270,0	1942-43	186,5	1970-71	128,6
1915-16	117,9	1943-44	36,4	1971-72	309,5
1916-17	62,1	1944-45	87,2	1972-73	148,9
1917-18	337,5	1945-46	227,1	1973-74	311,4
1918-19	222,2	1946-47	39,3	1974-75	285,4
1919-20	140,2	1947-48	154,5	1975-76	533,6
1920-21	342,5	1948-49	241,6	1976-77	115,8
1921-22	110,1	1949-50	175,6		

N.B : 1923-24 précipitation annuelle corrigée.

3.7.1.2.2 - Ajustement et estimation des récurrences

Les caractéristiques de l'ajustement de l'échantillon de Gabès S.M. à la loi Gamma incomplète sont les suivantes :

Pluie moyenne	$\bar{P} = 195,3 \text{ mm}$
Pluie médiane	$P_{1/2} = 175,0 \text{ mm}$
Mode probable	$M = 162,6 \text{ mm}$
Ecart-type	$\sigma = 101,8 \text{ mm}$
Coefficient de variation	$C_v = 0,521$
Pluie annuelle maximale	$P_x = 533,6 \text{ mm}$
Pluie annuelle minimale	$P_n = 36,4 \text{ mm}$
Coefficient d'irrégularité annuelle	$P_x/P_n = 14,7 \text{ mm}$

De cette étude statistique de l'échantillon des pluies annuelles de Gabès S.M., nous déduisons les valeurs des pluies de récurrence rare, que nous donnons ci-après :

Période de retour	Fréquence	P (mm)
500	0,002	31,9
200	0,005	35,3
100	0,001	41,3
50	0,02	49,3
20	0,05	64,5
10	0,1	80,7
5	0,2	107,8
2	0,5	175,0

Période de retour	Fréquence	P (mm)
2	0,5	175,0
5	0,8	271,9
10	0,9	333,9
20	0,95	391,9
50	0,98	464,5
100	0,99	517,3
200	0,995	568,7
500	0,998	635,4

Nous pouvons donc en conclure que sur la période qui nous intéresse et au poste de Gabès S.M. :

- l'année 1975-76, représente le maximum observé, la récurrence serait supérieure à la valeur centennale humide (environ 125 années).
- les années 1973-74 et 1974-75 ont une fréquence proche respectivement des valeurs décennale et quinquennale avec 311,4 et 285,4 mm.
- l'année 1977-78 a une valeur comprise entre la valeur de la médiane et celle de la quinquennale humide.
- l'année 1972-73 et 1976-77 présentent des totaux annuels dont la récurrence est comprise entre la médiane et l'année quinquennale sèche. L'année 1978-79 a une récurrence légèrement supérieure à la quinquennale sèche.

3.7.1.3 - Estimation des récurrences à Telmam

L'application de la corrélation (1) présentée au paragraphe 3.7.2.2. du présent chapitre, permet d'estimer les valeurs des pluies annuelles de diverses récurrences au PG 21. Nous pouvons dire que :

- l'année 1973-74 avec 372,6 mm serait de récurrence proche de la cinquantennale humide,
- l'année 1975-76 avec 302,7 mm est très voisine de la vicennale humide,
- les années 1972-73 et 1977-78 sont comprises entre la valeur moyenne et la valeur de l'année quinquennale humide (surtout pour 1977-78),
- les années 1974-75 et 1979-80 avec respectivement 147,9 mm et 138,0 mm se situent de part et d'autre de la moyenne.
- l'année 1978-79 avec ses 104,5 mm est nettement inférieure à la moyenne,
- enfin, l'année 1976-77 avec son total de 84,1 mm peut être assimilable à la quinquennale sèche.

Ainsi, sur 8 années d'observations, nous disposons d'un échantillon dont la loi de distribution dans une série statistique (qui reste une estimation) se résumerait à :

- 1 cinquantennale humide,
- 1 vicennale humide,
- 2 années entre moyenne et quinquennale humide,
- 2 années encadrant la moyenne,
- 1 année voisine de la triennale sèche,
- 1 année assimilable à la quinquennale sèche.

Ce qui, en fin de compte représente un échantillon plutôt "excédentaire".

3.7.2 - Pluviométrie mensuelle

Pour la période de septembre 1972 à la fin août 1980, nous avons donné dans le tableau ci-après les valeurs extrêmes, moyennes et médianes des précipitations mensuelles.

Tableau 3.5 - Valeurs extrêmes, moyennes et médianes des précipitations mensuelles au poste de Telmam

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Maximum	26,1	20,0	37,5	299,4	120,7	66,0	43,3	23,0	26,5	12,2	0,0	6,7
Moyenne	13,8	12,0	14,6	44,4	21,6	29,5	25,0	5,9	10,3	2,0	0,0	1,3
Médiane*	15,3	14,2	11,6	0,6	8,0	24,5	27,8	3,3	7,9	1,9	0,0	0,0
Minimum	0,0	2,6	2,3	0,0	0,0	19,4	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

* la médiane a été calculée en effectuant la moyenne arithmétique des deux termes moyens

Nous avons porté dans le tableau ci-dessous les valeurs extrêmes, moyennes et médianes des précipitations mensuelles, au poste de Gabès S.M. pour la même période, ainsi que la valeur maximale absolue mensuelle observée sur la période 1898 à 1978.

Tableau 3.6 - Valeurs extrêmes, moyennes et médianes des précipitations mensuelles au poste de Gabès S.M. (période 1972-79)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Maximum	72,8	99,0	103,9	203,5	120,7	78,4	71,2	20,9	25,1	6,8	0,0	4,1
Moyenne	30,6	33,4	33,7	37,6	27,7	33,9	31,9	9,5	8,8	1,6	0,0	0,7
*Médiane	29,2	23,3	19,6	1,3	22,9	24,0	28,6	8,5	5,4	0,3	0,0	0,1
Minimum	0,3	0,0	1,5	0,0	0,1	13,8	2,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
*Maximum absolu	143,0	319,9	280,2	203,5	120,7	98,0	145,2	122,1	86,3	10,0	5,2	11,0

* le maximum absolu mensuel est tiré d'une période de 83 années d'observations

A l'examen de ces deux tableaux, nous constatons que :

- des variations importantes dans les hauteurs de pluies mensuelles de la saison humide s'étalent de septembre à mai. Avec l'écart le plus important pour le mois d'octobre (de 320 mm à 0,0 mm) à Gabès.
- La pluviométrie est nulle au mois de juillet.
- Les maxima absolus des mois de décembre et janvier à Gabès, ont été observés pendant la période 1972-1979. Le maximum absolu de décembre étant celui de décembre 1973 et celui de janvier étant celui du mois de janvier 1976.

Enfin, M. FERSI signale que pour une période de récurrence 20 années, en année sèche, la pluviométrie est nulle à Gabès pour tous les mois de l'année (FERSI 1978).

3.7.2.1 - Pluie saisonnière

Nous avons porté dans le tableau ci-après les valeurs de la pluviométrie saisonnière au poste de Telmam et à celui de Gabès S.M., pour la période qui nous intéresse. Nous avons également porté dans ce tableau, le maximum absolu saisonnier. A Gabès, sur des périodes allant de 77 années pour l'hiver à 83 valeurs pour le printemps.

	AUTOMNE		HIVER		PRINTEMPS		ETE	
	Telmam	Gabès	Telmam	Gabès	Telmam	Gabès	Telmam	Gabès
Maximum	60,8	182,8	321,7	258,2	68,0	93,5	12,0	8,1
Moyenne	40,4	97,6	95,6	99,2	41,2	50,1	3,3	2,3
Médiane*	42,9	89,2	40,7	60,1	34,6	51,3	1,9	0,6
Minimum	15,8	31,5	25,5	25,9	8,6	10,5	0,0	0,0
Maximum absolu		327,7		258,2		184,8		13,7

* la médiane correspond à la moyenne arithmétique de deux termes moyens

D'après ce tableau, on constate que :

- sur la période d'observations (1972-1979) l'hiver apparaît comme la saison la plus pluvieuse,
- les valeurs de l'hiver et du printemps sont comparables aux deux postes, alors que l'automne à Gabès est deux fois plus arrosé qu'au Telmam,
- la valeur maximale absolue pour l'hiver à Gabès a été observée en 1975-1976.

3.7.2.2 - Corrélation entre Gabès et Telmam à l'échelle mensuelle

En se reportant au tableau 3.2, on peut dire, d'après le simple examen des valeurs annuelles, que, comme pour la station de Gabès S.M. 1, l'irrégularité inter-annuelle est grande à la station du Telmam. Entre l'année la plus humide (372,6 mm) et l'année la plus sèche (84,1 mm), le rapport passe de 1 à 4,5.

Nous savons qu'à Gabès, pour une période d'observations de 80 années, le rapport est encore plus important et varie de 1 à 14,5.

C'est en raison de la faiblesse de notre échantillon que nous avons recherché s'il pouvait exister à l'échelle annuelle une corrélation entre la valeur de Gabès et celle de la station météorologique du Telmam, afin de pouvoir par la suite mieux estimer les valeurs de récurrence rare sur le bassin de l'oued Zita.

Des corrélations ont été faites à l'échelle annuelle entre le poste de Gabès, et le PG 21, puis le PG 22, le PG 23 également le PG 24 et même avec la pluie moyenne sur le bassin de l'oued Zita. Les résultats sur l'échantillon "Zita" donnent des coefficients de corrélation compris entre 0,72 et 0,77, qui sont, en raison de la petitesse de l'échantillon, significatifs.

Nous avons donc effectué les mêmes corrélations, mais à l'échelle mensuelle, avec un échantillon de 84 valeurs. Les résultats obtenus sur l'ensemble des corrélations effectuées donnent des coefficients compris entre 0,81 et 0,87.

De l'ensemble des résultats obtenus, qui, nous le répétons, sans être excellents, nous paraissent cependant satisfaisants, nous avons retenu la corrélation moyenne suivante :

$$P_{Telmam} = 0,820 P_{Gabès} - 2,8 \quad (1)$$

Nous considérerons donc cette corrélation comme acceptable aussi bien pour l'estimation des pluies de diverses récurrences au Telmam (PG 21) que sur le bassin de l'oued Zita. Tout en sachant bien que Gabès étant sur la côte et le Zita à 30 kilomètres plus à l'intérieur, il y a une distorsion au niveau des lois statistiques.

3.7.3 - Pluviométrie journalière

Si l'on se réfère au "dossier pluviométrique de Gabès", (FERSI, 1978) dans lequel l'auteur étudie la fréquence des pluies journalières sur une période de 72 années, on constate que l'ajustement de cet échantillon de 2204 valeurs à deux lois statistiques est satisfaisant.

Il s'agit d'une part, de la loi de Galton, de la forme

$$U = \frac{\log(P + 10) - 0,889}{0,4} \text{ dans laquelle } P \text{ représente}$$

la hauteur de pluie exprimée en millimètres et U la variable réduite de Gauss, de laquelle on obtient la fonction de répartition G de la loi tronquée

$G(P) = F(P) / F(O)$ avec $F(O) = 0,084$ qui représente la fréquence des pluies non nulles

et d'autre part, de la loi de Goodrich de la forme,

$$G(P) = e^{-\frac{P}{3,3}} \quad 0,54$$

L'application de ces deux lois à la valeur exceptionnelle du 12 décembre 1973 au poste du Telmam, (256,3 mm) nous indiquerait une récurrence de 540 années pour la loi de Galton et de plus de 1000 années pour la loi de Goodrich.

Seule une étude régionale permettrait de mieux fixer la période de retour d'une telle précipitation. La période de retour de la pluie de rang 2, (61,90 mm) est de cinq années.

3.7.4 - Etude du gradient pluviométrique à la station de Telmam

La mesure de la pluie était effectuée à la station météorologique du Telmam, à l'aide de 4 pluviomètres de type Association et d'un pluviomètre de type Snowdon.

Ces appareils étaient placés à différentes hauteurs par rapport au sol :

- 2 pluviomètres au sol : type "Snowdon" et "Association",
- 1 pluviomètre à 1,50m du sol et 1 à 3,0 m.
- 1 à 0,20 m du sol.

Nous présentons ci-dessous les résultats obtenus à l'échelle annuelle aux 3 pluviomètres Association, Sol, 1,50 m et 3,0 m durant la période 1973-1980.

Année	Pluviomètre Sol Association	P 1,50 m	P 3,0 m
1973-74	405,8	368,5	359,4
1974-75	189,4	171,9	163,0
1975-76	374,7	349,5	333,0
1976-77	85,5	73,2	69,3
1977-78	166,9	147,7	148,5
1978-79	127,0	106,9	(101,1)
1979-80	165,2	143,3	135,6

On note que la pluviométrie au sol est dans l'ensemble toujours supérieure à celle à 1,50 ou 3,0 m. Les valeurs en pourcentage allant de 6,7 % à 15,8 % en moins pour le pluviomètre à 1,50 m et de 11,0 à 20,4 % de moins pour le pluviomètre à 3,0 m du sol.

L'écart moyen sur 7 années entre le pluviomètre Sol et celui à 1,50 m est de 10,1 % (13,5 % pour P sol et P 3,0 m).

Pour la pluie exceptionnelle du 12 décembre 1973 la différence entre le P sol et le P 1,50 m a été de 10 %.

PLANCHE N°4

PHOTO : 1 -



Un aspect du lit moyen de l'oued Zita
dans les marnes gypseuses du Weald

PHOTO : 2 -



A l'arrière plan on distingue la station de jaugeage
des hautes eaux

PHOTO : 3 -



Les lits majeur et mineur de l'oued Zita.
on note la présence d'une source près du palmier.

PHOTO : 4 -



Aspect de l'oued Zita immédiatement à l'amont
de la sortie des collines du Djebel Tebaga

PHOTO : 5 -



Le lit principal de l'oued Zita à la sortie des collines du Djebel Tebaga.
Au fond on distingue le glacis, la plaine du Telman et les seguis

CHAPITRE 4

EQUIPEMENT DES BASSINS VERSANTS

4.1 - EQUIPEMENT PLUVIOMETRIQUE

A l'ouverture du bassin de l'oued Zita, en septembre 1972, la mesure de la pluie était assurée par un réseau de 16 pluviomètres "Association" type tropicalisé, bien répartis sur toute la surface du bassin principal, représentant une densité de cinq postes par kilomètre carré et par deux pluviographes Précis Mécanique à bague de 400 cm² et à rotation journalière.

Les appareils implantés dans la partie très accidentée au sud-est du bassin, sont situés tantôt sur les pentes, tantôt sur les petits sommets, afin d'être représentatifs au mieux de cette zone.

Le dispositif a été complété avant la seconde année d'observations par :

- l'adjonction d'un pluviomètre supplémentaire sur chaque petit bassin, ce qui porte à 2 le nombre de postes par sous-bassin,
- la mise en place d'un pluviographe ayant les mêmes caractéristiques que les 2 autres, non loin du bassin Zita III. Cet appareil a été transféré en août 1974 sur la limite Sud de ce bassin. Ainsi, depuis 1974, chaque sous-bassin est couvert par un pluviographe (CAMUS, 1978).

En 1975, deux sous-bassins supplémentaires ont été mis en service : les bassins du Zita IV et celui du Zita V. Si le bassin du Zita V n'a subi aucune transformation, le bassin du Zita IV a été équipé de 3 pluviomètres supplémentaires (P25, P26 et P27) (fig. 4.1).

4.2 - LES STATIONS HYDROMETRIQUES

4.2.1 - Station principale

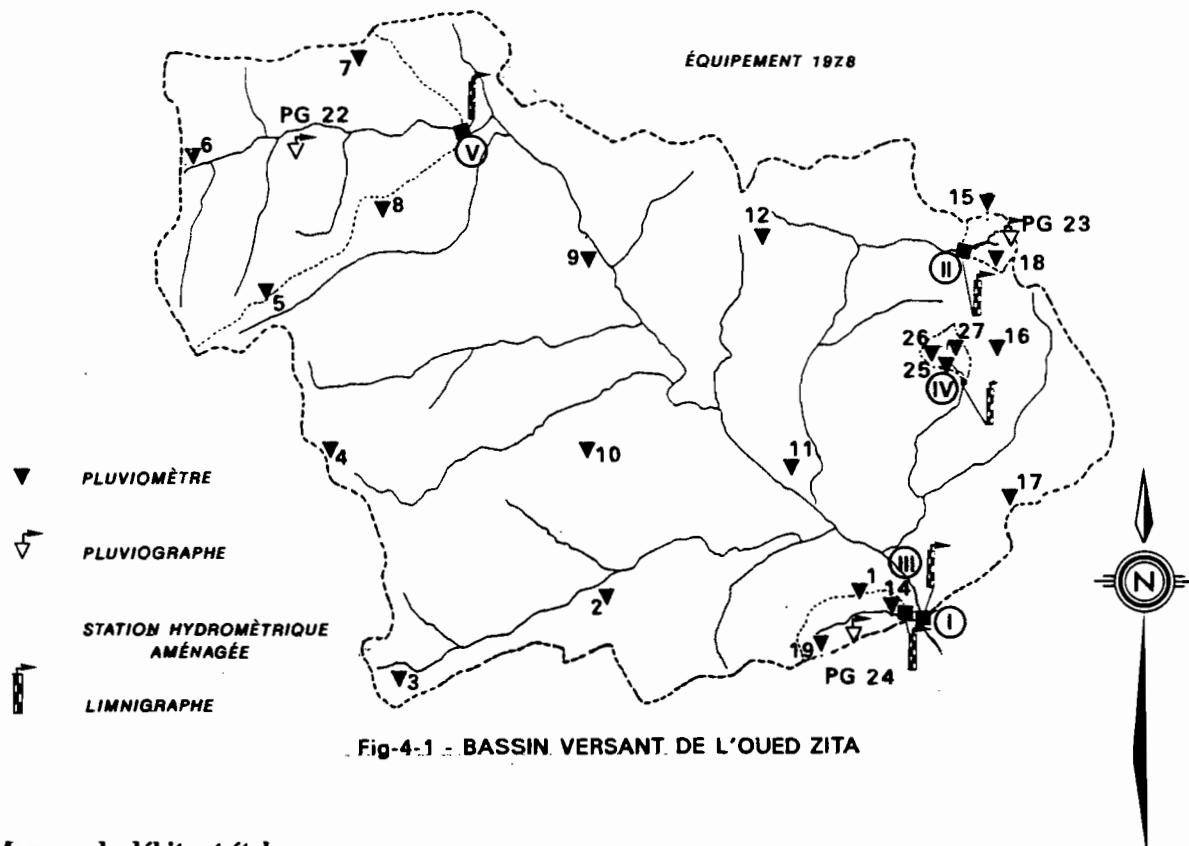
Située à environ 400 m en amont de la zone de piémont, la station principale de l'oued Zita (Zita I), contrôle un bassin versant de 3,20 kilomètres carrés. Cette station a été mise en service en août 1972 et comprend quatre sections de jaugeage calibrées de façon à permettre d'obtenir le maximum de précision dans la mesure des débits.

On trouve de l'amont vers l'aval.

- a) Une section de jaugeage à la perche, valable pour les débits de 1 à 40 m³/s, équipée d'une passerelle de 15 m de longueur, située à 2 m en aval du limnigraphes et de l'échelle de crue. Elle domine une section de jaugeage stable. Des empilements de briques enterrées dans le lit permettaient de déceler les mouvements du fond du lit au cours des crues, et cela malgré la présence d'un seuil calcaire situé 5 mètres en aval de la section et garantissant une bonne stabilité à la station. Des mesures à la perche étaient effectuées de la passerelle à partir de 15 verticales fixes. Cette station, est contrôlée par un limnigraphes OTT type X à révolution journalière et réduction 1/5.

- b) La section dite à canal rectangulaire, valable pour des débits de 800 à 40 l/s est constituée par un convergent qui concentre l'écoulement dans une partie du canal, surmonté d'un dispositif permettant de jauger au micromoulinet (portique).
- c) Située immédiatement à l'aval du canal rectangulaire, vient une section de contrôle à canal triangulaire, permettant de mesurer des débits compris entre 5 et 100 l/s.
- d) Enfin, pour compléter le dispositif, on trouve à environ 180 m vers l'aval, un aménagement du lit qui permet de mesurer par capacité des débits inférieurs à 5 l/s.

A ce dispositif, il convient d'ajouter une cinquième section qui avait été aménagée en décembre 1973, légèrement en amont de la passerelle pour effectuer des jaugeages au moyen de flotteurs lestés dont la tige émergeait de plus de 30 cm de façon à être visible malgré les vagues. Certains flotteurs étaient munis de bandes réflecteurisantes pour les jaugeages nocturnes. Cette section était utilisée pour les cotes supérieures à 160 ou 170 cm à l'échelle de la passerelle (CAMUS, 1978).



Mesures de débits et étalonnages

De très nombreuses mesures de débit ont été exécutées sur les différentes sections et en particulier à la passerelle, entre 1972 et 1977. Depuis cette dernière année, les mesures se sont ralenties et n'ont plus été faites en 1978. Pour la période qui nous intéresse, l'établissement des courbes d'étalonnage a été fait grâce aux séries de jaugeages de 1972 et 1973 et 1976 et 1977.

Les crues survenues en 1972-73 et 1973-74 ont toutes été jaugées au moins jusqu'à la cote $H = 0,70$ à la passerelle.

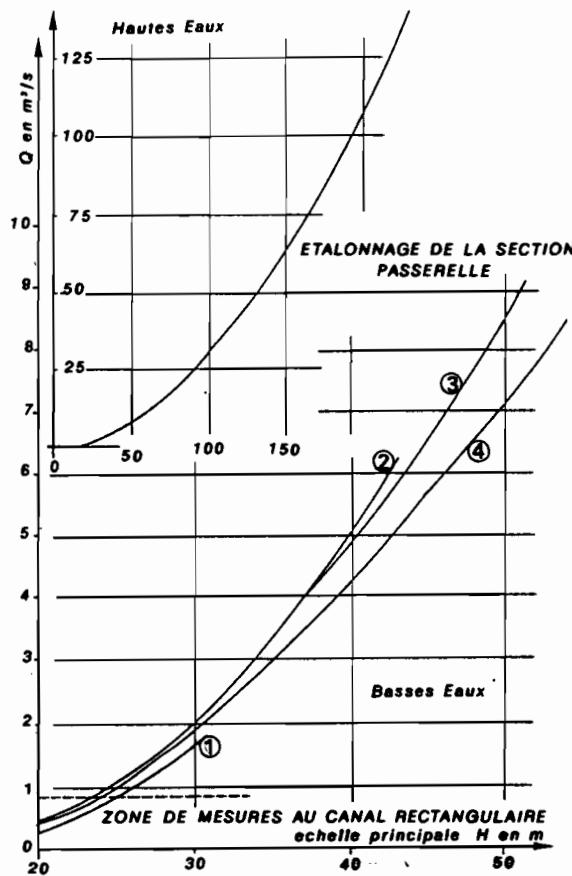


Fig-4-2 - STATION ZITA I

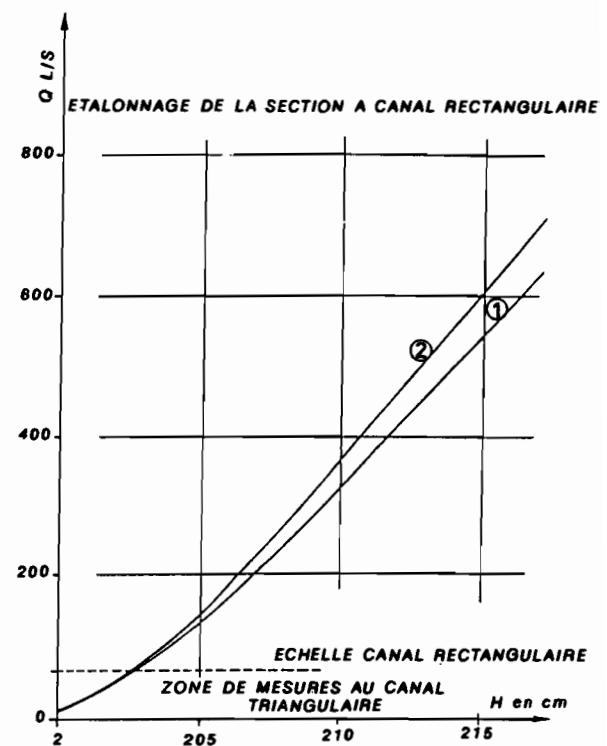


Fig-4-3 - STATION ZITA I

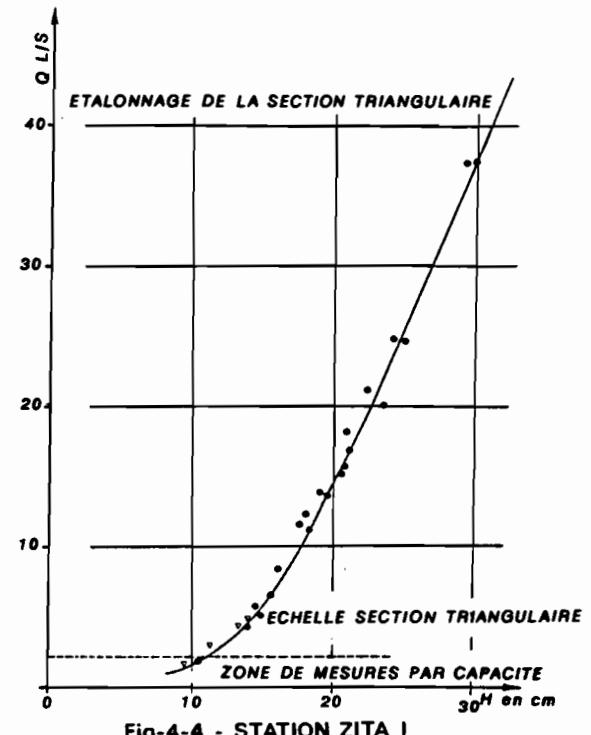


Fig-4-4 - STATION ZITA I

Etant donné la rapidité de la montée des eaux et la brièveté des crues, il est impossible d'utiliser les méthodes classiques. Il a été procédé durant les premières campagnes à des mesures systématiques sur des verticales bien repérées (15 en tout) sur la passerelle, et ensuite, on a fait une étude des débits unitaires pour chacune d'entre elles, lorsque le nombre des observations le permettait. C'est ainsi qu'il a été possible de déterminer une courbe d'étalonnage. En dépit de conditions peu favorables (crues nocturnes, variation très rapide de la cote, mouvement du fond du lit), il a néanmoins été possible de définir des courbes de tarage pour les années 1972-1973 et 1974 ainsi que pour 1976-1977.

Il semble que les premières courbes soient dues à une stabilisation progressive du lit, qui retrouve son profil d'équilibre après les travaux d'aménagement de la station ; les courbes ultérieures résultent du remodelage du lit après les crues exceptionnelles de décembre 1973 (fig. 4.2, 4.3 et 4.4).

Il a été nécessaire, dans un premier temps, d'estimer les périodes de validité des premières courbes, avant que le lit ne se stabilise. C'est ainsi que la courbe 1 s'appliquerait à la période 1.09.1972 au 4.12.1972, la courbe 2 pour la crue du 5.12, la courbe 3 pour la période allant du 30.12.1972 au 11.12.1973, la courbe 4 du 12.12.1973 au 31.08.1977.

Notons, qu'étant donné les fluctuations du lit au droit de la passerelle, qui peuvent atteindre 10 à 15 cm de hauteur au centre du chenal, pour une cote de $H = 0,60$ m à l'échelle, il aurait été préférable d'utiliser la méthode de l'hydrogramme par verticale, plus simple, dans le cas de crues brèves et bien individualisées, que la méthode des courbes de tarage par verticale : cependant, le nombre de mesures est trop restreint pour permettre l'application de cette méthode et, en particulier, la brièveté de la montée de crue ne permet pas d'obtenir un nombre de points suffisant pour tracer l'hydrogramme.

Pour la suite, c'est-à-dire pour les crues postérieures au 31.08.1977, il a été possible en tenant compte des observations faites et de la relative stabilité du lit après les crues de décembre 1973, de définir une courbe d'étalonnage moyenne. Cette courbe n° 5 a été traitée par les moyens de l'informatique et sert depuis au calcul des débits. Nous pensons d'ailleurs que, sauf cas de crues exceptionnelles, apportant une modification du lit de l'oued, cette courbe pourra être utilisée, dans le cas où les services de la D.R.E. de Gabès décideraient de maintenir l'exploitation de la station principale du Zita.

4.2.2 - Station secondaire : Zita II

La station de Zita II contrôle un bassin de 1,41 hectare. Elle se situe à environ 1,5 kilomètre de la station principale et comprend comme équipement hydraulique un déversoir à mince paroi triangulaire, placé à la sortie d'une fosse à sédiments (large de 2,0 m), munie d'un brise-vitesse et d'un seuil épais situé à l'aval.

Le tarage du déversoir triangulaire est établi à partir de la formule de Gourley :

$$Q = 1,32 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot H^{2,47}$$

avec $\alpha = 100^\circ$

La cote de débit nul est $HQ_0 = 0,90$ m à l'échelle.

Au-delà de $H = 156,5$ cm, le déversoir s'élargit brusquement à la largeur de la fosse. On calcule alors les déversements latéraux par assimilation à des lames rectangulaires sans contraction latérale. Le tarage du seuil épais, de type Neypic est bien connu à partir des courbes données par le constructeur dans une certaine gamme de débits, fonction de la hauteur de pelle du seuil. La zone de bonne précision s'étend dans le cas présent de 13 à 260 l/s. Au-delà, les hypothèses relatives au régime hydraulique de l'écoulement ne sont plus satisfaites et la précision diminue sensiblement.

De manière à estimer la précision de ces dispositifs et éviter ainsi une erreur systématique, due à l'emploi de l'un ou de l'autre, il a été procédé à des lectures simultanées des deux échelles à différentes hauteurs. La courbe de corrélation inter-échelles démontre l'égalité des valeurs du débit mesuré aux deux dispositifs, confirmant ainsi l'exactitude quasi certaine des mesures comprises entre 0 et 300 l/s.

Tous les débits fournis pour l'étude de cette station sont tirés des tarages du jaugeur. Aucune mesure au moulinet n'a pu être faite. Ces courbes sont portées sur la figure 4.5.

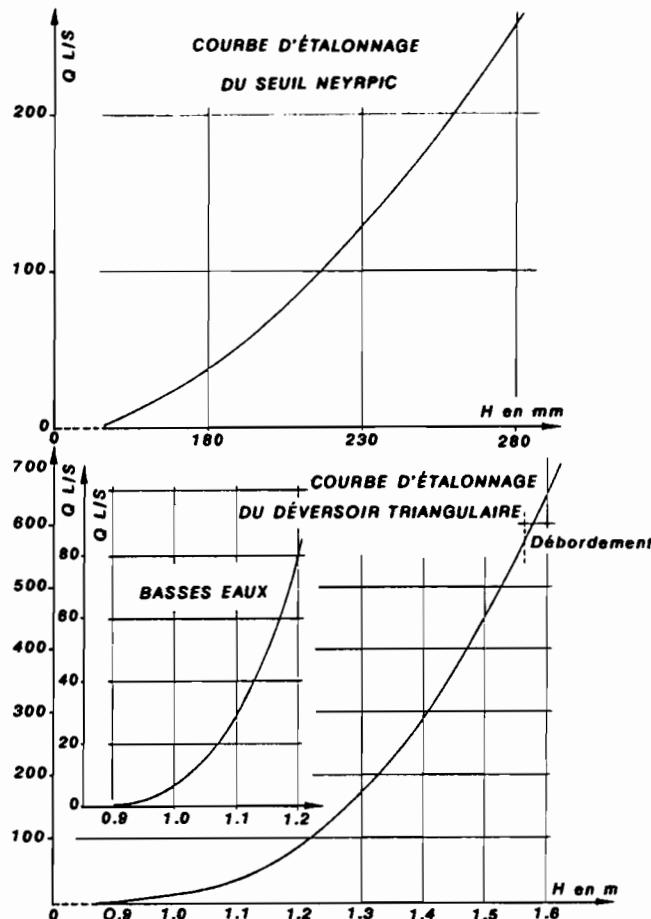


Fig-4-5 - STATION ZITA 2

4.2.3 - Station secondaire : Zita III

La station du Zita III, appelée également station de "la ravine", est située à quelque 60 à 80 m en amont de la station principale, en rive droite de l'oued Zita.

Par tous ses aspects, ce bassin de 3,5 hectares, est différent des autres bassins secondaires. Aussi bien par ses sols composés essentiellement de gypse, que par son relief très accentué ou par son réseau de drainage bien apparent, conséquence du relief. Il est représentatif de toute la partie Sud du bassin de l'oued Zita, marquée par l'alternance de couches supérieures dures et tendres du flanc Sud de l'anticlinal.

Cette station est équipée d'un seuil épais analogue à celui de la station Zita II. Etant donné la largeur du thalweg, il était impossible de dimensionner correctement ce jaugeur et les débits observés ont largement dépassé la zone de bonne précision du dispositif.

Pour le tarage, nous considérons trois tranches de hauteur .

- Pour les hauteurs inférieures à $H = 29$ cm, les débits sont donnés directement par le constructeur.
- De la cote $H = 29$ à la cote $H = 39$, les débits sont déduits de ceux obtenus sur le seuil de la station Zita II, seuil en tout point identique.

- c) Au-delà de la cote $H = 39$, les débits ont été estimés par plusieurs méthodes : jusqu'à la cote $H = 65$, l'écoulement transite par la canal à section rectangulaire, puis déborde en rive droite et au-dessus de la cote $H = 100$, le bord rive gauche est submergé. Dans ce cas, il convient d'évaluer le débit dans le chenal central, puis avec les déversements latéraux.

A partir des mesures de vitesses de surface réalisées au moulinet jusqu'à la cote $H = 58$, lors de la crue du 13 décembre 1973, nous avons obtenu la courbe des vitesses moyennes superficielles (fig. 4.6) qui est extrapolée à la cote maximale. Si l'on suppose le rapport

$$\frac{U}{V_{ms}}$$

égal à l'unité, on peut en déduire le tarage du chenal central. C'est une première méthode.

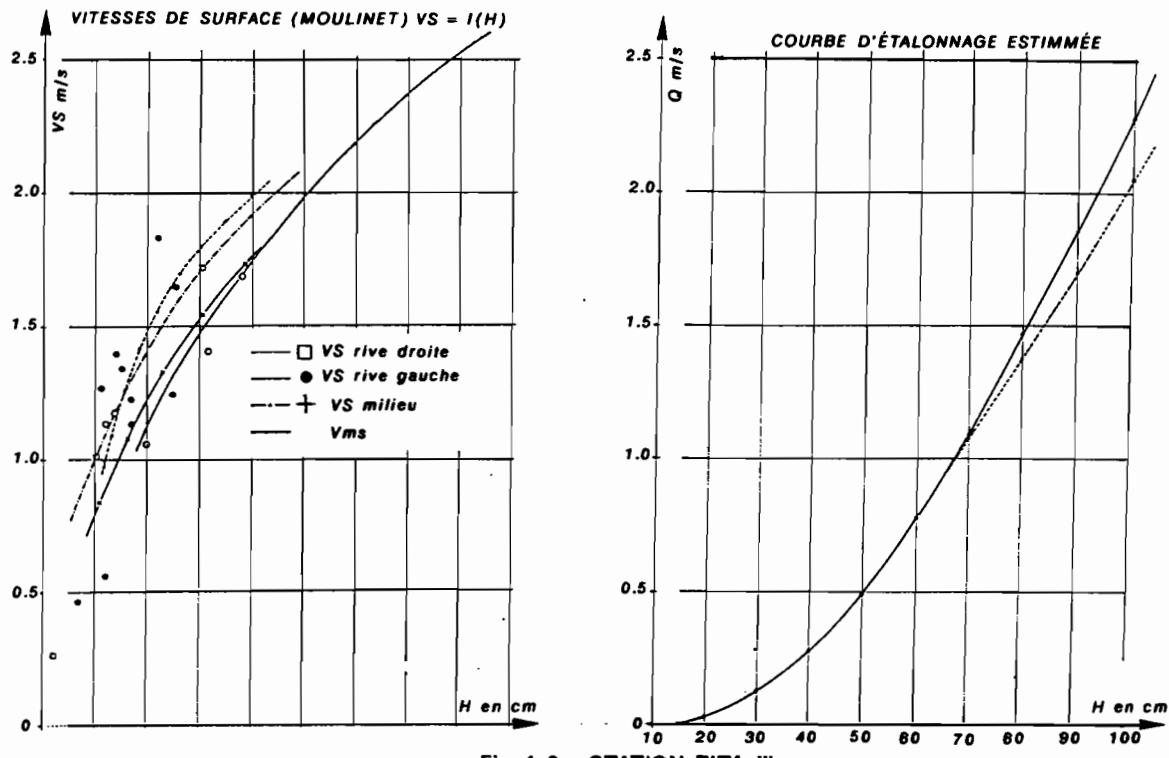


Fig-4-6 - STATION ZITA III

Si par contre, on assimile l'écoulement dans le chenal central à un écoulement à seuil épais, on peut appliquer la formule suivante :

$$Q = \mu \cdot 1 \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$

avec un coefficient de débit assimilable à celui du déversoir rectangulaire, sans contraction latérale :

$$\mu = \frac{2}{3} \left(0,605 + \frac{1}{1050 \cdot h - 3} + 0,08 \frac{h}{p} \right)$$

dans cette formule due à Rehbock (1912), p représente la différence de niveau entre le seuil du déversoir et le fond du canal, et h la charge (LENCASTRE, 1973). On obtient par calcul, une deuxième courbe de tarage.

Enfin, l'application de la formule de Manning-Strickler au bief, situé immédiatement en amont de la station donne pour la cote maximale :

$$V = 2,45 \text{ m/s, avec } K = 25 \text{ le débit } Q = 1,985 \text{ m}^3/\text{s.}$$

La comparaison de ces trois méthodes, donnant des résultats sensiblement différents aux cotes moyennes, permet de définir une fourchette dans laquelle doit se situer le débit réel (BOURGES, BOUZAIANE, 1974).

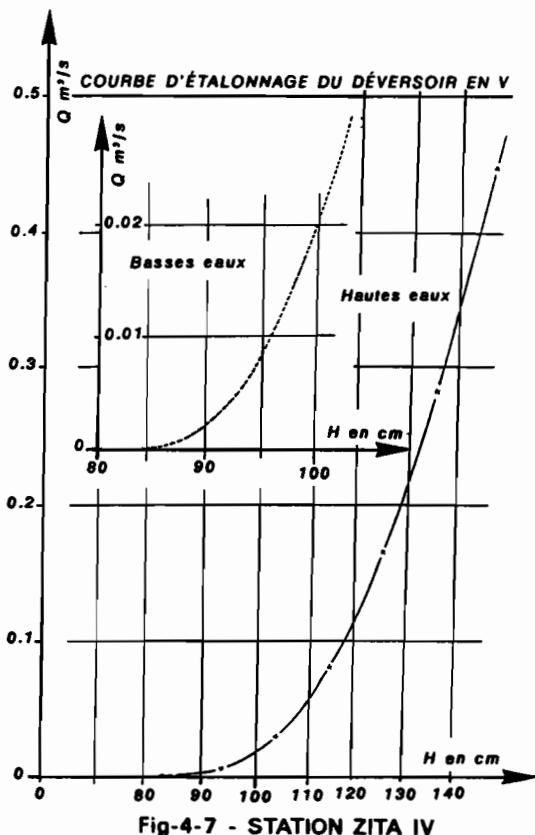
Enfin, lorsque la cote dans le chenal dépasse $H = 100$, on peut évaluer les débits par des méthodes identiques à celles que nous venons d'exposer, c'est-à-dire par :

- assimilation de la section de déversement à un seuil épais,
- assimilation de la section de déversement à un canal rectangulaire,
- identification des vitesses moyennes dans le chenal central et dans les déversements.

Le débit choisi pour la cote $H = 103$ est $Q = 0,240 \text{ m}^3/\text{s}$ (fig. 4.6)

4.2.4 - Station secondaire : Zita IV

Cette station du Zita IV, contrôle un bassin versant de 1,22 hectare, situé sur la rive gauche de l'oued Zita, sur un affluent de celui-ci.



Cette station se compose d'une fosse à sédiments, délimitée par un déversoir en V ouvert à 100°.

De façon à améliorer les conditions de fonctionnement du déversoir en V et à contrôler les valeurs du débit qui en sont tirées, le dispositif a été complété par l'adjonction en amont d'un brise-vitesse, constitué d'une lame métallique découpée et perforée qui "casse" la vitesse d'arrivée de l'eau dans la fosse. Le tarage de cette station est obtenu en appliquant la formule de Gourley :

$$Q = 1,32 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h^{2,47}$$

dans laquelle Q s'exprime en m^3/s , h est donné en mètres et α , angle d'ouverture du déversoir en degrés.

Notons également que cette station avait été équipée en septembre 1975 d'une prise de prélèvements automatiques à cinq niveaux différents. Cet équipement a fonctionné pendant les crues de 1976-1977 et a fait l'objet d'un rapport (BOURGES, 1978). La courbe de tarage est représentée sur la figure 4.7

4.2.5 - Station secondaire : Zita V

Cette station, distante de quelques kilomètres de la station principale est située sur le cours supérieur de l'oued Zita et draine un bassin de $0,44 \text{ km}^2$.

Elle est équipée d'un seuil en tôle, de 2 mm, muni d'un V ouvert à 110° dont le HQ_0 est à la cote 16,5 cm à l'échelle.

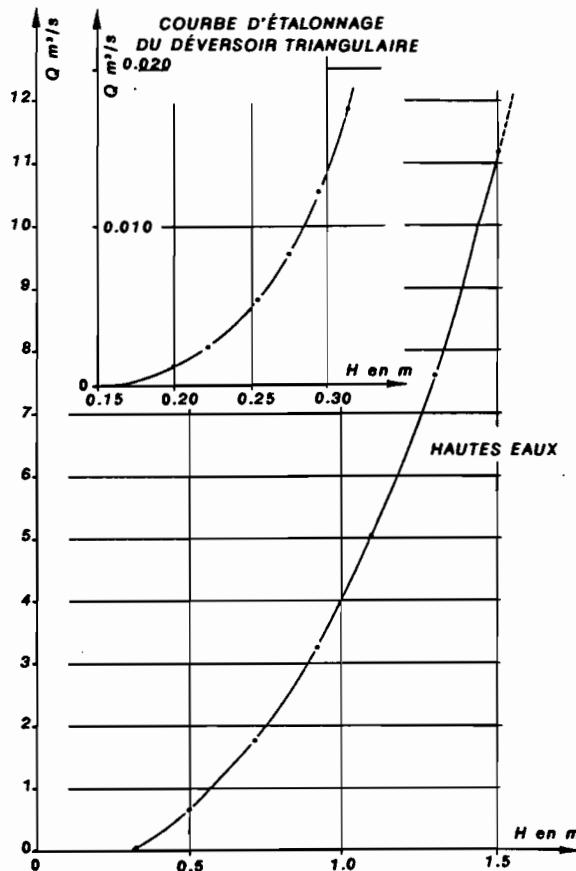


Fig-4-8 - STATION ZITA 5

C'est donc d'abord le déversoir en V qui contrôle la station, ainsi entre la cote $H = 16,5$ et la cote $H = 31,5$, le débit est calculé d'après la formule de Gourley :

$$Q_1 = 1,32 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} h^{2,47}$$

Lorsque le niveau de l'eau dépasse la cote $H = 31,5$, le seuil triangulaire est noyé et la section devient assimilable à une lame déversante, du type seuil rectangulaire.

Entre la cote $H = 31,5$ cm et la cote $H = 111,5$ cm , la section est donc assimilable à un déversoir rectangulaire avec contraction latérale et le calcul du débit est fait par la formule de Francis :

$$Q_2 = 1,83 (l - 0,2 h) h^{1,5}$$

dans laquelle Q est donné en m^3/s , l en mètres et correspond à la largeur du déversoir qui, dans ce cas-là est de 4,07 m et h varie de 0 à 1,22 m.

Lorsque la cote dépasse $H = 111,5$ cm , le déversoir s'agrandit une nouvelle fois pour être également assimilable à un déversoir rectangulaire à contraction latérale dont le débit est donné par :

$$Q_3 = 1,83 (l - 0,2 h) h^{1,5}$$

avec $l = 4,13$ m

$$h = \{0 - 0,42\text{m}\}$$

Le débit maximal observé correspond à la cote $h + 153,5$ m qui est la cote extrême de l'étalonnage calculé. Les courbes de tarage sont représentées sur la figure 4.8.

PLANCHE N°5

PHOTO : 1 -



Sur les bords de lits d'oueds, présence de *Lygeum spartum*

PHOTO : 2 -



ou de *Nitaria retusa* (milieu gypseux salé)

PHOTO : 3 -



Limoniastrum guyonianum (milieu gypseux salé)

PHOTO : 4 -



Bas fond salé et hygrophile à palmier sauvage
Phragmites communis, *Arthrocnemum indicum* et *Suaeda* sp.

PHOTO : 5 -



Touffes de *Limonium ferulaceum*

PHOTO : 6 -



et touffe de "Ballota hirsuta"

CHAPITRE 5

REGIME DES PRECIPITATIONS SUR LES BASSINS VERSANTS

5.1 - EQUIPEMENT

Les précipitations pendant la période 1972-1978 ont été mesurées sur les bassins de l'oued Zita à l'aide de 23 pluviomètres et de 3 pluviographes, l'ensemble des appareils étant réparti d'une façon assez régulière sur les bassins (CAMUS, 1978), puis avec un dispositif réduit à 3 pluviographes et 1 pluviomètre du 1.09.1978 au 1.09.1980.

Nous ne disposons, après 8 années d'observations, que d'un échantillon assez restreint quant au nombre d'averses, mais très intéressant quant à sa répartition.

Malgré le petit nombre d'événements, qui nous a posé quelques problèmes pour essayer de réaliser une étude statistique et malgré toutes les imperfections que cela représente, nous avons essayé, en nous référant à la station de longue durée de Gabès SM, de situer par analogie les périodes de retour des événements qui ont été observés sur le bassin de l'oued Zita.

5.2 - PLUVIOMETRIE ANNUELLE SUR LE BASSIN DU ZITA

Nous avons porté dans le tableau 5.1 ci après les valeurs de la pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle du bassin de l'Oued Zita pour la période 1972-1979

Comme on peut le constater à la lecture de ce tableau, la variabilité de la pluie annuelle est loin d'être négligeable, puisque sur une période relativement courte, elle varie dans un rapport de 1 à 5, mettant ainsi en évidence la grande irrégularité interannuelle en zone aride.

Si l'on se reporte à la série de longue durée du poste de Gabès Station Météorologique (dénommée Gabès S.M.1, et dont le numéro de code D.R.E.S. est 92775), on aperçoit que sur les 83 années d'observations qui ont servi à faire une étude statistique, la variabilité interannuelle est énorme puisqu'elle atteint un rapport allant de 1 à 165 entre la pluie annuelle maximale de 533,6 mm qui a été enregistrée en 1975-1976 et la pluie minimale annuelle de 1943 s'élevant à 36,4 mm (cf. chapitre 3, tableau 3.6).

Tableau 5.1 - Pluviométrie moyenne mensuelle du bassin de l'oued Zita

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
1972-73	10,3	23,2	4,2	56,1	8,3	19,9	30,5	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	157,6
1973-74	0,0	3,7	12,0	297,9	1,9	32,1	20,1	7,7	0,0	2,7	0,0	0,0	378,1
1974-75	32,9	20,7	2,6	1,4	4,3	31,5	50,1	11,0	7,3	18,8	0,0	0,0	180,6
1975-76	10,6	16,0	20,1	8,0	112,1	78,6	49,3	0,0	23,1	2,6	0,0	0,0	320,4
1976-77	7,4	5,0	10,3	0,0	14,2	30,8	6,7	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	78,4
1977-78	19,6	19,7	52,9	0,0	24,9	31,8	5,6	6,0	24,0	0,0	0,0	0,0	184,5
1978-79*	1,5	18,9	25,0	0,0	0,0	26,7	25,5	4,2	1,8	0,0	0,0	0,0	103,6
1979-80	29,5	6,0	10,2	0,0	8,7	29,8	21,5	23,2	14,0	0,0	0,0	0,0	142,9

* moyenne estimée à partir des pluviographes PG 23 et PG 24

Les valeurs extrêmes que l'on peut tirer du tableau précédent, 378,1 mm et 78,4 m ont un rapport de 4,8 (≈ de 5) beaucoup moins important que pour la série de Gabès.

C'est la raison qui nous permet de penser que sur le bassin de l'oued Zita, malgré une bonne répartition des valeurs de l'échantillon, nous ne sommes pas en présence de valeurs extrêmes possibles.

L'application de la corrélation (1) pour l'estimation des valeurs de la pluie annuelle de récurrence rare sur le bassin de l'oued Zita, donnerait les valeurs consignées dans le tableau 5.2 ci-après.

A partir des valeurs ainsi obtenues, on peut estimer les récurrences des années 1972 à 1979 sur le bassin de l'oued Zita. C'est ainsi que :

- l'année 1973-1974 avec 378,1 mm serait de récurrence cinquantennale,
- 1975-1976, avec un total de 320,4 mm, est légèrement supérieure à l'année de fréquence vicennale humide,
- les années 1972-73, 1977-78 et 1974-75, avec respectivement 157,6 - 178,5 mm et 180,6 mm seraient légèrement supérieures à la médiane mais nettement inférieures à la quinquennale humide,
- l'année 1979-80 avec un total de 142,9 mm serait assimilable à la valeur médiane,
- l'année 1978-79 avec son total de 103,6 mm serait proche de la quinquennale sèche,
- enfin, avec 78,6 mm l'année 1976-77 serait comprise entre la quinquennale et la décennale sèche.

Tableau 5.2 - Estimation de la pluie annuelle de diverses récurrences sur le bassin de l'oued Zita (et à la station de Telmam)

ANNEE SECHE		ANNEE HUMIDE		
Fréquence	P en mm.	Période de retour	Fréquence	P en mm.
0,002	23,3	500	0,998	518,2
0,005	26,1	200	0,995	463,5
0,01	31,0	100	0,99	421,4
0,02	37,6	50	0,98	378,0
0,05	50,0	20	0,95	318,5
0,1	63,3	10	0,9	270,9
0,2	85,6	5	0,8	220,1
0,5	140,7	2	0,5	140,7

5.3 - PLUVIOMETRIE MENSUELLE

Si l'on considère la pluviométrie mensuelle sur le bassin principal de l'oued Zita entre septembre 1972 et septembre 1980, on est frappé par la grande irrégularité qui peut exister entre les mêmes mois des différentes années (cf. tableau 3.6 du paragraphe 3.7.1). De 1972 à 1978, la pluie moyenne sur le bassin a été calculée par la méthode de Thyssen à partir des observations des postes pluviométriques. Depuis septembre 1978, la pluie moyenne est calculée arithmétiquement à partir des 3, puis des 2 pluviographes qui ont été conservés, ce qui donne des résultats légèrement différents de ceux calculés antérieurement. Mais on peut considérer cependant que les valeurs obtenues restent assez représentatives du bassin.

Nous donnons dans le tableau ci-après les valeurs extrêmes moyennes et médianes des précipitations mensuelles pour la période d'observations.

1) Voir le paragraphe 3.7.3

Valeurs extrêmes, moyennes et médianes des précipitations mensuelles sur la période d'observations.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Maximum	32,9	23,2	52,5	297,9	112,1	78,6	50,1	23,2	24,0	18,8	0,0	0,0
Moyenne 1	13,5	14,7	17,0	60,5	27,6	37,5	27,0	4,0	9,7	4,0	0,0	0,0
Moyenne 2	14,0	14,1	17,2	45,4	21,8	35,1	26,0	4,1	9,2	4,0	0,0	0,0
Médiane	10,4	10,4	17,4	11,1	8,5	31,1	23,0	5,6	5,6	0,0	0,0	0,0
Minimum	0,0	3,7	2,6	0,0	0,0	19,9	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

* la moyenne 1 correspond à la période 1972-78

* la moyenne 2 correspond à la période 1972-79

A l'exception de la valeur maximale d'avril qui a été observée en 1980, toutes les valeurs extrêmes mensuelles appartiennent à la période 1972-1978.

5.4 - PLUVIOMETRIE SAISONNIERE

A l'échelle de la saison, la variabilité est encore plus marquée, puisqu'on relève pour toutes les saisons des minima très faibles, sinon nuls tandis que les maxima à l'exception de l'été représentent des hauteurs de pluie aux écarts très importants :

- rapports de 1 à 6 pour l'automne, de 1 à 12 pour l'hiver et de 1 à 7 pour le printemps comme en témoigne le tableau suivant.

PLUVIOMETRIE SAISONNIERE

	AUTOMNE	HIVER	PRINTEMPS	ETE	ANNEE
1972-73	37,7	84,3	35,6	0,0	157,6
1973-74	15,7	331,9	27,8	2,7	378,1
1974-75	56,2	37,2	68,4	18,8	180,6
1975-76	46,7	198,7	72,4	2,6	320,4
1976-77	22,7	45,0	10,7	0,0	78,4
1977-78	92,2	56,7	29,6	0,0	178,5
1978-79	45,4	26,7	31,5	0,0	103,6
1979-80	45,7	38,5	57,7	0,0	141,9

5.5 - PLUVIOMETRIE JOURNALIERE SUR LE BASSIN

Entre 1972 et 1980, les dix plus fortes précipitations ponctuelles en 24 heures, mesurées à l'un des postes du bassin de l'oued Zita sont par ordre décroissant :

- 1) 286,0 mm au P 12 le 12.12.1973
- 2) 65,6 mm au P 15 le 9.01.1976
- 3) 46,5 mm au P 7 le 14.01.1976
- 4) 44,4 mm au P 6 le 4.12.1972
- 5) 44,0 mm au P 7 le 26.03.1976
- 6) 43,6 mm au P 12 le 4.12.1973
- 7) 37,6 mm au P 7 le 24.11.1977
- 8) 36,7 mm au P 11 le 26.02.1976
- 9) 35,3 mm au P 9 le 13.02.1978
- 10) 32,8 mm au P 5 le 26.03.1973

Cette liste des plus fortes précipitations ponctuelles observées sur le bassin de l'oued Zita met en évidence le caractère exceptionnel de la pluie du 12 décembre 1973.

Si l'on se réfère à l'étude des pluies journalières observées à Gabès S.M. (FERSI 1978), il est possible à partir des lois statistiques d'estimer la période de retour d'un tel événement.

Nous avons vu dans un des chapitres précédents (cf. 3.7.3) que, sur une période de 72 années, l'ajustement de l'échantillon de 2204 valeurs à 2 lois statistiques, à savoir Galton et Goodrich était satisfaisant.

Nous nous proposons donc d'estimer les périodes de retour des pluies observées sur le bassin de l'oued Zita à l'aide de ces deux lois.

L'application de celles-ci à la valeur exceptionnelle ponctuelle de 286,0 mm observée au P 12 le 12.12.1973 nous conduisait à estimer la période de retour à 850 ans par la loi de Galton. La récurrence serait d'ordre bi-millénaire pour la loi de Goodrich (2220 ans).

Dans le même temps, la récurrence pour la pluie arrivant en deuxième rang, soit 65,6 mm, serait de 5 années pour les deux ajustements et bi-annuelle pour les valeurs de pluie comprises entre 40 à 45 mm.

5.6 - ETUDE DES AVERSES INDIVIDUALISEES

L'analyse de l'information pluviographique collectée pendant la période 1972-1979 sur le bassin de l'oued Zita, à partir des pluviographes PG 22, PG 23 et PG 24, a permis de faire l'analyse des averses journalières.

Nous avons choisi comme critère de séparation des averses au cours de la journée, celui qui a été défini dans le programme de traitement des relevés pluviographiques intégraux (POH 126), à savoir : "une averse est considérée comme continue, si au cours d'une durée au plus égale à 20 minutes, il y a au moins une intensité supérieure à 2 mm/h."

Il en résulte qu'au cours d'une journée pluvieuse, on peut enregistrer jusqu'à 7 ou 8 averses, ou même plus, de durée variable qui correspondent à des passages successifs de lignes de grain.

Nous disposons pour cette étude des observations sur 8 années (1972 à 1980) au PG 21 (Telmam), et de 6 à 7 ans pour les autres pluviographes PG 22, PG 23 et PG 24.

5.6.1 - Hauteur de l'averse

Sur l'ensemble de l'échantillon dont on dispose, on peut dire que, pour les journées où ont été observées deux ou trois averses, voire même plus, il existe une corrélation vraisemblable entre la hauteur de l'averse la plus forte de la journée et la hauteur journalière. Les essais qui ont été faits sur les valeurs des pluviographes 23 et 24 ne sont cependant pas très significatifs, mais il faut tenir compte de la faiblesse de notre échantillon.

Si l'on prend les valeurs de l'échantillon du PG 24 où sur 101 jours de pluie (période allant du 1.12.73 au 31.08.80), on dénombre 35 jours de pluie à averses multiples, soit environ 35 % de l'échantillon, qui se répartissent comme suit :

17 fois	2 averses
9 fois	3 averses
4 fois	4 averses
3 fois	5 averses
1 fois	9 averses
1 fois	11 averses

Sur les pluies comprenant 2 ou 3 averses, la part la plus forte par rapport au total journalier est comprise entre 30 et 40 %, alors que pour les pluies à 4 ou 5 averses, cette valeur est comprise entre 60 et 75 %. Au-delà de ce nombre d'averses, il semble que la plus forte soit comprise entre 18 et 50 %, mais nous ne disposons que de deux cas de pluie à averses multiples supérieures à 5.

5.6.2 - Corps de l'averse (ou pluie utile)

Le corps de l'averse est défini comme la somme des tranches de l'averse dont l'intensité est supérieure à une intensité I , au-dessous de laquelle on considère qu'il ne peut y avoir de ruissellement.

Pour les bassins du Zita, la valeur moyenne de I retenue est de 2,5 mm/h.

Sur la figure 5.1, nous avons représenté la pluie utile P_u (ou corps moyen C de l'averse) en fonction de la hauteur P_m des averses ayant donné lieu à un ruissellement sur le bassin principal pendant la période 1972-1979.

Cet échantillon est constitué de 61 valeurs, le coefficient de corrélation est $R = 0,986$ et l'équation de la droite de corrélation de la pluie utile en fonction de la pluie moyenne est :

$$P_u = 0,917 P_m - 0,35$$

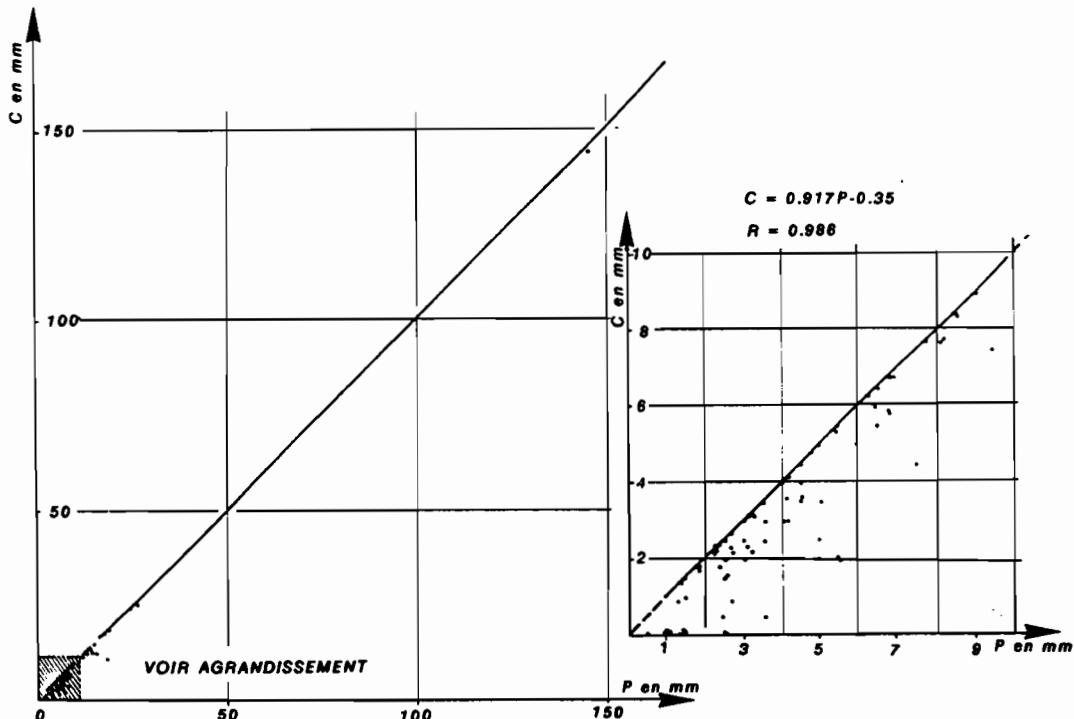


Fig-5-1 - RELATION ENTRE LE CORPS C DE L'AVERE ET LA HAUTEUR MOYENNE P DE L'AVERE

5.6.3 - Durée de l'averse

Pour l'ensemble des averses ayant ou non ruisselé et supérieures à 1,0 mm, il a été établi, pour chaque pluviographe et sur l'ensemble de leur période de mesures (1973 à 1979 pour 3 pluviographes sur 4), une matrice de correspondance entre la hauteur de l'averse et sa durée définie comme le temps séparant le début de la tranche supérieure à 2,5 mm/h et la fin de la dernière tranche supérieure à 2,5 mm/h. Seules les averses de durée supérieure à 5 minutes ont été retenues.

Les résultats des différents pluviographes sont présentés dans les tableaux 5.3 à 5.6.

Tableau 5.3 - Analyse des averses du PG 21 (Citerne Telmam) pendant la période 1972-79 . -
Echantillon de 240 valeurs.

Hauteur de l'averse en mm.	DUREE D'E L' AVERSE Valeur moy. en mm.	Nombre d'averses	Valeurs extrêmes min.	Max.	Dispersion de l'échantillon
1.0 mm	20'	62	5'	48'	80% entre 10 et 35'
1.5 mm	27'	42	5'	70'	85% entre 10 et 45'
2.0 mm	25'	25	5'	58'	80% entre 10 et 50'
2.5 mm	41'	17	10'	73'	76% entre 20 et 70'
3.0 mm	48'	11	15'	116'	82% entre 15 et 75'
3.5 mm	45'	7	12'	70'	
4.0 mm	56'	11	7'	138'	
4.5 mm	55'	8	23'	80'	
5.0 mm	67'	5	50'	83'	
5.5 mm	69'	6	5'	180'	
6.0 à 7.0 mm	81'	8	22'	140'	
7.0 à 8.0 mm	58'	5	10'	113'	
8.0 à 10.0 mm	71'	10	20'	160'	
10.0 à 12.0 mm	118'	6	13'	299'	
12.0 à 15.0 mm	141'	8	59'	237'	

$$d = 0.995 P + 14.3 \text{ avec } R = 0.994$$

Tableau 5.4 - Analyse des averses du PG 22 pendant la période 1972-79 . - Echantillon de 155 valeurs

Hauteur de l'averse en mm.	DUREE D'E L' AVERSE Valeur moy. en mm.	Nombre d'averses	Valeurs extrêmes min.	Max.
1.0 mm	17'	44	3'	30'
1.5 mm	21'	14	5	35'
2.0 mm	29'	15	6'	48'
2.5 mm	36'	12	8'	66'
3.0 mm	35'	8	10'	77'
3.5 mm	36'	10	22'	56'
4.0 mm	52'	3	31'	75'
4.5 mm	64'	6	43'	86'
5.0 mm	64'	6	35'	87'
5.0 à 7.0 mm	80'	7	60'	125'
8.0 mm	83'	4	42'	130'
9.0 mm	84'	4	29'	153'
15.0 mm	134'	8	24'	227'

$$d = 0.933 P + 11.4 \text{ avec } R = 0.984$$

L'ensemble des observations effectuées aux 4 appareils a permis de tracer des droites exprimant la variation de la durée d en fonction de la pluie P. L'ensemble des événements averses représente un échantillon correct et il paraît possible de dresser une corrélation d'ensemble.

En fait, on constate que cette corrélation "moyenne" n'est pas très satisfaisante étant donné la dispersion des valeurs (durée de l'averse) au-dessus de 10,0 mm. De plus, pour l'étude du ruissellement nous nous sommes basés sur les valeurs de pluie du pluviographe qui se rapprochent le plus de la pluie moyenne du bassin considéré. Il nous a donc semblé plus judicieux dans cette perspective d'étudier chacun des pluviographes indépendamment les uns des autres.

Nous obtenons donc pour chaque appareil les relations suivantes :

$$d = 0,955 PG_{21} + 14,3 \quad d = 0,966 PG_{23} + 13,2$$

$$d = 0,933 PG_{22} + 11,4 \quad d = 0,973 PG_{24} + 17,1$$

dans lesquelles d est exprimée en minutes et P en millimètres.

Les coefficients de corrélation varient de $R = 0,994$ à $0,924$, ce qui tend à prouver qu'en climat semi-aride, et plus spécialement sur le bassin de l'oued Zita, la relation $d = f(P)$ est correcte.

Tableau 5.4 - Analyse des averses du PG 23 pendant la période 1972-79 . - échantillon de 210 valeurs

Hauteur de l'averse en mm.	DUREE DE L'AVERSE			
	Valeur moy. en mm.	Nombre d'averses	Valeurs extrêmes	
			min.	Max.
1.0 mm	22'	57	5'	73'
1.5 mm	25'	25	5'	47'
2.0 mm	29'	20	5'	60'
2.5 mm	33'	18	5'	92'
3.0 mm	39'	6	13'	107'
3.5 mm	57'	11	8'	94'
4.0 mm	58'	12	10'	112'
4.5 mm	117'	6	50'	198'
5.0 mm	58'	3	10'	105'
6.0 mm	85'	4	75'	92'
7.0 mm	75'	9	15'	114'
8.0 mm	50'	8	17'	124'
9.0 mm	116'	9	45'	182'
10.0 mm	112'	3	39'	189'
12.0 mm	109'	6	12'	190'
15.0 mm	158'	4	48'	240'
20.0 mm	265'	3	23'	562'
25.0 mm	158'	2	130'	186'

$$d = 0,986 P + 13,2$$

Tableau 5.6 - Analyse des averses du PG 24 pendant la période 1972-79 . - Echantillon de 175 valeurs

Hauteur de l'averse en mm.	DUREE DE L'AVERSE			
	Valeur moy. en mm.	Nombre d'averses	Valeurs extrêmes	
			min.	Max.
1.0 mm	19'	40	2'	52'
1.5 mm	24'	27	4'	67'
2.0 mm	24'	11	6'	60'
2.5 mm	43'	16	5'	109'
3.0 mm	45'	12	17'	72'
3.5 mm	64'	4	18'	95'
4.0 mm	60'	6	23'	91'
4.5 mm	60'	7	7'	118'
5.0 mm	82'	4	60'	113'
6.0 mm	78'	7	8'	130'
7.0 mm	62'	10	24'	127'
8.0 mm	89'	4	45'	148'
10.0 mm	107'	6	23'	188'
15.0 mm	134'	11	14'	214'
20.0 mm	180'	6	29'	408'
25.0 mm	157'	2	10'	305'

$$d = 0,973 P + 17,1$$

Comme on peut le constater à la lecture du tableau 5.7, il apparaît que pour l'ensemble des postes plus de 75 % des averses sont inférieures à 5,0 mm de pluie et environ 90 % ont un total inférieur à 10,0 mm. Le

nombre d'averses dont le total est supérieur à 10,0 mm, est compris entre 10 et 15 % de l'échantillon (période 1972-1979, soit 8 années pour les postes les plus anciens).

Enfin, il est à noter également qu'au cours d'une journée de pluie, il peut être enregistré plusieurs averses (cf. paragraphe 5.5.1). Nous nous sommes également livrés à une étude de la fréquence d'apparition d'une ou plusieurs averses au cours d'une journée de pluie (cf. tableau 5.8), ainsi que du rapport liant l'averse la plus forte au total de la journée.

Tableau 5.7 - Distribution des averses par tranches de hauteur de pluie.

Hauteur en mm	PG 21		PG 22		PG 23		PG 24	
	Nb	% de Nb						
> 0,1 mm	240	100,0	155	100,0	210	100,0	175	100,0
de 0,1 à 5,0 mm	188	78,3	118	76,1	158	75,2	127	72,6
de 0,1 à 10,0 mm	217	90,4	136	87,7	191	91,0	154	88,0
> à 10,0 mm	23	9,6	19	12,3	19	9,0	21	12,0

Tableau 5.8 - Fréquence d'observation de n averses en fonction de la hauteur de pluie journalières pour les 4 pluviographes du bassin versant de l'oued ZITA

PG jour.	Fréquence d' apparition des averses						N = 123	Sav.	6 av.	> 8av.	%
	1 av. n	%	2 av. n	%	3 av. n	%					
1.0 à 5,0 mm	46	37,4	4	3,3	1	0,8					
5,0 à 10,0 mm	16	13,0	11	8,9	3	2,4	1	0,8			
10,0 à 15,0 mm	2	1,6	9	7,3	2	1,6	0	0,0			
15,0 à 20,0 mm	2	1,6	4	3,3	6	4,9	0	0,0	2	1,6	1
20,0 à 30,0 mm	2	1,6	2	1,6	2	1,6	3	2,4	1	0,8	1
> 30,0 mm	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
									2		1,6
PG jour.	Fréquence d' apparition des averses						N = 81	Sav.	6 av.	> 8av.	%
	1 av. n	%	2 av. n	%	3 av. n	%					
1.0 à 5,0 mm	28	34,6	5	6,2							
5,0 à 10,0 mm	11	13,6	9	11,1	2	2,5					
10,0 à 15,0 mm	3	3,7	2	2,5	4	4,9					
15,0 à 20,0 mm	2	2,5	4	4,9	0	0,0	0	0,0	1	1,2	
20,0 à 30,0 mm	1	1,2	0	0,0	1	1,2	6	7,4			
> 30,0 mm	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2
									2		2,5
PG jour.	Fréquence d' apparition des averses						N = 108	Sav.	6 av.	> 8av.	%
	1 av. n	%	2 av. n	%	3 av. n	%					
1.0 à 5,0 mm	38	35,2	3	3,8	1	0,9					
5,0 à 10,0 mm	19	17,6	7	6,5	2	1,9	1	0,9			
10,0 à 15,0 mm	2	1,9	3	2,8	6	5,6	2	1,9	1	0,9	
15,0 à 20,0 mm	2	1,9	1	0,9	2	1,9	3	2,8			
20,0 à 30,0 mm	3	2,8	2	1,9	1	0,9	0	0,0	3	2,8	
> 30,0 mm	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	1,9	1	0,9	0
									3		2,8
PG jour.	Fréquence d' apparition des averses						N = 105	Sav.	6 av.	> 8av.	%
	1 av. n	%	2 av. n	%	3 av. n	%					
1.0 à 5,0 mm	44	41,9	2	1,9	3	2,8					
5,0 à 10,0 mm	17	16,2	5	4,8							
10,0 à 15,0 mm	1	0,9	2	1,9	4	3,8	2	1,9			
15,0 à 20,0 mm	4	3,8	5	4,8	2	1,9	0	0,0	1	0,9	
20,0 à 30,0 mm	3	2,8	0	0,0	0	0,0	2	1,9	1	0,9	
> 30,0 mm	0	0,0	0	0,0	2	1,9	2	1,9	1	0,9	

NB : * - période observée 1972-77 ** - période observée 1973-79

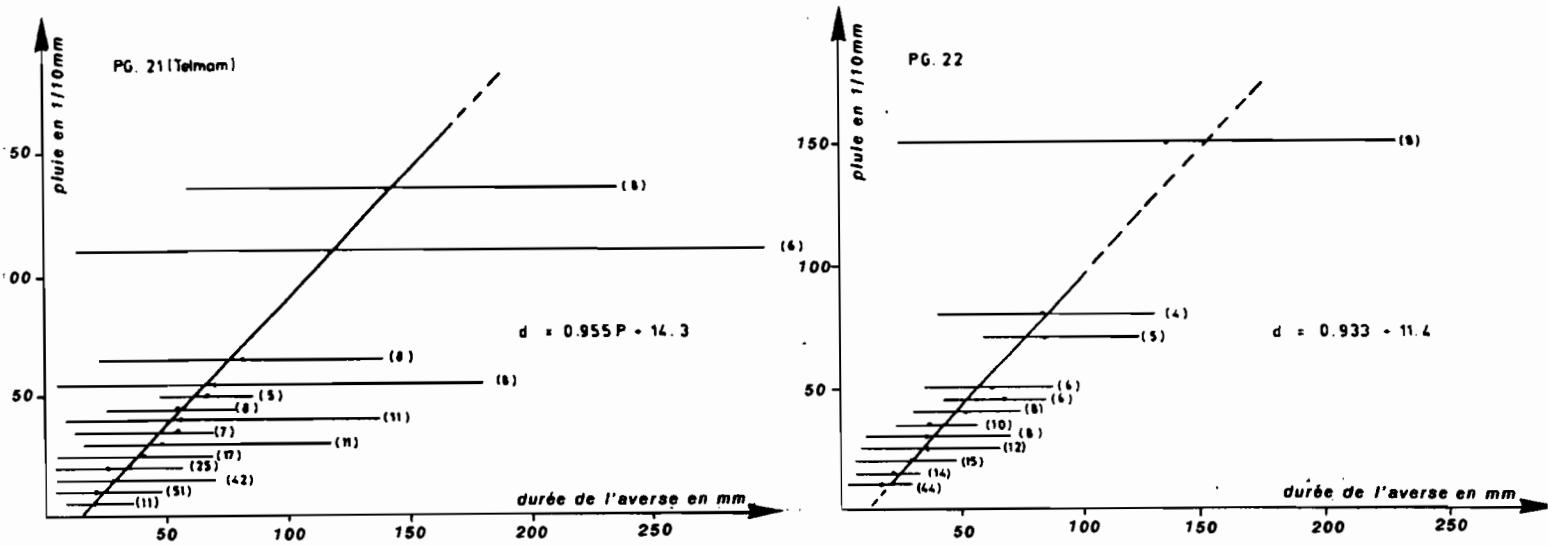


Fig-5-2 - RELATION ENTRE LA HAUTEUR DE L'AVERSE ET SA DUREE
PLUVIOPHRES PG.21(TELMAM) ET PG.22 (BASSIN DU ZITA 5)

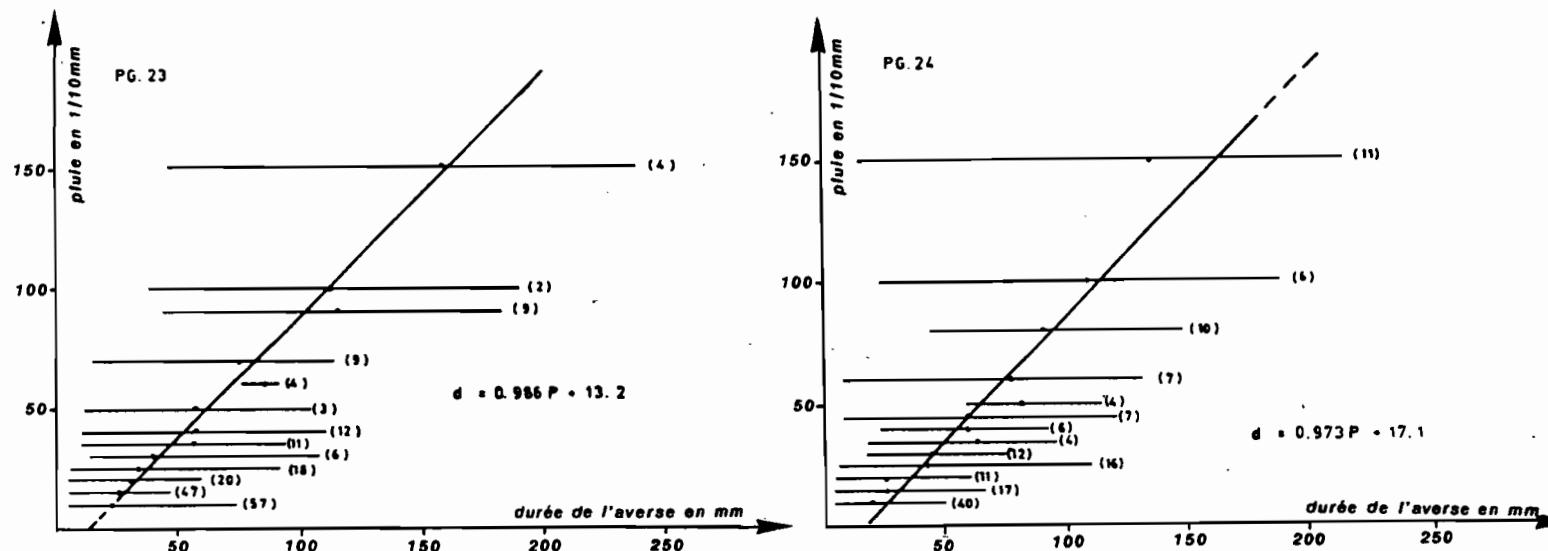


Fig-5-3 - RELATION ENTRE LA HAUTEUR DE L'AVERSE ET SA DUREE
PLUVIOPHRES PG.23 (ZITA 2) ET PG.24 (ZITA 3)

5.7 - INTENSITE DES AVERSES

L'étude de l'intensité des averses a été effectuée sur les enregistrements des pluviographes PG 22, PG 23 et PG 24. La méthodologie employée est celle décrite dans un article des Cahiers d'Hydrologie, au sujet du traitement informatique des informations pluviographiques (GIRARD, CHAPERON 1980).

5.7.1 - Etude des hyéogrammes classés

Pour chaque averse est établi un hyéogramme classé des intensités maximales observées en 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 et 180 minutes.

Les échantillons correspondant à chacune des tranches sont encore soumis à une analyse statistique.

Nous avons porté dans les tableaux 5.9 et 5.10 ci-après les résultats obtenus avec une loi exponentielle généralisée tronquée (seuil de troncature 2,5 mm/h), pour différentes fréquences au non dépassement au pluviographe PG 23 (période calendaire 1973-1979) soit 7 années et au PG 24 (sur une période calendaire de 6 années, 1974-1979).

Tableau 5.9 - Intensité-durée-fréquence au PG 23

F R	0,5 2	0,2 5	0,9 10	0,95 20	0,98 50	0,99 100
5'	72,0	117,6	169,2	241,2	354,0	564,0
10'	55,2	81,6	106,8	138,6	186,6	
15'	46,8	73,2	100,0	134,8		
30'	31,6	52,4	75,8	107,6	167,2	
45'	24,9	41,0	58,7	82,5	126,8	172,4
60'	8,6	14,8	22,0	32,2	51,2	65,8
90'	2,0	3,3	4,8	6,9	10,3	14,3

Tableau 5.10 - Intensité-durée-fréquence au PG 24

F R	0,5 2	0,2 5	0,9 10	0,95 20	0,98 50	0,99 100
5'	80,4	122,4	163,2	216,0	289,2	410,4
10'	54,6	80,4	105,0	135,0	181,2	222,6
15'	41,6	62,0	82,4	108,0	150,0	196,4
30'	23,8	32,4	40,0	48,8	61,8	74,2
45'	17,2	17,7	26,4	31,7	39,1	45,1
60'	13,7	12,3	21,1	24,8	30,3	34,8
90'	9,9	9,4	14,1	16,1	18,9	21,3
120'	7,9	6,8	10,5	11,6	13,0	14,1
180'	6,0	7,0	7,4	7,9	8,6	9,2

Dans ces 2 tableaux les valeurs portées dans les deux dernières colonnes (référence cinquantennale et centennale) sont à considérer avec beaucoup de réserve et comme ordre de grandeur éventuellement.

On peut, en raison de l'échantillon dont nous disposons, considérer comme vraisemblables les valeurs de récurrence égales ou inférieures à la valeur vicennale.

Sur la figure 5.4, nous avons représenté les courbes d'intensité-durée pour différentes récurrences.

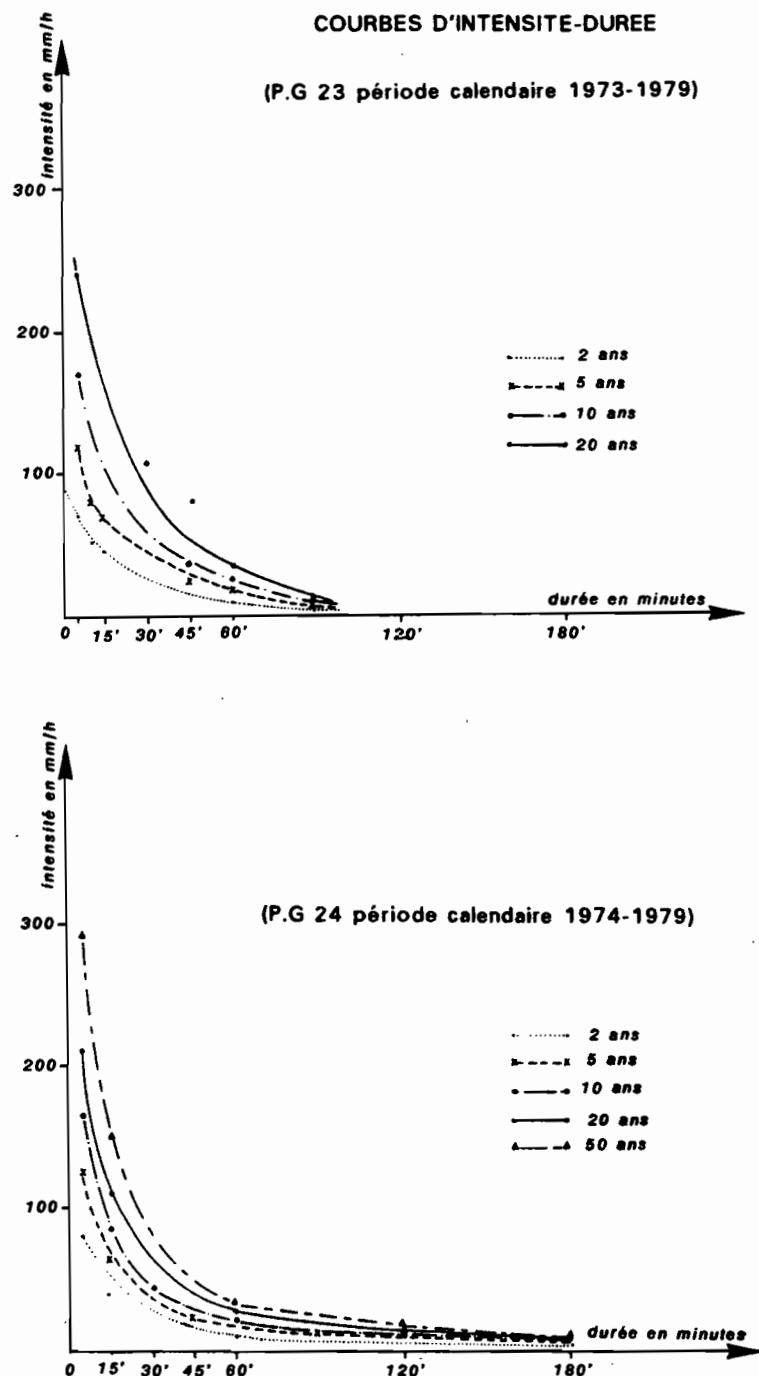


Fig-5-4 - COURBE D'INTENSITE-DUREE POUR DIVERSES RECURRENCES

5.7.2 - Etude des hyéogrammes enveloppes

A partir des hyéogrammes centrés sur l'intensité maximale, les hyéogrammes enveloppes pour différentes fréquences ont été déterminés en appliquant un traitement statistique à chaque échantillon de valeurs correspondant à la tranche centrale (intensités maximales des averses) et aux tranches précédent et suivant la tranche centrale. Ce traitement a consisté en l'ajustement d'une loi exponentielle généralisée avec troncature.

Ce traitement a permis d'obtenir des suites d'intensités maximales de diverses récurrences qui constituent les hyéogrammes enveloppes des averses de même récurrence.

Les graphiques 5.5 à 5.7 des pages suivantes présentent les hyéogrammes enveloppes de différente récurrence pour les pluviographes du bassin versant de l'oued Zita .Le pas de temps est de 5' pour les tranches 6 à 12 (intensité maximale centrée) - ou 4 à 10 pour le PG 24 et de 10' pour les tranches antérieures ou postérieures.

Le traitement statistique avec troncature choisie au même seuil pour toutes les tranches réduisant l'échantillon des tranches éloignées de la tranche maximale, on peut estimer que les valeurs de l'enveloppe sont significatives de la 6ème à la 11ème tranche. Pour les autres tranches, les valeurs de l'enveloppe sont assez peu plausibles, même parfois aberrantes.

On peut remarquer que jusqu'à la récurrence décennale, dans les limites de tranches citées ultérieurement, les hyéogrammes offrent une forme correcte et vraisemblable d'averse à pointe unique. Au-delà de la récurrence décennale, on trouve souvent des hyéogrammes déformés avant et après la tranche centrale.

Ceci est vraisemblablement dû :

- à la petitesse de nos échantillons,
- à la relativement faible durée des averses,
- au fait que toutes les averses n'ont pas nécessairement une pointe unique et que le choix du hyéogramme centré sur l'intensité maximale déforme incontestablement l'allure de certaines averses en privilégiant l'hypothèse de l'averse à pointe unique.

En conclusion, on peut dire que sur 8 années d'observations, nous n'avons en moyenne observé que 150 épisodes pluvieux, dont 90 % d'entre eux ont un total inférieur à 10 mm.

Dans ces conditions, les résultats de ces études de la pluie doivent être considérés avec prudence, surtout en ce qui concerne les études pluviographiques, et l'on ne peut raisonnablement estimer des récurrences au-delà de 10 années de période de retour.

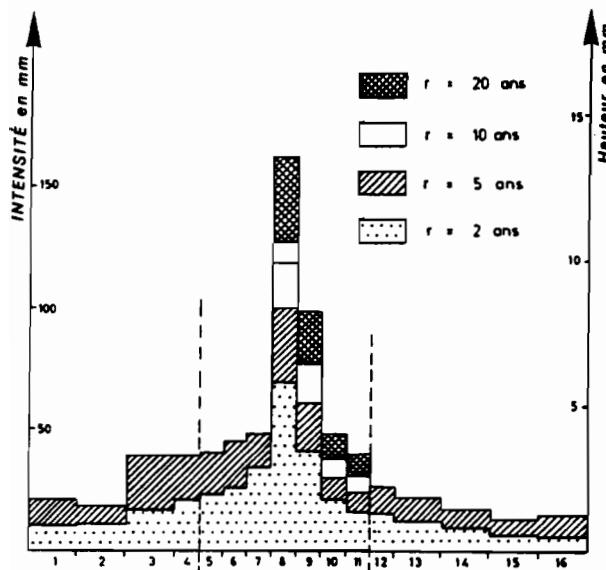


Fig-5-5 - HYETOGRAMMES ENVELOPPES
DE DIFFERENTES RECURRENCES

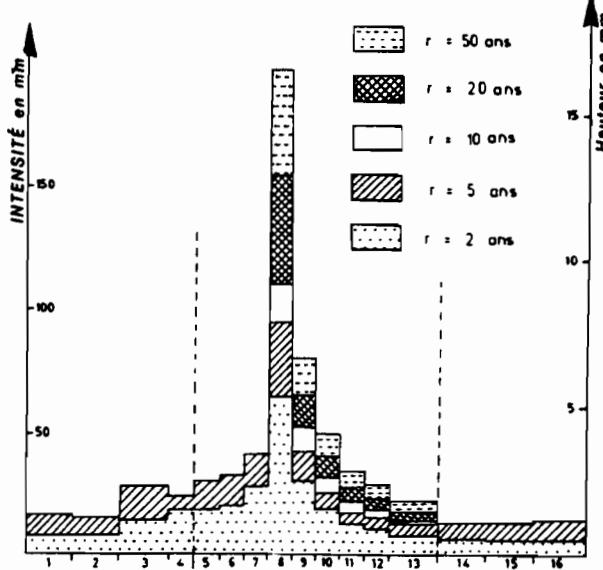


Fig-5-6 - HYETOGRAMMES ENVELOPPES
DE DIFFERENTES RECURRENCES

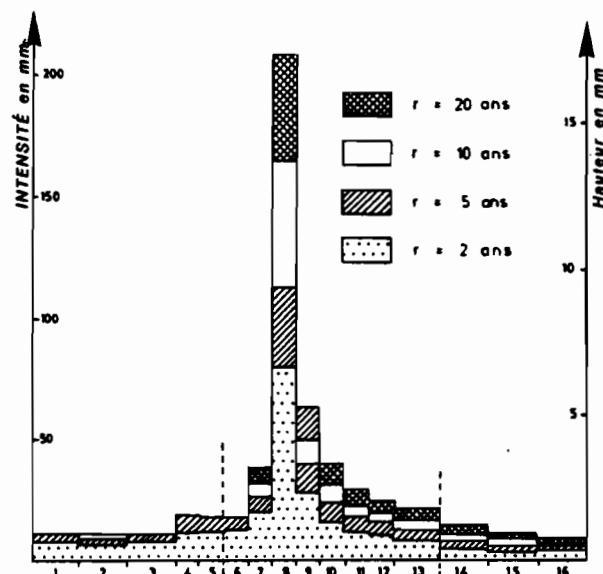


Fig-5-7 - HYETOGRAMMES ENVELOPPES
DE DIFFERENTES RECURRENCES

5.8 - LES PLUIES EXCEPTIONNELLES DU 12 DECEMBRE 1973

5.8.1 - Aperçu régional

Faisant suite à un automne très sec, trois épisodes pluvieux ont atteint le Sud tunisien, dont deux seulement intéressent les bassins. Une semaine plus tard, un épisode pluvieux, selon un mécanisme identique aux fortes pluies de 1969 va précipiter sur le Sud tunisien des masses d'eau considérables. L'épicentre se trouve sur la région d'El Hamma (303 mm), non loin du bassin à quelque vingt kilomètres plus au Sud.

Si la zone de pluviométrie supérieure à 250 mm est assez réduite, il n'en reste pas moins vrai que des pluies importantes intéressent un territoire assez vaste, puisque, à 80 kilomètres de l'épicentre, Maknassy reçoit 196 mm (cf. BOURGES, BOUZAIANE, 1974). Les isohyètes de cet épisode pluvieux sont représentés sur la figure 5.9.

5.8.2 - Les précipitations sur les bassins de l'oued Zita

Sur les bassins versants, la pluie débute le 12 décembre vers 1 h 40 du matin par une pluie de faible intensité (moins de 10 mm/h). Les averses se suivent alors, interrompues par des périodes d'accalmie jusqu'à 7 h 45 du matin où se déclenche une forte averse, qui va déverser sur les bassins plus de 90 mm en 1 h 30, avec une intensité maximale en 5 minutes voisine de 106 mm/h. Puis s'établit une période de calme qui se termine vers 14 h 45 par une pluie moyenne, suivie à peu près une heure plus tard par une seconde averse plus importante encore que la première. Cette deuxième grande averse comporte plusieurs pointes d'intensité, qui vont précipiter entre 15 h 45 et 19 heures plus de 140 mm avec une intensité maximale de 150 mm/h en 5'.

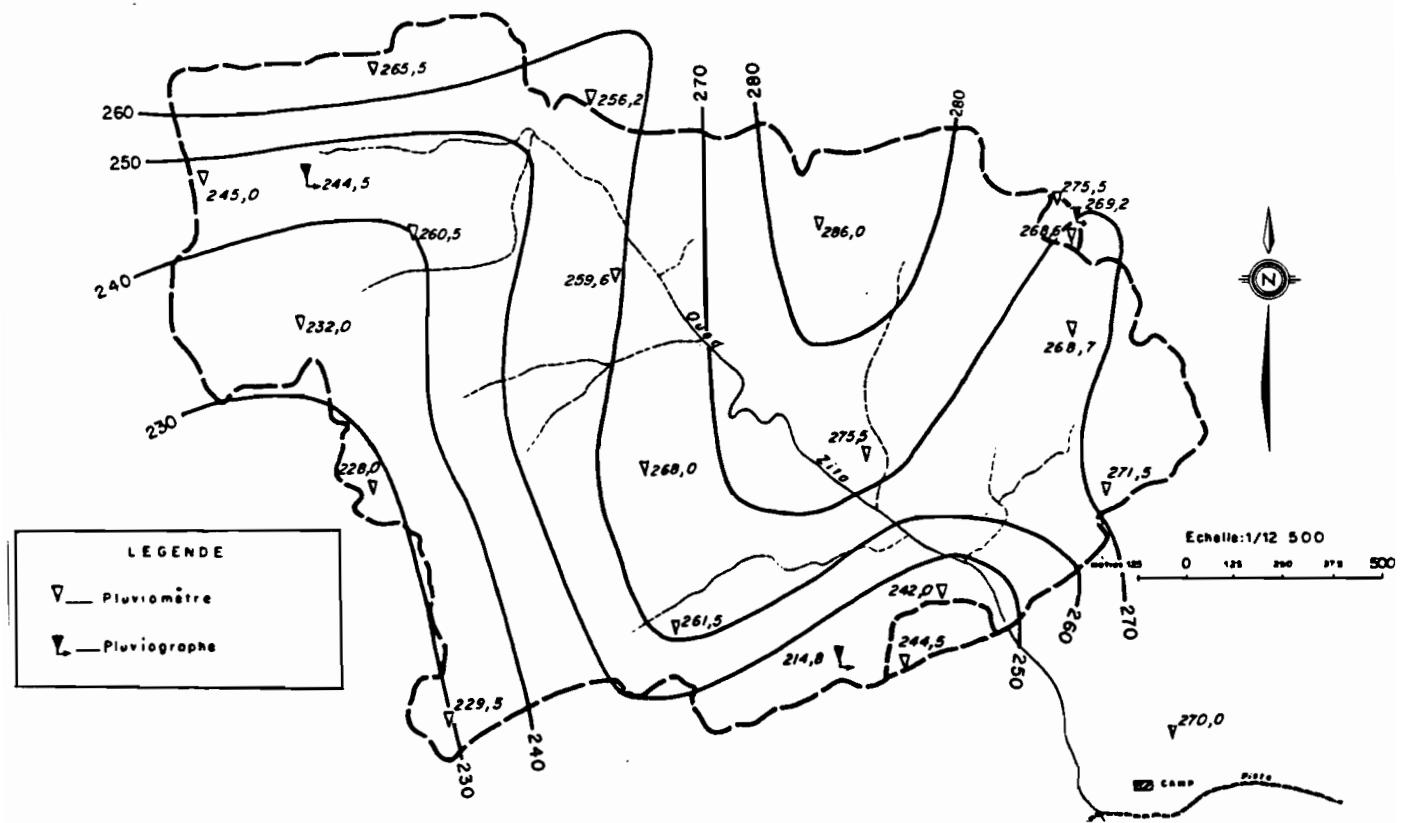


Fig-5-8 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA PLUIES DU 12 DECEMBRE 1973 ISOHYETES

Donc pour cette seule journée du 12 décembre, entre 1 h 40 et 22 h 00, les postes pluviométriques des bassins vont enregistrer des totaux allant de 228 mm à 286 mm (fig.5.8).

La partie Nord-Est paraît favorisée malgré un relief assez mou opposé aux vents dominants. Sur le même type de relief, les postes de l'ouest n'enregistrent que 228 et 229 mm. La frange montagneuse limitant le bassin au Sud-Ouest (couches supérieures de l'anticlinal redressées à la verticale) semble défavoriser les pluviomètres situés dans cette zone.

Cette particularité peut s'expliquer par l'action des vents en provenance du Nord-Est qui, venant buter sur cette barrière rocheuse, créent des courants ascendants. Les pluviomètres étant implantés sur des sommets, ces courants refoulent les gouttes d'eau et diminuent sensiblement la pluviométrie mesurée.

"A ce phénomène, il faut superposer l'effet des turbulences produites par l'écoulement de l'air autour du profil du pluviomètre ou du pluviographe, fonction des dimensions de cet obstacle. Ainsi le PG 24, situé sur un des pitons rocheux dominant le bassin, malgré un calage rigoureux (avant et après les pluies) ne reçoit que 214 mm, alors que le pluviomètre P 19, moins volumineux et mieux profilé, jouissant d'une exposition identique à 150 mètres seulement reçoit 244 mm. Si dans ce cas la différence entre les deux totaux est de 14 %, il est difficile d'en déduire une estimation sur l'erreur due à l'action conjuguée des courants ascendants et des turbulences sur les différents profils. Nous nous bornerons à considérer les valeurs relevées aux pluviomètres comme aussi représentatives dans cette partie du bassin que dans les secteurs à reliefs très faibles" (BOURGES, BOUZAIAANE, 1974).

Hormis la position particulière de ces quelques postes, les autres, s'ils ne bénéficient pas de courants ascendants ou rabattants, n'en sont pas moins soumis à l'action des vents violents qui accompagnent souvent les fortes précipitations.

Les turbulences sont alors produites par les vents latéraux qui perturbent la trajectoire des gouttes d'eau au-dessus de l'entonnoir de réception. De façon à déterminer l'importance de cette erreur, il a été mis en place à la station météorologique du Telmam, trois pluviomètres type Association respectivement au sol, à 1,50 et à 3,0 m du sol.

Ce dernier pluviomètre, protégé des vents et mis au centre d'un dispositif spécial à mailles, 20 cm x 20 cm, est posé dans une fosse.

Pour la totalité de cet épisode pluvieux, il a été relevé 254 et 253 mm, respectivement aux pluviomètre à 3,0 m et au pluviomètre à 1,50 m, et 281 mm au pluviomètre au sol (cf. 3.7.4).

L'erreur de mesure propre au pluviomètre implanté dans les conditions standard est dans ce cas de 11 %.

Sur l'ensemble du bassin de l'oued Zita, la pluviométrie du 12 décembre 1973 semble assez homogène. Nous relevons un maximum de 286,0 mm au P 12 et un minimum de 228,0 mm au P4. La pluie moyenne pour cette journée du 12 est de 256,5 mm.

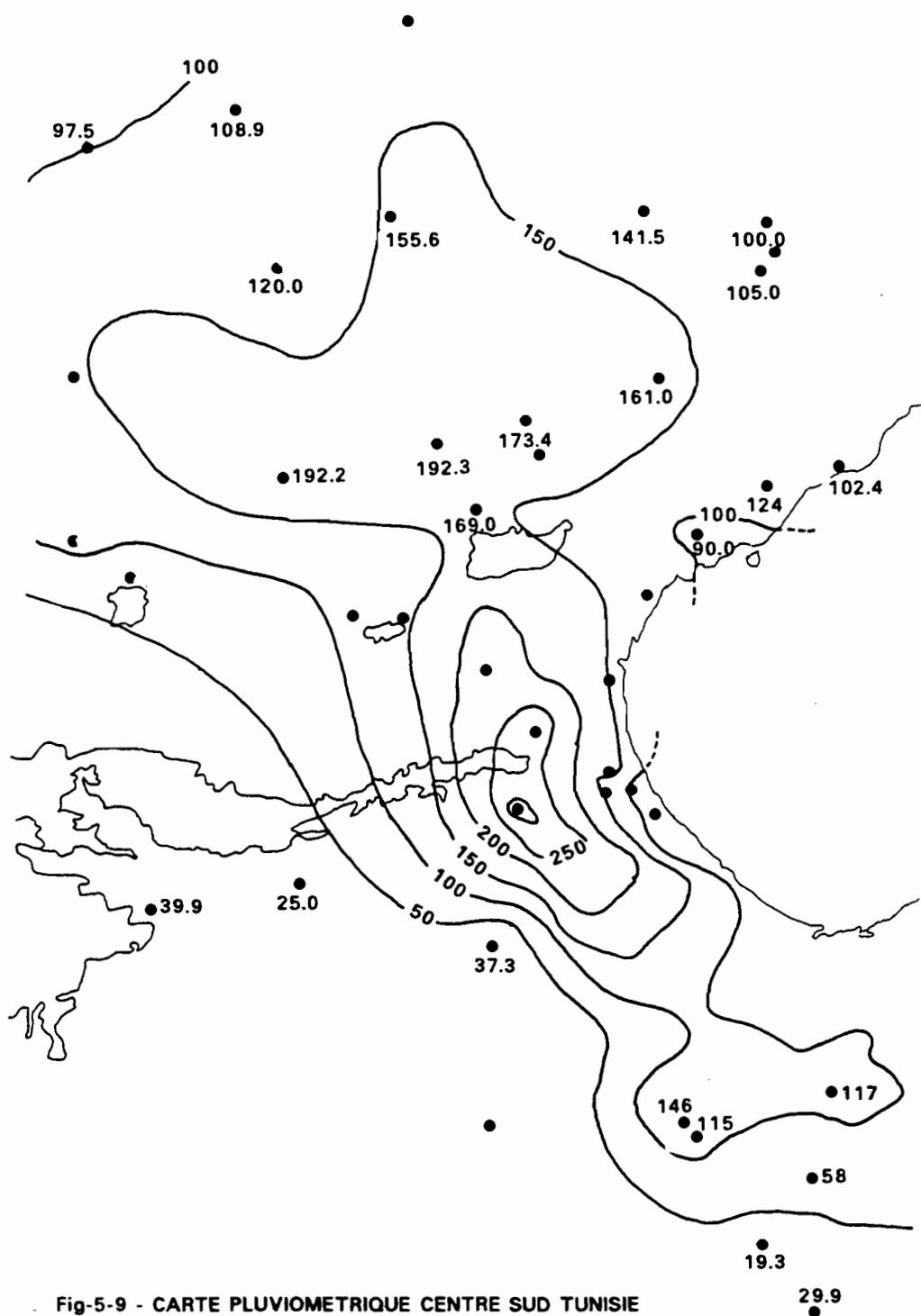


Fig-5-9 - CARTE PLUVIOMETRIQUE CENTRE SUD TUNISIE
(PLUIE DU 12 et 13 DECEMBRE 1973)

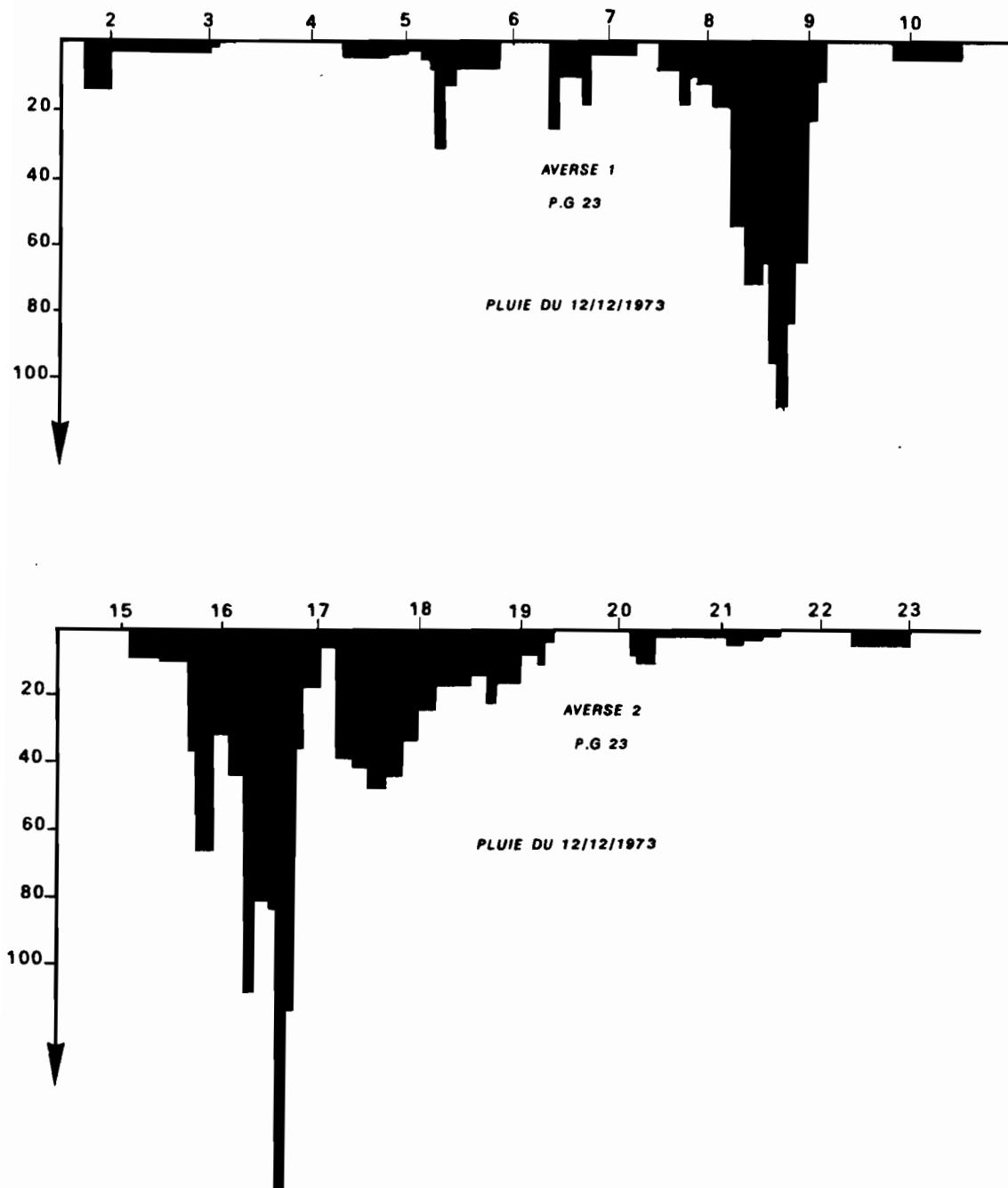


Fig-5-10 - LES AVERSES EXCEPTIONNELLES OBSERVEES AU P.G 23

PLANCHE N°6



Vue de la combe à l'intérieur de l'anticlinal en amont du bassin versant
(Les séries marno calcaires du jurassique inférieur et les sédiments limono gypseux entaillés par l'érosion)



Une escargotière néolithique à l'intérieur de la combe
(Touffe d'*Artemisia herba alba*)



Une vieille jachere sur sol limono gypseux à l'amont du bassin



Les formations naturelles sur sol surpaturé gypseux
à l'amont du bassin
(*Lygeum spartum* *Astragalus armatus* et *Arthrophytum scoparium*)



Vue du bassin supérieur de l'oued zita dans les marnes gypseuses
néocomiennes(facies weald) A l'horizon la corniche dolomitique du Turonien

CHAPITRE 6

ANALYSE DU RUISELLEMENT ET ETUDE DES APPORTS

6.1 - GENERALITES

Dans le cas des bassins qui nous préoccupent, la présence de petites nappes très localisées, entretient un faible, voire très faible débit lors des séquences pluvieuses, et ce, pendant quelques dizaines d'heures seulement. C'est pourquoi, nous estimons que la lame ruisselée est assimilable à la lame écoulée, tellement le débit de base est faible et temporel. Notons cependant que, dans certaines zones du bassin, les bancs de gypse, au pendage subvertical, restituent aux petits oueds et assez vite, l'eau météorique qui transite par les inter-bancs .

En dehors des crues, on ne remarque pas d'écoulement de base. Notons cependant que, lors de la crue de 1973, un écoulement s'est poursuivi pendant 2 mois (débit très faible bien sûr) à la station principale.

Le déficit d'écoulement (DE) est fonction de facteurs propres au bassin et d'autres au climat. Rappelons que ce déficit correspond soit à la fraction de l'averse qui s'infiltre (humectation de la surface du sol, infiltration dans les fissures des roches ou dans les diaclases, etc.), soit à celle qui s'évapore directement à la surface du sol ou indirectement par évapotranspiration (sur les bassins de l'oued Zita en raison du faible "recouvrement végétal" l'évapotranspiration est réduite au minimum), soit encore dans les zones endoréiques des bassins, les petites mares ou les flaques.

Parmi les facteurs propres au bassin, on mentionnera principalement :

- le relief du bassin, la densité du réseau hydrographique et la distribution des pentes,
- la nature du sol et du sous-sol, avec la présence de nombreux affleurements de bancs de gypse à pendages subverticaux, souvent très diaclasés.

Quant aux facteurs propres au climat, ils concernent surtout les caractéristiques de la pluie, les hauteurs d'averses, les valeurs et distributions des intensités au cours des averses et leur répartition spatiale sur le bassin et, dans les cas les plus favorables, l'état préalable d'humectation du sol.

Le rôle des sols des bassins est un peu secondaire dans la mesure où il n'y a pas de couvert végétal dense, susceptible de freiner le ruissellement et de le retarder au profit de l'infiltration dans la partie superficielle.

Cependant, en certains points du bassin, l'absence de végétation est plutôt un facteur favorable à l'établissement d'organisation pelliculaire de surface (type pellicule de battance) donc, en fait, un facteur favorable au ruissellement.

En résumé, pour une averse de hauteur donnée P_m , la lame ruisselée H_R est une fonction complexe de différents facteurs, les uns fixes les autres variables, relatifs à la configuration du bassin, à ses caractéristiques propres, à l'état de saturation préalable du terrain (cas des petits bassins lors des séquences pluvieuses rapprochées ou de précipitations multiples au cours de la journée...) et aux caractéristiques principales de l'averse.

L'analyse ne pouvant prendre en compte l'intégralité de ces facteurs, dont un certain nombre ne peut être ni mesuré ni représenté par un indice simple, nous nous en tiendrons aux facteurs principaux.

Nous nous proposons dans ce chapitre d'étudier la hauteur d'eau de la lame ruisselée HR en fonction des principaux facteurs qui conditionnent le ruissellement.

Dans un premier temps, nous avons consigné dans les tableaux 6.1 à 6.5, l'ensemble des caractéristiques des crues des cinq bassins de l'oued Zita. Ces tableaux comportent pour chaque crue étudiée les données suivantes :

1ère colonne : numéro de la crue, de 1 à N pour l'ensemble de la période d'observation et par bassin

2ème colonne : date de la crue

3ème colonne : P_m = pluie moyenne sur l'ensemble du bassin et exprimée en mm.

4ème colonne : P_{max} = hauteur de la pluie maximale ponctuelle observée au cours de l'averse.

5ème colonne : P_u = hauteur utile ou corps de l'averse exprimée en mm. La pluie est définie, sur le bassin du Zita 1, comme la somme des tranches de l'averse qui ont une intensité supérieure à un seuil au-dessous duquel on considère que la pluie ne ruisselle pas. Cette valeur du seuil est évidemment variable en fonction du temps. Forte au début de l'averse sur un sol sec, elle peut diminuer au cours de la journée dans le cas d'averses multiples, et on a pu constater que les pluies de très faible intensité pouvaient être à l'origine de ruissellement. Nous avons retenu une valeur moyenne de 2,5 mm/h pour le bassin principal. La détermination de la hauteur de pluie utile correspondant à chaque averse a été faite sur le hyéogramme relatif à la pluie moyenne sur le bassin versant, et obtenu en multipliant les intensités observées par le facteur

$$K = \frac{P_m}{P_g}$$

défini plus haut (3ème colonne). Rappelons en effet que nous n'avons pas composé de hyéogramme moyen pour le bassin du Zita I, partant du principe que sa constitution modulait beaucoup trop les fortes intensités qui sont avant tout, et spécialement sur les bassins du Sud tunisien, génératrices de ruissellement. Nous prenons pour l'ensemble de l'étude, comme pluviographe de référence, celui des trois dont le total de l'averse se rapproche le plus de la pluie moyenne sur le bassin et nous calculons, pour chacune des averses, un coefficient correcteur applicable aux intensités et à la pluie utile. Ce coefficient correcteur est donné dans la 3ème colonne des tableaux caractéristiques - exception faite cependant pour l'averse du 13 décembre 1973 où un hyéogramme moyen a été défini.

6ème colonne : I_{max} = intensité de l'averse en 5' corrigée par le coefficient correcteur P_m/P_g .

7ème colonne : $I_{15'}$ = intensité de l'averse en 15 minutes corrigée également par le coefficient correcteur P_m/P_g .

8ème colonne : V_R = volume ruisselé en m^3 , qui comprend le ruissellement pur et le ruissellement retardé assimilé le plus souvent au volume total de la crue.

9ème colonne : H_R = valeur de la lame ruisselée (en mm).

10ème colonne : K_R = coefficient de ruissellement moyen de la crue : rapport de la lame ruisselée à la pluie moyenne

$$K_R = \frac{H_R}{P_m} \cdot 100 \text{ en \%}$$

11ème colonne : K_{RU} = coefficient de ruissellement utile, rapport de la lame ruisselée au cours de la pluie

$$K_{RU} = \frac{H_R}{P_u} \cdot 100 \text{ en \%}$$

12ème colonne : DE = déficit d'écoulement égal à $P_m - H_R$

13ème colonne : C_{am} : capacité moyenne d'absorption du sol (en mm/h) obtenue en reportant la valeur de la lame ruisselée sur la pointe du hyéogramme correspondant.

14ème colonne : Q_x = débit maximum instantané de la crue (en m^3/s ou I/s).

15ème colonne : q_x = débit spécifique maximal de la crue (en I/s par km^2).

16ème colonne : T_m = temps de montée de la crue (durée de la partie ascendante) en minutes.

17ème colonne : T_b = temps de base de la crue (durée totale de la crue exprimée en minutes).

18ème colonne : P_a : pluie antérieure ayant généré un ruissellement même partiel sur le bassin.

19ème colonne : t_a = temps antérieur, séparant l'averse étudiée de l'averse précédent immédiatement et génératrice de ruissellement (exprimée en jours, heures et minutes.)

Certains de ces événements liés averse-crue, parmi les plus représentatifs, ont été dessiné et les graphiques correspondant sont présentés en annexe du présent rapport.

Nous passerons en revue successivement les tableaux du Zita I au Zita V et nous essaierons d'en tirer quelques enseignements d'ordre général sur les événements liés averse-crue.

Tableau 6.1 - ZITA I - CARACTERISTIQUES DES CRUES SUR LA PERIODE 1972-79

No cruze	Date	P moy.	P Max.	P _u	15'	115'	V _r	H _r	K _r %	K _{ru} %	D	C _{am}	Q _x	q _x	T _m	T _b	P _a	T _a
		mm	mm	mm	mm/h	mm/h	m ³	mm	mm	mm	mm	mm/h	m ³ /s	1/s.km ²	mm	mm	mm	j
1	7.10.72	11,1	14,6	9,4	56,3	27,3	1320	0,41	3,7	4,4	10,7	66,0	0,69	216	24	78	9,5	8j
2	4.12.72	13,9	17,4	13,9	43,0	20,4	3630	1,13	8,1	8,1	12,8	48,0	1,80	563	33	83	4,0	3j
3	5.12.72	4,0	5,0	4,0	4,3	4,3	380	0,12	3,0	3,0	3,9	3,9	0,18	56	12	65	13,9	10b
4	5.12.72	8,5	10,7	8,5	26,9	20,4	7870	2,46	28,9	28,9	6,0	14,0	5,84	1.825	18	60	4,0	3b20
5	30.12.72	13,3	16,8	12,8	68,5	36,2	15000	4,69	35,3	36,6	8,6	19,0	10,10	3.156	11	65	7,4	3j
6	26.03.73	7,4	8,6	7,4	23,0	22,0	710	0,22	3,0	3,0	7,2	21,0	0,25	78	6	99	1,3	4j
7	26.03.73	4,4	5,1	4,3	19,8	12,9	1670	0,52	11,8	12,1	3,9	19,0	0,43	134	42	112	1,0	1h20
8	4.12.73	11,5	14,8	7,0	6,1	6,1	325	0,10	0,9	1,4	11,4	6,0	0,11	34	11	60	1,0	14j
9	4.12.73	6,4	8,3	6,4	10,8	10,2	935	0,29	4,5	4,5	6,1	10,2	0,26	81	12	120	11,5	1h18
10	12.12.73	98,6	109,9	97,0	150,0	88,0	245400	76,69	77,8	79,1	21,9	4,5	84,00	26.250	40	90	33,3	7j
11	12.12.73	157,9	176,1	157,0	150,0	92,0	493200	154,13	97,6	98,2	3,8	0,0	131,00	40.938	64	260	98,6	3b
12	26.02.74	18,7	21,5	11,4	11,6	11,1	1650	0,52	2,8	4,6	18,2	11,0	1,16	362	9	73	13,4	2j
13	11.09.74	13,0	20,0	12,0	15,0	9,0	234	0,07	0,5	0,6	12,9	32,0	0,13	39	5	40	2,7	82j
14	22.09.74	12,1	14,0	7,4	30,0	16,5	1624	0,51	4,2	6,9	11,6	24,0	0,83	259	17	120	13,0	9j
15	29.09.74	7,8	12,2	3,4	9,4	8,2	57	0,02	0,3	0,6	7,8	9,3	0,03	9	20	65	12,1	7j
16	15.10.74	16,4	21,0	16,4	92,9	51,0	25279	7,90	48,2	48,2	8,5	28,5	18,50	5.781	15	70	2,8	4j
17	6.03.75	27,8	32,6	27,6	34,8	29,1	14628	4,57	16,4	16,6	23,2	15,5	7,33	2.291	16	90	10,8	15j
18	22.03.75	20,8	22,2	19,8	12,0	11,2	549	0,17	0,8	0,9	20,6	10,5	0,24	74	18	180	29,3	14j
19	18.06.75	17,0	26,4	17,0	130,0	68,0	44784	14,00	82,4	82,4	3,0	12,0	34,40	10.750	14	66	1,8	2j
20	9.01.76	8,4	9,3	8,4	31,6	21,0	4932	1,54	18,3	18,3	6,9	14,0	2,25	703	17	85	3,8	15j
21	9.01.76	3,7	4,1	3,7	10,1	9,7	804	0,25	6,8	6,8	3,5	8,0	0,56	175	11	27	7,6	40'
22	9.01.76	4,2	4,7	4,2	21,4	16,8	5124	1,60	38,1	38,1	2,6	4,5	2,86	894	22	65	3,7	27
23	9.01.76	2,2	2,7	2,2	21,2	8,7	4404	1,38	62,7	62,7	0,8	5,0	1,66	519	18	70	4,2	42'
24	9.01.76	10,2	11,3	9,8	38,0	18,6	13800	4,31	42,3	44,0	5,9	6,0	5,42	1.694	33	140	1,8	25'
25	14.01.76	15,2	17,9	13,9	17,1	11,0	8004	2,50	16,4	18,0	12,7	5,0	1,84	575	70	215	3,2	4j
26	14.01.76	13,8	16,2	12,3	11,0	8,6	15985	5,00	36,2	40,7	8,8	4,0	2,81	878	45	240	1,8	20'
27	27.01.76	14,2	16,3	9,3	10,5	10,0	382	0,12	0,8	1,3	14,1	9,5	0,02	7	43	480	13,8	13j
28	25.02.76	9,7	11,3	9,7	30,7	19,6	10680	3,34	34,4	34,4	6,4	9,0	4,40	1.375	34	108	1,4	12j
29	26.02.76	2,0	2,3	2,0	9,8	7,3	1146	0,36	18,0	18,0	1,6	6,0	0,32	100	18	90	9,7	430
30	26.02.76	2,6	3,0	2,6	22,1	10,2	4194	1,31	50,4	50,4	1,3	8,5	0,68	213	17	124	1,0	1h20
31	26.02.76	9,2	10,7	8,2	17,2	14,3	12798	4,00	43,5	48,8	5,2	2,0	4,40	1.375	29	93	1,0	2h20
32	27.02.76	6,6	7,7	6,6	30,7	20,0	13740	4,29	65,0	65,0	2,3	3,5	5,55	1.734	27	120	9,2	10h20
33	10.03.76	3,0	6,3	3,0	15,7	10,9	379	0,12	4,0	4,0	2,9	15,5	0,19	59	43	113	2,3	3b
34	10.03.76	4,2	8,9	3,4	20,3	10,1	662	0,21	5,0	6,2	4,0	19,5	0,13	40	23	164	3,2	5h30
35	26.03.76	8,1	9,4	7,7	14,4	10,8	2280	0,71	8,8	9,2	7,4	9,0	0,95	297	38	76	2,7	30'
36	26.03.76	3,1	3,4	2,3	15,6	9,2	2202	0,69	22,3	30,0	2,4	7,0	0,70	219	22	80	8,1	20'
37	27.03.76	8,1	9,4	7,7	21,6	11,6	5710	1,78	22,0	23,1	6,3	9,0	1,10	344	43	140	3,1	1h30
38	15.05.76	4,9	8,6	4,4	48,9	18,1	93	0,03	0,6	0,7	4,9	48,0	0,09	29	9	55	2,7	10j
39	8.09.76	7,4	18,0	7,4	18,8	11,5	246	0,08	1,1	1,1	7,3	17,8	0,21	64	12	46	2,6	93j
40	15.02.77	11,4	21,0	10,3	47,2	33,9	8540	2,67	23,4	25,9	8,7	23,5	6,05	1.891	20	80	2,0	54b
41	26.09.77	5,0	5,8	5,0	21,7	18,4	1210	0,38	7,6	7,6	4,6	17,5	0,34	106	9	145	3,0	1h
42	17.10.77	19,7	23,7	18,1	72,7	61,0	22984	7,18	36,4	39,7	12,5	40,5	9,03	2.822	16	43	17,6	20j
43	24.11.77	12,9	14,0	12,5	82,8	51,8	25142	7,86	60,9	62,9	5,0	19,0	21,70	6.781	20	70	19,7	37j
44	25.11.77	18,3	19,9	18,0	32,4	18,6	4908	1,53	8,4	8,5	16,8	14,0	1,86	581	36	165	1,0	4b
45	16.01.78	20,2	21,2	9,3	3,7	3,7	709	0,22	1,1	2,4	20,0	3,5	0,06	18	25	75	4,7	3j
46	13.02.78	9,4	10,8	9,0	27,1	20,1	2301	0,72	7,7	8,0	8,7	12,5	2,33	728	27	70	1,0	10j
47	3.10.78	8,3	8,5	4,5	50,0	18,0	1034	0,32	3,9	7,1	8,0	46,0	0,98	306	12	53	3,0	4j
48	16.10.78	2,5	3,0	2,5	13,2	10,0	91	0,03	1,2	1,2	2,5	10,0	0,07	21	15	112	8,3	13j
49	9.11.78	4,7	6,0	4,5	30,0	14,0	182	0,06	1,3	1,3	4,6	29,0	0,15	46	17	100	13,6	8j
50	4.03.79	12,5	14,0	7,5	7,2	6,8	33	0,01	0,1	0,1	12,5	7,0	0,08	23	100	250	1,5	7j
51	4.03.79	19,0	22,0	12,1	10,8	10,8	1078	0,34	1,8	2,8	18,7	9,5	0,32	100	37	104	1,0	1h30
52	9.09.79	3,3	4,0	3,0	12,8	11,8	176	0,06	1,8	2,0	3,2	14,5	0,25	77	10	45	12,0	7j
53	9.09.79	9,0	11,0	8,5	42,3	31,4	3488	1,09	12,1	12,8	7,9	38,0	2,22	694	7	52	3,3	1b
54	25.10.79	6,0	6,5	6,0	60,9	24,0	1557	0,49	8,2	8,2	5,5	60,0	1,20	375	17	75	2,0	25j
55	11.02.80	6,3	6,5	5,8	24,4	17,8	997	0,31	4,9	5,3	6,0	22,0	0,54	168	11	51	7,6	12j
56	26.02.80	4,7	5,9	2,5	9,7	4,9	577	0,18	3,8	7,2	4,5	9,0	0,12	36	11	235	2,0	5b
57	5.03.80	15,5	16,0	10,0	7,2	6,8	783	0,24	1,5	2,4	15,3	6,0	0,31	97	17	123	4,7	7j
58	5.03.80	4,0	4,7	3,0	25,2	13,2	3038	0,95	23,8	31,7	3,1	14,0	1,31	409	18	110	15,5	10b
59	18.05.80	12,5	14,0	12,0	52,5	34,5	3647	1,14	9,1	9,5	11,4	39,5	2,85	891	13	80	1,0	28j

Tableau 6.2 - ZITA II - CARACTERISTIQUES DES CRUES SUR LA PERIODE 1973-78

No cruze	Date	P moy.	P Max.	Pu	15'	115'	Vr	Hr	Kr %	Kru %	D	Cam	Qx	qx	Tm	Tb	Pa	Ta
		mm	mm	mm	mm/h	mm/h	m3	mm	mm	mm	mm	mm/h	m3/s	l/s.km2	mm	mm	mm	J
1	4.12.73	6,2	6,4	6,2	5,0	4,4	4,4	0,31	5,0	5,0	5,9		2,1	149	32	70	9,3	14j
2	4.12.73	12,4	12,7	12,4	6,6	6,6	36,9	2,62	21,1	9,8		1,8	128	33	83	4,0	3j	
3	4.12.73	6,9	7,1	6,9	11,6	11,0	30,9	2,19	31,7	31,7	4,7	5,0	12,5	887	16	70	12,4	136'
4	4.12.73	2,1	2,2	2,1	5,0	5,0	5,6	0,39	18,6	18,6	1,7	4,5	3,7	262	19	60	6,9	131'
5	12.12.73	19,9	20,1	19,9	30,0	17,2	210,0	14,89	74,8	74,8	5,0	2,0	77,0	5,461	16	35	6,6	1b59
6	12.12.73	67,6	68,4	67,6	109,0	97,1	924,0	65,53	96,9	96,9	2,1	2,0	530,0	37,589	65	110	19,9	31'
7	12.12.73	6,3	6,4	6,3	10,0	10,0	46,0	3,26	51,7	51,7	3,0	1,8	32,0	2,270	22	75	67,6	40'
8	12.12.73	97,4	98,5	97,4	170,0	123,0	1.290,0	91,49	93,9	93,9	5,9	2,3	712,0	50,496	70	110	6,3	10'
9	12.12.73	56,4	57,1	56,4	60,7	48,0	626,0	44,40	78,7	78,7	12,0		210,0	14,894	35	130	97,4	13'
10	14.12.73	5,7	5,8	1,0	2,5	2,9	2,5	0,18	3,2	18,0	5,5	2,5	0,8	53	38	124	1,5	26b30
11	22.02.74	9,9	10,6	8,9	16,0	15,1	4,7	0,34	3,4	3,8	9,6	13,5	9,5	674	4	25	5,7	70j
12	22.02.74	5,5	5,9	5,0	8,0	8,0	8,8	0,62	11,3	12,4	4,9	6,5	7,0	496	15	60	9,9	5b
13	26.02.74	21,3	21,5	13,9	14,0	13,4	68,0	4,82	22,6	34,7	16,5	6,0	37,8	2,681	22	110	5,5	49H
14	4.03.74	10,7	11,0	6,5	8,1	8,1	9,1	0,65	6,1	10,0	10,1	6,5	6,9	486	6	70	21,3	192b
15	12.03.74	7,8	8,0	4,0	11,2	10,6	12,3	0,87	11,2	21,8	6,9	6,5	11,0	780	7	62	10,7	8j
16	11.09.74	11,4	12,0	11,0	30,0	20,0	20,6	1,46	12,8	13,3	9,9	28,5	27,4	1,943	12	46	7,1	130j
17	22.09.74	12,7	12,8	10,4	29,1	26,8	42,9	3,04	23,9	29,2	9,7	13,5	62,0	4,397	6	50	11,4	11j
18	29.09.74	9,7	10,0	8,0	36,0	18,0	17,5	1,24	12,8	15,5	8,5	21,0	22,0	1,560	8	47	12,7	185b
19	15.10.74	12,1	12,5	12,1	67,0	37,2	110,2	7,82	64,6	64,6	4,3	10,0	270,0	19,149	6	35	9,7	16j
20	4.02.75	9,1	9,6	4,0	6,0	4,4	0,6	0,05	0,5	1,3	9,1		0,7	48			12,1	111j
21	11.02.75	5,5	5,7	2,0	4,8	4,4	0,1	0,01	0,2	0,5	5,5		0,3	21			9,1	167b
22	18.02.75	4,6	4,9	4,6	4,1	4,0	3,1	0,22	4,8	4,8	4,4	3,0	1,9	135	28	50	5,5	172b
23	18.02.75	9,7	10,4	6,3	4,1	3,6	4,7	0,33	3,4	5,2	9,4	3,0	0,8	57	12	60	4,6	50'
24	6.03.75	24,9	26,5	23,0	38,4	38,0	116,1	8,23	33,1	35,8	16,7	8,5	148,0	10,496	7	35	9,7	15j20'
25	22.03.75	20,8	21,2	20,8	13,0	11,4	41,1	2,91	14,0	14,0	17,9	6,0	13,2	936	26	125	24,0	15j07b
26	6.05.75	4,4	4,7	4,4	20,0	15,0	6,8	0,48	10,9	10,9	3,9	17,0	7,4	525	4	38	7,7	24j
27	18.06.75	15,0	15,3	15,0	132,0	47,5	144,0	10,21	68,1	68,1	4,8	29,5	215,0	15,248	5	42	4,4	42j
28	4.11.75	6,0	6,0	4,4	10,5	7,8	6,5	0,46	7,7	10,5	5,5	6,0	3,6	255	20	50	5,0	179b
29	4.11.75	2,7	2,7	2,7	14,4	10,0	25,2	1,79	66,3	66,3	0,9	4,5	16,8	1,191	9	45	6,0	181j0'
30	5.11.75	2,4	2,7	1,7	12,0	9,0	13,6	0,96	40,0	56,5	1,4	18,5	17,9	1,270	6	40	19,1	34b
31	9.01.76	7,0	7,1	7,0	11,1	8,8	4,3	0,31	4,4	4,4	6,7	8,0	3,8	270	10	50	2,5	64j
32	9.01.76	1,7	1,7	1,7	14,0	7,0	3,4	0,24	14,1	14,1	1,5	11,0	2,6	184	9	35	7,0	220'
33	9.01.76	9,3	9,4	9,3	35,0	23,3	63,9	4,53	48,7	48,7	4,8	9,5	60,8	4,312	9	60	1,7	70'
34	9.01.76	4,1	4,1	4,1	11,1	10,7	25,2	1,79	43,7	43,7	2,3	4,5	20,2	1,433	11	50	9,3	18'
35	9.01.76	4,7	4,8	4,7	48,9	18,6	38,1	2,70	57,4	57,4	2,0	17,5	63,0	4,468	5	35	4,1	24'
36	9.01.76	2,9	3,0	2,9	35,0	11,6	17,4	1,23	42,4	42,4	1,7	20,0	29,4	2,085	10	30	4,7	48'
37	9.01.76	4,2	4,3	4,2	10,0	7,3	24,9	1,77	42,1	42,1	2,4	3,5	13,5	957	15	50	2,9	50j20'
38	9.01.76	5,8	5,9	5,8	24,0	10,4	54,0	3,83	66,0	66,0	2,0	2,5	61,0	4,326	7	38	4,3	3'
39	8.09.76	2,9	3,0	2,9	7,0	4,7	15,6	1,11	38,3	38,3	1,8	2,5	3,3	234	20	80	2,9	<10'
40	14.01.76	16,3	17,9	15,6	10,8	9,9	42,3	3,00	18,4	19,2	13,3	3,5	28,2	2,000	29	70	2,5	104b
41	14.01.76	12,9	14,1	12,3	9,4	8,1	44,1	3,13	24,3	25,4	9,8	3,0	31,4	2,227	15	65	14,5	37j
42	27.01.76	13,4	14,5	8,8	9,9	9,5	22,4	1,59	11,9	18,1	11,8	5,5	13,3	943	5	60	11,5	12j
43	25.02.76	10,6	10,7	10,6	33,4	21,4	82,8	5,87	55,4	55,4	4,7	4,5	52,0	3,688	15	60	7,3	17j
44	25.02.76	2,3	2,3	2,2	8,0	8,0	5,4	0,38	16,5	17,3	1,9	7,0	2,8	199	12	40	9,5	5b
45	26.02.76	2,8	2,9	2,8	24,0	11,1	17,4	1,23	43,9	43,9	1,6	9,0	25,0	1,773	6	36	2,0	4b
46	26.02.76	9,9	10,1	8,9	18,7	15,6	31,7	2,25	27,7	25,3	7,7	6,5	11,5	816	35	120	2,5	5b
47	26.02.76	2,8	2,9	2,8	6,7	5,8	11,3	0,80	28,6	28,6	2,0	4,5	5,3	376	28	75	9,0	10b
48	26.02.76	2,8	2,8	2,8	13,4	6,7	9,1	0,65	23,2	23,2	2,2	5,0	2,7	191	22	100	2,5	1b40*
49	27.02.76	7,2	7,3	7,2	33,4	21,8	60,9	4,32	60,0	60,0	2,9	5,5	63,0	4,468	8	65	7b	
50	27.02.76	1,1	1,1	1,1	2,7	2,3	3,4	0,24	21,8	21,8	0,9	2,2	1,3	92	15	55	6,5	11b
51	10.03.76	2,3	2,3	2,3	13,9	8,3	4,4	0,31	13,5	13,5	2,0	11,0	6,8	482	16	60	6,5	11j
52	10.03.76	2,9	2,9	2,9	20,9	10,7	16,4	1,16	40,0	40,0	1,7	8,5	9,7	688	9	80	2,3	6b
53	26.03.76	10,6	11,9	8,1	25,4	16,4	27,8	1,97	18,6	24,3	8,6	9,0	30,7	2,177	15	65	11,1	15j
54	26.03.76	2,5	2,8	2,5	22,4	8,9	10,1	0,72	28,8	28,8	1,8	13,0	6,0	426	6	40	10,6	80'
55	27.03.76	9,3	10,4	8,1	14,9	8,0	16,3	1,16	12,5	14,3	8,1	5,0	5,0	355	27	120	2,5	100'
56	8.09.77	10,0	11,2	9,4	24,0	14,5	3,3	0,23	2,3	2,4	9,8	21,0	9,2	652	3	35	5,7	116j
57	13.02.77	13,5	15,6	8,6	6,9	3,9	1,8	0,13	1,0	1,5	13,4	7,1	2,3	163	10	45	6,8	37j
58	15.02.77	9,2	9,4	8,2	38,0	27,4	65,4	4,64	50,4	56,6	4,6	7,5	102,0	7,234	12	35	8,6	32b
59	26.09.77	15,7	16,2	11,7	24,2	13,4	8,5	0,60	3,8	5,1	15,1	16,5	17,5	1,241	12	35	5,7	116j
60	17.10.77	21,8	22,0	21,1	111,0	76,0	121,3	8,60	39,4	40,8	13,2	42,5	218,0	15,461	5	40	3,6	20j
61	24.11.77	31,4	34,0	28,1	97,2	49,5	158,4	11,23	35,8	40,0	20,2	16	301,0	21,348	6	30	16,5	37j
62	25.11.77	16,0	17,3	9,4	24,0	14,6	20,7	1,47	9,2	15,6	14,5	8,5	21,6	1,532	18	140	12,4	9b
63	13.02.78	28,6	33,1	15,0	25,2	18,7	30,0	2,13	7,4	14,2	26,5		12,5	887	7	125	20,7	27j
64	6.05.78	7,5	8,0	7,4	25,7	12,8	21,0	1,49	19,9	20,1	6,0	9,5	23,1	1,638	6	45	28,6	81j

Tableau 6.3 - ZITA III - CARACTERISTIQUES DES CRUES SUR LA PERIODE 1973-78

No crues	Date	P moy.	P Max.	Pu	15'	115'	Vr	Ilr	Kr %	Kru %	D	Cam	Qx	qx	Tm	Tb	Ps	Ts
		mm	mm	mm	mm/h	mm/h	m3	mm	mm	mm/h	m3/s	1/s.km2	mm	mm	mm	mm	J	
1	4.12.73	33,6	35,5	21,3	10,8	10,3	7,5	0,21	0,6	1,0	33,4	9,5	2,6	74	3	75	8,6	15j
2	12.12.73	19,8	20,3	15,7	43,5	21,8	7,2	0,21	1,1	1,3	19,6	20,5	60,0	1.714	5	45	2,4	1h22'
3	12.12.73	64,7	65,1	64,7	109,0	87,1	1970	56,29	87,0	87,0	8,4	4,5	1.500,0	42.857	57	100	19,8	37'
4	12.12.73	95,1	95,6	94,5	173,0	111,0	3130	89,43	94,0	94,6	5,7	2,0	2.380,0	68.000	67	120	2,4	4h35'
5	12.12.73	55,6	55,9	54,6	50,0	49,5	1160	33,14	59,6	60,7	22,5	11,5	430,0	12.286	24	140	95,1	10'
6	26.12.73	19,8	20,3	15,7	13,1	12,6	8,1	0,23	1,2	1,5	19,6	11,5	4,3	123	16	45	5,5	3j
7	15.10.74	19,4	19,5	17,4	160,0	62,6	263	7,51	38,7	43,2	11,9	70,0	670,0	19.143	4	1.919		
8	6.03.75	25,9	26,8	23,9	49,0	36,7	59,7	1,71	6,6	7,2	24,2	30,5	90,0	2.571	6	33	5,9	15j
9	22.03.75	21,0	21,6	19,9	12,4	11,6	52	1,49	7,1	7,5	19,5	6,5	8,0	229	42	160	25,9	13j
10	18.06.75	24,9	26,4	24,9	220,0	99,6	680	19,43	78,0	78,0	5,5	28,5	2.000,0	57.143	3	18	5,4	42j
11	9.01.76	7,2	8,2	7,2	32,4	20,0	36	1,03	14,3	14,3	6,2	21,0	40,0	1.143	10	44	6,8	5h35'
12	9.01.76	4,2	4,8	4,2	9,0	8,0	6,6	0,19	4,5	4,5	4,0	8,5	8,4	240	9	38	7,2	27'
13	9.01.76	2,1	2,4	2,1	21,6	10,4	21	0,60	28,6	28,6	1,5	18,5	17,0	486	13	57	4,2	4'
14	9.01.76	2,0	2,3	2,0	21,6	8,8	13,2	0,38	19,0	19,0	1,6	17,5	13,2	377	10	43	2,1	48'
15	9.01.76	4,4	5,0	4,2	19,0	9,0	9,6	0,27	6,1	6,4	4,1	9,5	8,3	237	14	39	2,0	3h10'
16	9.01.76	5,2	5,9	5,0	38,4	18,8	93	2,66	51,2	53,2	2,5	8,3	160,0	4.571	18	50	4,4	5'
17	14.01.76	9,1	10,2	8,2	16,8	10,3	31,3	0,89	9,8	10,9	8,2	8,0	9,0	257	64	230	3,2	102b
18	14.01.76	10,4	11,6	9,4	9,0	9,0	26,5	0,76	7,3	8,1	9,6	5,0	9,6	274	30	60	9,1	10'
19	14.01.76	9,2	10,3	8,3	30,0	14,3	48,2	1,38	15,0	16,6	7,8	14,0	15,8	451	17	70	10,4	10'
20	27.01.76	15,7	16,3	12,1	10,0	10,0	13,1	0,37	2,4	3,1	15,3	9,5	1,4	40	89	210	10,4	304b
21	25.02.76	6,0	6,5	6,0	27,6	13,2	18,6	0,53	8,8	8,8	5,5	12,5	20,4	583	23	70	7,2	18j
22	26.02.76	2,2	2,4	2,2	27,6	27,6	3,8	0,11	5,0	5,0	2,1	26,0	2,1	60	11	80	6,0	7h10'
23	26.02.76	1,7	1,8	1,7	15,6	7,2	1,3	0,04	2,4	2,4	1,7	15,0	0,8	23	14	90	2,2	85'
24	26.02.76	12,6	13,7	12,6	22,8	15,6	84	2,40	19,0	19,0	10,2	14,7	85,0	2.429	38	120	1,7	8h47'
25	27.02.76	6,5	7,1	6,5	19,2	17,6	143	4,09	62,9	62,9	2,4	3,0	100,0	2.857	10	50	12,6	58'
26	10.03.76	3,2	4,2	2,8	20,2	14,0	8,6	0,25	7,8	8,9	3,0	18,0	7,7	220	19	80	6,8	11j
27	10.03.76	5,4	6,0	4,3	26,0	13,0	7,9	0,23	4,3	5,3	5,2	23,5	3,4	97	15	100	3,8	7h30'
28	26.03.76	7,3	8,4	6,9	13,0	9,8	25	0,71	9,7	10,3	6,6	7,8	14,8	423	13	58	13,6	15j
29	26.03.76	2,8	3,2	2,1	14,1	8,3	17,2	0,49	17,5	23,3	2,3	8,0	5,4	154	22	80	7,3	20'
30	27.03.76	7,3	8,4	6,9	19,5	10,5	62,4	1,78	24,4	25,8	5,5	5,5	34,2	977	37	140	2,8	50'
31	15.05.76	7,0	7,2	5,6	55,6	20,6	12,8	0,37	5,3	6,6	6,6	51,0	21,2	606	9	45	11,9	9j
32	8.09.76	16,1	18,0	16,1	47,4	35,7	27,4	0,78	4,8	4,8	15,3	37,5	48,0	1.371	7	45		
33	15.02.77	8,3	8,6	7,4	39,8	27,2	51,7	1,48	17,8	20,0	6,8	22,7	37,0	1.057	6	46	19,3	53b
34	26.09.77	16,5	17,1	11,8	24,7	16,1	3,27	0,09	0,5	0,8	16,4	23,0	5,4	154	7	50	7,5	176j
35	17.10.77	18,6	20,3	18,3	73,1	61,4	152,7	4,36	23,4	23,8	14,2	43,5	275,0	7.857	6	35	16,5	20j
36	24.11.77	12,8	13,7	12,8	81,8	51,1	114,3	3,27	25,5	25,5	9,5	40,5	291,0	8.314	3	30	18,6	20j
37	24.11.77	18,1	19,4	18,1	32,0	18,3	35,4	1,01	5,6	5,6	17,1	21,5	49,8	1.423	6	45	12,8	8h48'
38	25.11.77	9,1	9,8	9,1	5,1	4,7	1,9	0,05	0,5	0,5	9,1	1,0	29	25	120	3,2	2b	
39	25.11.77	7,4	18,0	7,4	18,8	11,5	246	7,03	95,0	95,0	0,4	17,8	0,2	6	12	46	2,6	93j
40	13.02.78	10,7	11,1	9,8	9,6	7,0	18,8	0,54	5,0	5,5	10,2	6,0	16,3	466	31	50	20,7	27j
41	13.02.78	14,8	15,4	13,8	9,5	8,8	20,9	0,60	4,1	4,3	14,2	7,0	5,4	154	26	125	10,7	5'
42	6.05.78	7,9	8,0	7,9	36,4	17,0	1,44	0,04	0,5	0,5	7,9	35,5	1,9	54	2	37	4,5	66j

Tableau 6.4 - ZITA IV - CARACTERISTIQUES DES CRUES SUR LA PERIODE 1975-78

No cruze	Date	P moy. mm	P Max. mm	Pu mm	15' mm/h	115' mm/h	Vr m3	Hr mm	Kr %	Kru %	D mm	Cam mm/h	Qx m3/s	qx l/s.km2	Tm mm	Tb mm	Pa mm	Ta j
1	5.11.75	2,3	2,4	2,3	27,6	27,6	0,432	0,03	1,3	1,3	2,3	24,0	0,7	53	5	13	17,8	2j
2	9.01.76	9,2	9,3	9,2	34,7	23,1	25,9	1,95	21,2	21,2	7,3	14,5	55,0	4.135	5	26	17,8	6j
3	9.01.76	4,0	4,1	4,0	11,1	10,6	2,2	0,17	4,3	4,3	3,8	10,0	2,1	158	12	40	9,2	20'
4	9.01.76	4,6	4,7	4,6	48,5	18,5	35,4	2,66	57,8	57,8	1,9	10,5	110,0	8.271	4	20	4,0	27'
5	9.01.76	2,9	2,9	2,9	34,7	11,6	12,2	0,92	31,7	31,7	2,0	23,5	46,5	3.496	3	22	4,6	50'
6	9.01.76	6,0	6,1	6,0	13,8	8,0	1,8	0,14	2,3	2,3	5,9	10,5	2,3	173	23	45	2,9	5b
7	9.01.76	5,9	6,0	5,9	20,0	12,3	35,4	2,66	45,1	45,1	3,2	4,0	67,0	5.038	4	25	6,0	1b
8	14.01.76	15,7	18,7	15,0	12,0	10,0	11,8	0,89	5,7	5,9	14,8	8,0	4,6	346	21	57	11,6	4j
9	14.01.76	7,4	8,8	7,2	11,0	6,9	7,6	0,57	7,7	7,9	6,8	4,5	3,9	293	8	45	14,7	20'
10	14.01.76	5,8	6,9	5,7	15,0	8,0	14,8	1,11	19,1	19,5	4,7	3,5	8,5	639	7	60	7,0	10'
11	25.02.76	9,5	10,5	9,5	30,0	19,2	33	2,48	26,1	26,1	7,0	7,0	60,5	4.549	15	55	6,9	17j
12	25.02.76	2,5	2,8	2,5	21,6	10,0	14	1,05	42,0	42,0	1,5	9,5	9,7	729	8	45	9,5	7h30'
13	26.02.76	11,5	12,7	10,5	16,8	14,0	34,5	2,59	22,5	24,7	8,9	5,5	41,5	3.120	9	60	2,5	40'
14	27.02.76	6,5	7,2	6,5	30,0	19,6	31,5	2,37	36,5	36,5	4,1	11,0	41,0	3.083	5	35	11,5	7h50'
15	10.03.76	2,0	2,3	2,0	12,7	7,6	3,3	0,25	12,5	12,5	1,8	9,0	5,7	429	7	38	8,1	11j
16	10.03.76	2,5	2,9	2,5	19,1	9,8	7,7	0,58	23,2	23,2	1,9	12,0	10,2	767	4	30	2,0	5h40'
17	26.03.76	11,3	12,6	8,7	27,2	17,6	9	0,68	6,0	7,8	10,6	18,5	6,2	466	9	50	10,6	15j
18	26.03.76	2,7	3,0	2,5	24,0	9,6	6,2	0,47	17,4	18,8	2,2	19,5	4,9	368	3	35	11,3	35'
19	27.03.76	10,0	11,2	8,7	16,0	8,5	13,6	1,02	10,2	11,7	9,0	5,5	15,5	1.163	11	55	2,7	1h30'
20	15.05.76	6,5	6,8	4,5	21,6	14,8	0,29	0,02	0,3	0,4	6,5	0,8	60	12,4				10j
21	15.02.77	8,7	9,2	8,7	40,5	29,2	33,9	2,55	29,3	29,3	6,2	16,5	100,0	7.519	35	17,9	17,9	28h
22	17.10.77	19,8	20,3	19,2	100,0	69,1	48,1	3,62	18,3	18,9	16,2	59,5	92,5	6.955	5	40	14,8	20j
23	24.11.77	31,5	34,0	12,4	97,5	49,6	54,9	4,13	13,1	33,3	27,4	47,1	270,0	20.301	5	32	19,8	37j
24	25.11.77	15,7	17,3	14,4	23,5	14,3	5,9	0,44	2,8	3,1	15,3	17,5	19,0	1.429	6	45	31,5	8h30'
25	13.02.78	9,1	9,5	9,1	26,3	19,5	11,2	0,84	9,2	9,2	8,3	16,0	26,2	1.970	9	40	10,9	35j
26	13.02.78	12,2	12,7	11,6	4,4	4,0	1,7	0,13	1,1	1,1	12,1	5,0	0,3	20	23	90	9,1	3b
27	6.05.78	8,1	8,3	8,0	27,8	13,9	4,4	0,33	4,1	4,1	7,8	20,0	22,7	1.707	3	35	30,9	81j

Tableau 6.5 - ZITA V - CARACTERISTIQUES DES CRUES SUR LA PERIODE 1976-78

No cruze	Date	P moy. mm	P Max. mm	Pu mm	15' mm/h	115' mm/h	Vr m3	Hr mm	Kr %	Kru %	D mm	Cam mm/h	Qx m3/s	qx l/s.km2	Tm mm	Tb mm	Pa mm	Ta j
1	9.01.76	9,8	10,8	8,5	33,8	29,5	828	1,88	19,2	22,1	7,9	19,5	830	1.886	14	66	18,6	6j
2	9.01.76	6,3	7	6,2	11,3	9,7	390	0,89	14,1	14,4	5,4	5,7	80	182	32	150	9,8	10'
3	9.01.76	4,6	5,1	3,8	8,8	7,6	344	0,78	17,0	20,5	3,8	4,7	220	500	16	60	6,3	6h30
4	9.01.76	4,7	5,2	3,9	20,3	11,7	562	1,28	27,2	32,8	3,4	6,5	380	864	20	80	4,6	5'
5	14.01.76	14,7	16,0	13,5	9,8	9,4	733	1,67	11,4	12,4	13,0	237	539	65	150	56,4	4j	
6	14.01.76	17,0	18,5	14,1	23,9	11,7	1373	3,12	18,4	22,1	13,9	350	795	40	100	14,7	6h38	
7	27.01.76	13,4	14,6	5,5	23,6	8,3	4,2	0,01	0,1	0,2	13,4	0,45	1	70	450	42,8	12j	
8	25.02.76	9,8	9,8	9,8	24,9	18,0	981	2,23	22,8	22,8	7,6	10,7	560	1.273	13	80	7,0	17j
9	26.02.76	2,9	2,9	2,9	23,6	11,6	305	0,69	23,8	23,8	2,2	15,5	145	330	17	75	9,8	4h39
10	26.02.76	2,3	2,3	2,3	23,6	9,2	130	0,30	13,0	13,0	2,0	20,0	42,5	97	42	100	2,9	4h05
11	26.02.76	5,2	5,3	5,2	13,9	11,6	403	0,92	17,7	17,7	4,3	8,5	235	534	23	80	2,3	9h29
12	26.02.76	4,0	4,0	4,0	20,8	10,2	389	0,88	22,0	22,0	3,1	10,5	220	500	25	75	5,2	44'
13	27.02.76	9,2	9,2	9,2	16,6	15,2	1362	3,10	33,7	33,7	6,1	11,5	905	2.057	14	60	4,0	9h30
14	26.03.76	10,2	11,0	9,0	18,8	14,0	166	0,38	3,7	4,2	9,8	13,5	105	239	25	60	6,4	15j
15	26.03.76	2,4	2,6	2,4	11,6	8,2	179	0,41	17,1	17,1	2,0	7,0	70	159	24	106	10,2	28'
16	27.03.76	8,4	9,1	7,8	23,1	11,1	374	0,85	10,1	10,9	7,6	12,5	145	330	30	120	2,4	2h06
17	26.09.76	17,9	19,4	15,5	22,1	18,8	301	0,68	3,8	4,4	17,2	15,6	169	384	10	80	5,8	17j
18	17.10.77	22,0	23,7	22,0	49,2	38,4	2181	4,96	22,5	22,5	17,0	22,5	1.530	3.477	24	85	17,9	20j
19	24.11.77	16,4	16,8	16,3	101,0	65,4	1991	4,53	27,6	27,8	11,9	48,0	2.698	6.132	9	40	22,0	37j
20	25.11.77	6,3	6,4	4,9	22,4	13,5	101	0,23	3,7	4,7	6,1	18,0	56	127	22	90	16,4	8h40
21	25.11.77	10,1	10,3	7,9	15,2	12,2	150	0,34	3,4	4,3	9,8	11,5	56	127	19	110	6,3	10'
22	25.11.77	10,5	10,7	9,3	8,4	7,4	21	0,05	0,5	0,5	10,5	8,0	4,3	10	90	160	10,1	6h05
23	3.02.78	28,9	30,4	25,0	20,0	13,9	418	0,95	3,3	3,8	28,0	11,7	112	255	17	60	19,9	27j

6.1.1 - Caractéristiques des crues du Zita I

L'examen critique du tableau 6.1 nous apprend :

- que 60 événements ont été observés sur les 8 années d'observations, ce qui représente un échantillon très faible correspondant à 40 journées de pluie,
- que la répartition des crues année par année est très aléatoire (on passe de 19 crues en 1975-1976 à seulement 2 en 1976-1977).

L'examen des lames ruisselées nous a permis de dresser le tableau ci-après :

H_R	> 0	> 1,0	> 2,0	> 3,0	> 4,0	> 5,0	> 10,0	> 50,0
mm	63	34	16	13	12	7	3	2
% du total	100	57,0	27,0	22,0	20,0	11,0	5,0	3,0

Les hauteurs de lame ruisselée s'échelonnent de $H_R = 0,01$ mm à $H_R = 154,1$ mm (correspondant à la deuxième crue du 12 décembre 1973).

Il est bien évident que les coefficients de ruissellement suivent cet éventail de valeurs et vont de 0,08 % pour le plus faible à plus de 97 % pour le plus fort.

On peut dire que, sur la période d'observation (1972-1979), les lames ruisselées sont comprises entre 0,01 mm et 14,0 mm (événement du 18 juin 1975), si l'on fait abstraction de l'événement exceptionnel du 12 décembre 1973 : $H_R = 76,7$ mm pour la première crue et $H_R = 154,1$ pour la deuxième crue, soit pour cette seule journée, 230,8 mm de lame écoulée sur les 329,4 mm correspondant à la hauteur globale de la lame écoulée pour la période de 8 années. Ceci correspond, en un seul événement, à 70 % de la lame globale.

Enfin, on peut estimer qu'une lame ruisselée comprise entre 1 et 2 mm, doit correspondre à un ruissellement généralisé sur le bassin.

6.1.2 - Caractéristiques des crues du Zita II

L'examen des tableaux de caractéristiques des crues du bassin du Zita II (tableau 6.2) nous permet de dire que :

- comme pour le bassin du Zita I, nous disposons d'un échantillon de 64 événements liés averses-crue, correspondant à 38 jours de pluie,
- l'examen des lames ruisselées nous permet également de dresser le tableau suivant :

H_R	> 0	> 1,0	> 2,0	> 3,0	> 4,0	> 5,0	> 10,0	> 50,0
mm	63	38	24	19	14	10	6	2
% du total	100	60	40	32	23	17	10	3

et de dire que les lames ruisselées sont assez bien réparties statistiquement entre $H_R = 0,01$ (le 11 février 1975) et $H_R = 91,5$ mm (deuxième crue de la journée du 12 décembre 1973).

La répartition annuelle est très différente d'une année à l'autre avec 28 crues en 1975-1976 et seulement 8 en 1977-78. Notons également, comme pour le bassin du Zita I, que la lame ruisselée du 12 décembre 1973, avec un total de 219,6 mm, représente à elle seule plus de 63 % de la hauteur de la lame ruisselée globale de la période d'observations (1973-1978) (H_R globale = 347,7 mm).

De même, les coefficients de ruissellement s'échelonnent de à 0,18 % à environ 94 % pour la deuxième crue. Si l'on ne tient pas compte des crues exceptionnelles du 12 décembre 1973, la lame ruisselée maximale observée est de 11,7 mm le 24 décembre 1977 et le coefficient de ruissellement maximum est voisin de 68 % (événement du 18 juin 1975).

Comme pour le Zita I, on peut penser qu'une lame ruisselée supérieure à 1,0 mm correspond à un ruissellement généralisé et homogène sur le bassin versant.

6.1.3 - Caractéristiques des crues du Zita III

D'après les tableaux des caractéristiques des crues du Zita III que l'on donne ci-après (cf. tableaux 6.3), on peut constater que, comme pour les deux précédents, l'échantillon dont nous disposons ne comprend que 43 événements liés averse-crue sur une période identique à celle du Zita II, et intéressant 25 journées de pluie.

L'examen des lames ruisselées nous permet de les ranger par classe et de dresser le tableau ci-après :

H_R	> 0	> 1,0	> 2,0	> 3,0	> 4,0	> 5,0	> 10,0	> 50,0
mm	42	17	10	8	7	5	4	2
% du total	100	40	24	19	17	12	9	5

Celui-ci nous permet de constater que près de la moitié des lames ruisselées sont inférieures à 1,0 mm et qu'un peu plus de 10 % dépassent 5,0 mm.

Les lames ruisselées sont comprises entre $H_R = 0,04$ mm (les 26 février 1976 et 6 mai 1978) et $H_R = 89,4$ mm pour la deuxième crue du 12 décembre 1973.

Là aussi, la répartition des lames ruisselées est variable d'une année à l'autre ; et l'on peut voir que la journée du 12 décembre 1973, avec une lame ruisselée de 179,1 mm, représente à elle seule plus de 74 % de la lame ruisselée globale sur toute la période d'observations ($H_R = 241,63$ mm).

En dehors des trois crues du 12 décembre 1973, dont les lames sont comprises entre 33,1 mm et 89,4 mm, seule la crue du 18 juin 1975 représente une lame ruisselée voisine de 20,0 mm ($H_R = 19,4$ mm). A part cela tous les autres événements de la période ont des lames inférieures à 5,0 mm.

6.1.4 - Caractéristiques des crues des bassins du Zita IV et Zita V

Nous avons rassemblé dans ce paragraphe les caractéristiques des crues relatives au bassin IV et au bassin V. En effet, ces deux bassins ont des périodes d'observations plus courtes (3 années) que les 3 autres bassins.

L'examen des tableaux 6.4 et 6.5 permet de voir que nous n'avons plus d'événements exceptionnels et que 85 % des lames observées sur les bassins IV et 87 % sur le bassin V sont inférieures à 1,0 mm.

Les lames maximales sur la période sont respectivement $H_R = 4,13$ mm pour le bassin 4 et $H_R = 4,95$ mm pour le bassin V.

6.2 - ETUDE DES LAMES RUISSELEES

L'examen attentif des tableaux des caractéristiques des crues des différents bassins de l'oued Zita permet de dégager le rôle plus ou moins important que peuvent jouer certains facteurs conditionnels du ruissellement comme l'intensité de l'averse ou l'humectation préalable du sol.

6.2.1 - Précipitation limite de ruissellement

L'étude des caractéristiques des crues sur les différents bassins nous a permis de mettre en évidence le rôle prépondérant de l'intensité de l'averse dans la genèse du ruissellement et ce, quelle que soit la taille du bassin versant.

Nous avons vu également en examinant visuellement les diagrammes des différents événements liés averse-crue que, dans certains cas particuliers (séquences d'averses), le rôle de l'état d'humectation préalable et du temps antérieur séparant une averse donnée de l'averse précédente n'est pas à négliger.

En ce qui concerne le bassin principal, des observations de terrain semblent indiquer que les crues d'un volume de 3200 m^3 ($H_R \geq 1,0 \text{ mm}$) étaient effectivement dues à un ruissellement généralisé du bassin.

Pour les autres bassins, comme la distinction n'était pas possible, nous avons supposé de façon arbitraire, qu'une lame ruisselée de 1,0 mm limiterait le ruissellement généralisé du ruissellement partiel.

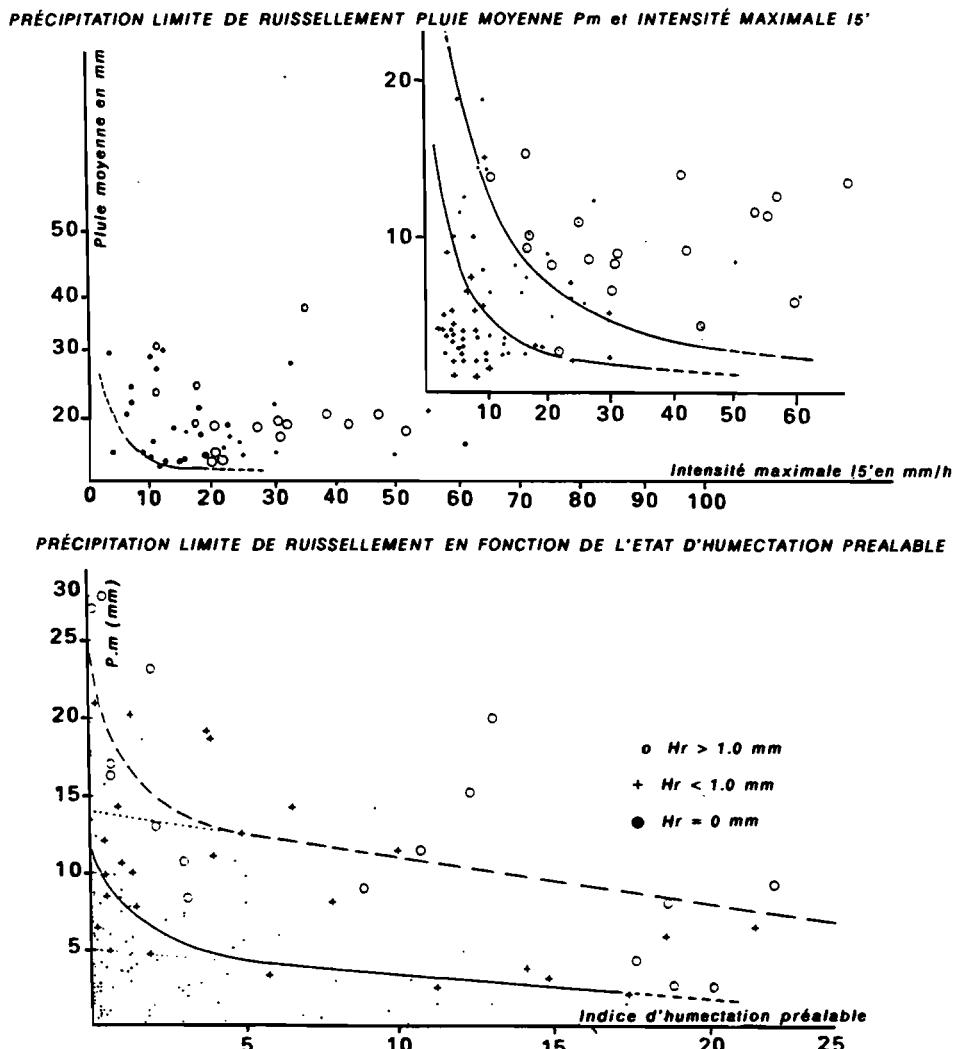


Fig-6-1 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 1

Pour le bassin 1, nous avons reporté sur le graphique de la figure 6.1 les points représentatifs de la hauteur moyenne d'averse (Pm) en fonction d'une part, de l'intensité maximale et d'autre part, de l'indice d'humidité avant cette averse. On a distingué les points qui correspondent à un ruissellement nul ($H_R = 0$ mm), à un ruissellement partiel ($H_R < 1,0$ mm) et à un ruissellement de l'ensemble du bassin ($H_R \geq 1,0$ mm).

En traçant au milieu de ces deux nuages de points une courbe séparant le ruissellement nul ou partiel du ruissellement total, on définit ainsi les courbes de précipitations limites de ruissellement qui permettent de déterminer les conditions nécessaires au ruissellement total pour une averse de hauteur donnée.

On en déduit que, pour une averse homogène, à partir de 25 mm le ruissellement est généralisé sur la quasi totalité du bassin 1 quelles que soient les conditions de saturation préalable.

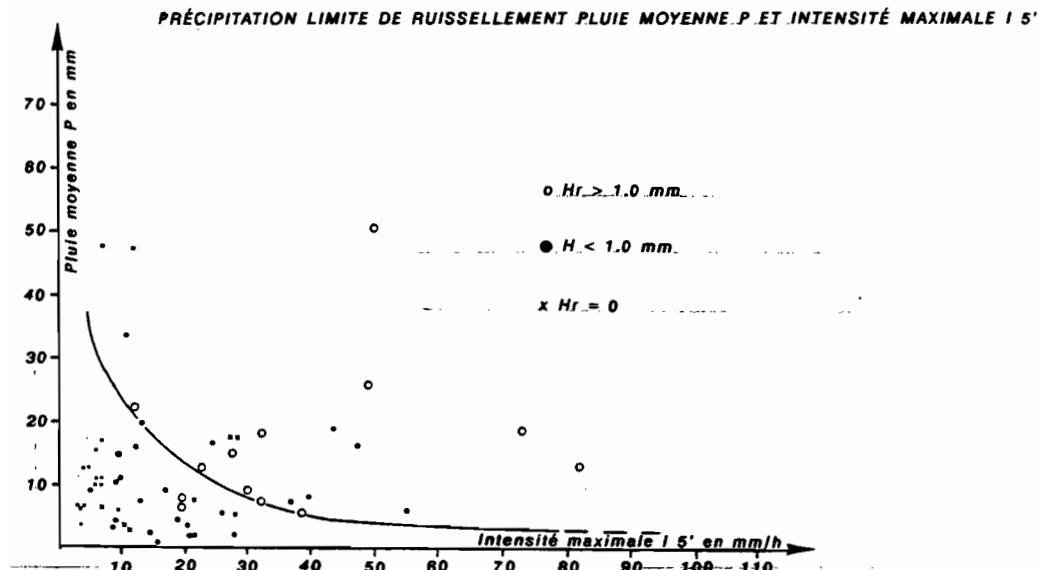


Fig-6-2 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

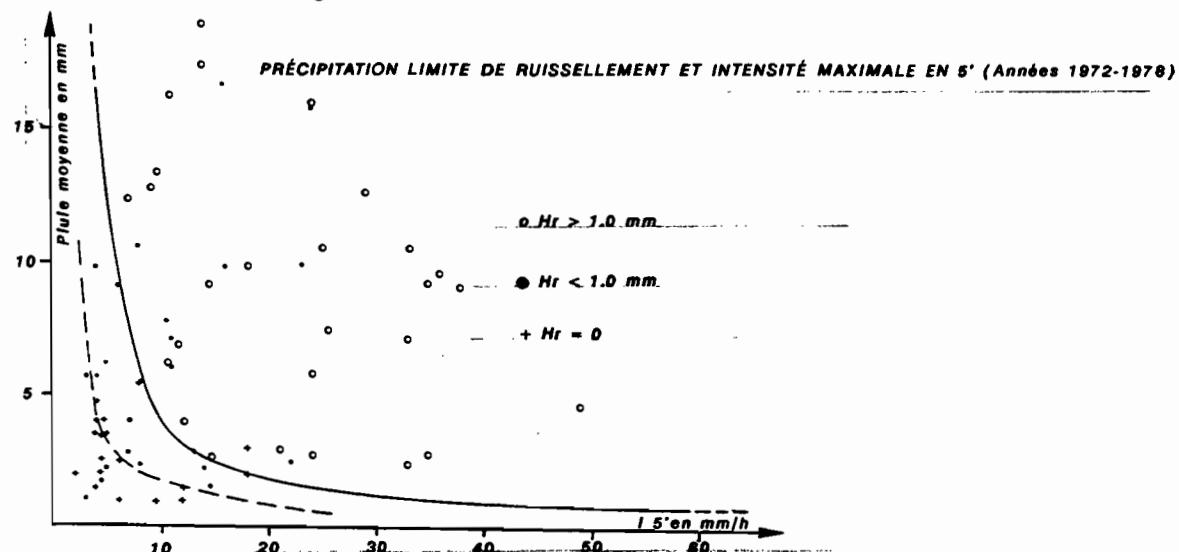


Fig-6-3 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

L'examen des autres figures (fig. 6.2 à 6.6) relatives aux différents bassins permet de voir que :

- pour le bassin II, le ruissellement général peut survenir pour des pluies moyennes de 3,0 mm ayant une intensité supérieure à 15 mm/heure,
- pour le bassin III, le ruissellement général n'intervient que pour des averse supérieures à 10,0 mm et ayant une intensité de 20 mm/heure minimale,
- pour les bassins IV et V, le ruissellement total se manifestera pour des pluies moyennes de 8,0 mm ($1 \geq 20,0 \text{ mm/h}$) et dans le cas du Zita V pour une averse du même ordre mais d'intensité supérieure à 25 mm/h.

Notons qu'en ce qui concerne les deux derniers bassins, l'échantillon de crues n'est pas suffisant pour déterminer de façon précise les valeurs limites de P_m et de I .

On a rassemblé sous forme de tableaux synthétiques (cf. ci-après) les valeurs de hauteurs d'averses correspondant à un ruissellement général sur les différents bassins versants pour une intensité d'averse donnée.

L'examen comparatif de ces différentes valeurs montre que c'est le bassin II qui commence à ruisseler le plus aisément et que c'est le bassin III qui présente la plus forte capacité de stockage initial.

Valeur de l'intensité (mm/h)	Zita I	Zita II	Zita III	Zita IV	Zita V
5,0	20	15	30	(45)	-
10,0	15	4	25	25	20
20,0	7	2	12	6	(5)
50,0	2,5	1,0	4,0	-	-

Le tableau ci-dessus nous donne les hauteurs minimales de la pluie moyenne sur les 5 bassins, afin d'obtenir un ruissellement généralisé pour différentes valeurs de l'intensité en 5'.

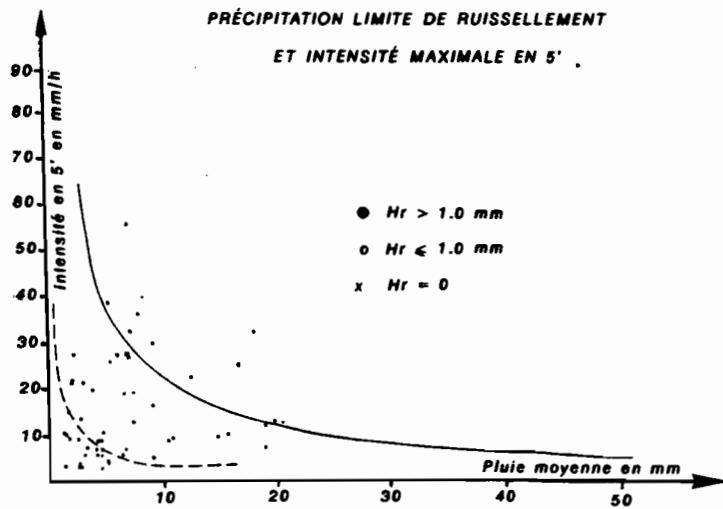


Fig-6-4 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 3

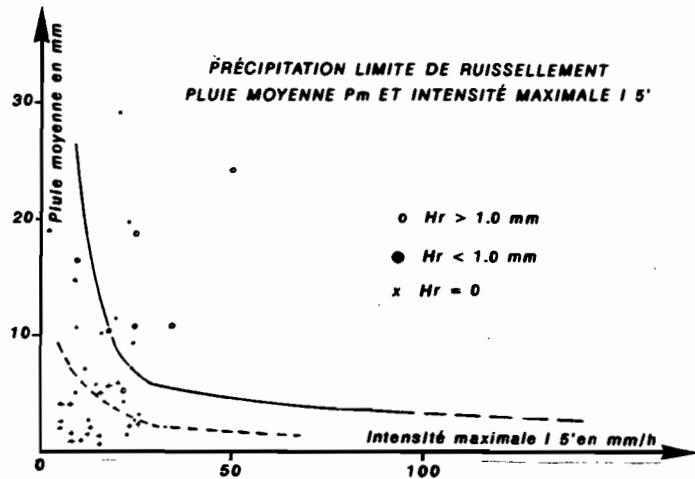


Fig-6-5 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 4

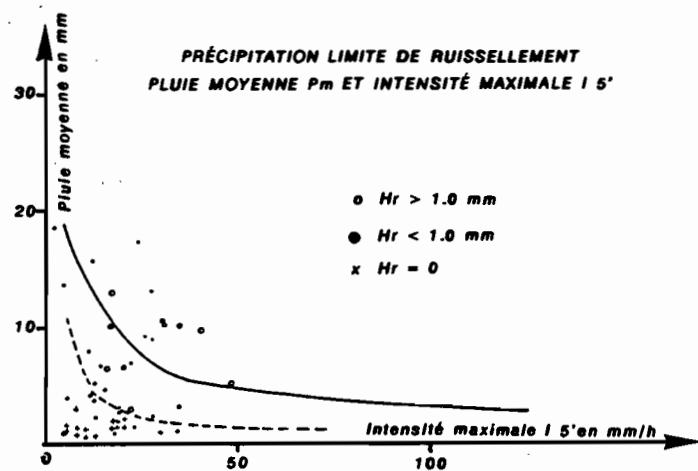


Fig-6-6 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 5

6.2.2 - Influence des facteurs conditionnels sur la hauteur de la lame ruisselée

On considère communément que la hauteur de lame ruisselée correspondant à une averse donnée est, toutes choses égales par ailleurs, d'autant plus élevée que la hauteur de pluie utile est importante.

On sait d'autre part que la hauteur de la lame ruisselée est également influencée par l'état d'humectation initial du sol, une même hauteur d'averse donnant plus facilement du ruissellement si elle rencontre des terrains déjà humectés.

Cependant, dans le cas des bassins versants de l'oued Zita, il y a lieu de prendre en compte un troisième facteur explicatif, caractérisant au mieux l'intensité de l'averse.

En effet, si l'on passe en revue l'ensemble des graphiques donnés en annexe, graphiques sur lesquels on a reporté à la fois avec la même échelle de temps les hydrogrammes de crues et les hyéogrammes d'averses qui leur ont donné naissance, on constate, d'une façon générale, à condition toutefois que les sols ne soient pas totalement saturés, que la capacité d'absorption moyenne des bassins versants est fortement liée à l'intensité des averses.

On s'en aperçoit de façon particulièrement frappante en examinant soit :

- des averses individualisées, d'intensités moyennes nettement différentes mais, se produisant dans des conditions d'humectation des sols comparables,
- des séquences pluvieuses constituées d'averses rapprochées dans le temps et au cours desquelles l'état d'humectation initial des sols devient de plus en plus favorable au ruissellement.

Dans le premier cas on constate que la capacité d'absorption moyenne est d'autant plus grande que l'intensité moyenne de l'averse est plus forte. Si l'on considère, par exemple, les averses ayant générées les crues 17 et 42 qui correspondent à des états d'humectation initiale relativement faible, puisque les temps antérieurs sont respectivement de 15 et 20 jours, on constate que pour des hauteurs de pluie comparables (respectivement 20,3 et 19,7 mm) les capacités d'absorption moyennes sont très nettement différentes ; de l'ordre de 15 mm/h pour l'averse n° 17 du 6 mars 1975 dont l'intensité moyenne en 15' est de 30,1 mm/h et une capacité d'absorption moyenne de 40,5 mm/h pour l'averse n° 42 du 17 octobre 1977 dont l'intensité moyenne en 15' est de 61,0 mm/h.

Le deuxième cas peut être illustré par la série de crues du 9 janvier 1976 (crues n° 20 à 24). C'est une série d'une douzaine d'averses à intervalle d'une ou deux heures avec des intensités maximales comprises entre une dizaine de mm/h et 50 mm/h. La hauteur globale de pluie pour la journée est de 644,1 mm et la répartition est très homogène dans l'espace.

Ces averses donnent lieu à quatre crues principales dont l'analyse permet de donner la variation de la capacité apparente moyenne d'absorption des bassins. Alors qu'on devrait voir celle-ci diminuer à mesure que l'humectation des sols augmente, on constate en fait que cette capacité apparente moyenne dépend essentiellement de l'intensité des averses, l'absorption étant d'autant plus forte que l'intensité est elle-même forte.

Cette influence de l'intensité s'explique par une forte hétérogénéité des sols des bassins versants du point de vue de la perméabilité, hétérogénéité d'autant plus marquée que l'humectation initiale des sols est plus faible, et hétérogénéité qui disparaît totalement dans le cas où la totalité de la superficie des bassins versants est saturée en eau (cas par exemple des phénomènes exceptionnels du 12 décembre 1973 et plus spécialement de la deuxième averse).

Compte tenu de ce que nous venons de dire, nous étudierons successivement l'influence de ces trois facteurs :

- soit directement sur la hauteur de la lame ruisselée,
- soit au niveau du coefficient de ruissellement utile K_{RU} ce qui, dans ce deuxième cas, évite de privilégier les fortes averses qui sont relativement rares dans les régions arides.

6.2.2.1 - Influence de la hauteur de pluie utile.

Sur les graphiques qui suivent, nous nous sommes attachés à représenter crue par crue la hauteur de la lame ruisselée en fonction de la hauteur de pluie utile.

On peut remarquer en ce qui concerne le bassin I, que la distribution dans le plan de ces points expérimentaux est très hétérogène, car on ne dispose pas d'assez de valeurs intermédiaires entre les très fortes hauteurs de lames ruisselées correspondant aux pluies du 12 décembre 1973 et le nuage de points situé à l'origine des coordonnées et qui est très représentatif de la plupart des phénomènes observés.

Ces distributions ne permettent pas de tracer une courbe moyenne de régression, mais il est seulement possible de coiffer le nuage de points par une courbe enveloppe très voisine de la première bissectrice (fig. 6.7).

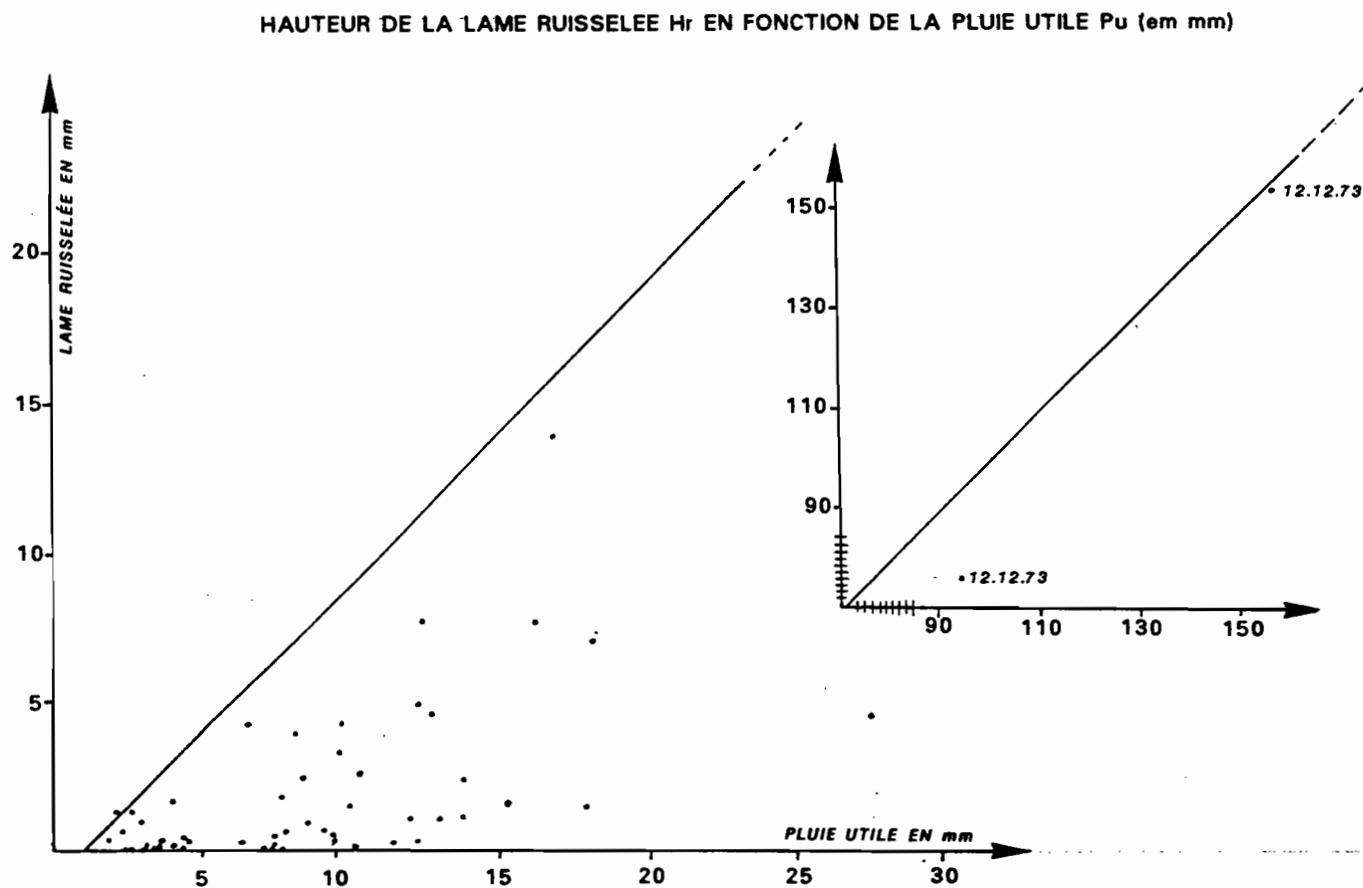


Fig-6-7 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 1

A partir de ces courbes enveloppes, on a effectué plusieurs tentatives de régressions multiples classiques en étudiant les écarts des points figuratifs à la courbe enveloppe, en fonction de divers indices représentatifs de l'état d'humectation initial du sol et de l'intensité d'averse.

On a essayé en particulier un indice de la forme :

$$Ih_i = (P_{i-1} - H_{Ri-1})^{e\alpha t_i}$$

dans lequel Ih_i est l'indice d'humectation avant l'averse,

P_{i-1} la hauteur de l'averse précédente,

H_{Ri-1} la lame ruisselée correspondante,

t_i la durée séparant l'averse considérée de la précédente,

α est un paramètre d'ajustement intégrant les caractéristiques physiques du sol.

Après plusieurs ajustements, nous avons retenu la valeur de $\alpha = 0,3$ pour les bassins du Zita I et du Zita II.

Pour cette valeur, l'indice d'humectation est réduit de moitié le surlendemain d'une pluie et ne correspond plus qu'à 1 % de sa valeur initiale au bout de 15 jours.

Nous avons utilisé la méthode des déviations résiduelles appliquée à l'intensité et au Ih , pour étudier la relation pluie moyenne/lame ruisselée. Les résultats ont été extrêmement décevants, et nos difficultés ont résulté de l'impossibilité d'ajuster correctement une courbe moyenne aux corrélations écarts absous H_R (à la courbe enveloppe $H_R - P_m$) - intensité et écart $H_R - 1h$.

Cet échec peut être attribué au fait que selon la hauteur de l'averse, la variable explicative principale de l'écart est tantôt l'intensité moyenne de l'averse et tantôt l'état d'humectation initial indépendamment l'une de l'autre.

Dans ces conditions, nous avons jugé préférable d'abandonner la méthode d'analyse classique en étudiant directement le coefficient de ruissellement utile K_{RU} en fonction successivement de deux groupes d'indices, caractérisant soit les intensités d'averses, soit l'état initial du sol.

6.2.2.2 - Influence des autres facteurs

En utilisant les données obtenues sur le bassin du Zita II, on s'est efforcé de mettre en évidence l'influence des paramètres caractéristiques de l'intensité de l'averse sur les coefficients de ruissellement utile K_{RU} .

A cet effet, on a successivement utilisé comme paramètres caractéristiques, les intensités moyennes des averses en 5', 15' et 30'. Les nuages de points obtenus par report graphique des couples de valeurs ont été assez incohérents, sauf pour l'intensité moyenne en 15'.

Si l'on se reporte en effet à la figure 6.8, on constate une croissance marquée des coefficients de ruissellement en fonction de l'intensité moyenne en 15'. Les points représentatifs restent toutefois assez dispersés. Cependant, cette dispersion peut être en grande partie expliquée, si l'on représente avec des symboles divers les points appartenant à des classes d'humectation différente.

C'est ainsi qu'en utilisant 4 classes pour les temps antérieurs séparant l'averse étudiée de l'averse précédente, on fait apparaître (Cf. fig. 6.9) des sous-ensembles de points qui sont beaucoup moins dispersés.

Ceci permet de tracer des faisceaux de courbes paramétrées selon les valeurs prises par l'indice d'humectation choisi. Différents essais montrent d'ailleurs que la moindre dispersion est obtenue en utilisant t_a comme indice. Un tel faisceau de courbes est reproduit sur la figure 6.9.

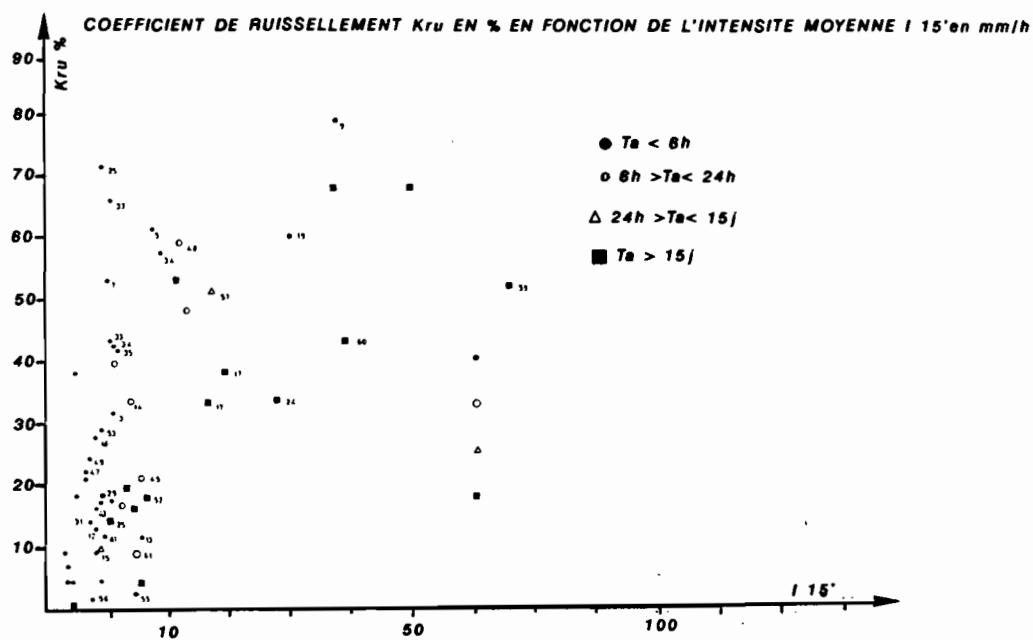


Fig-6-8 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

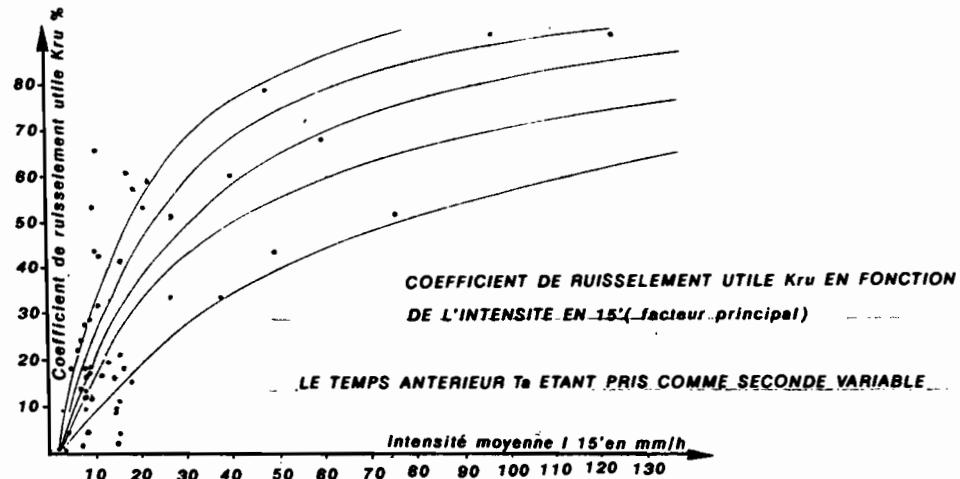


Fig-6-9 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

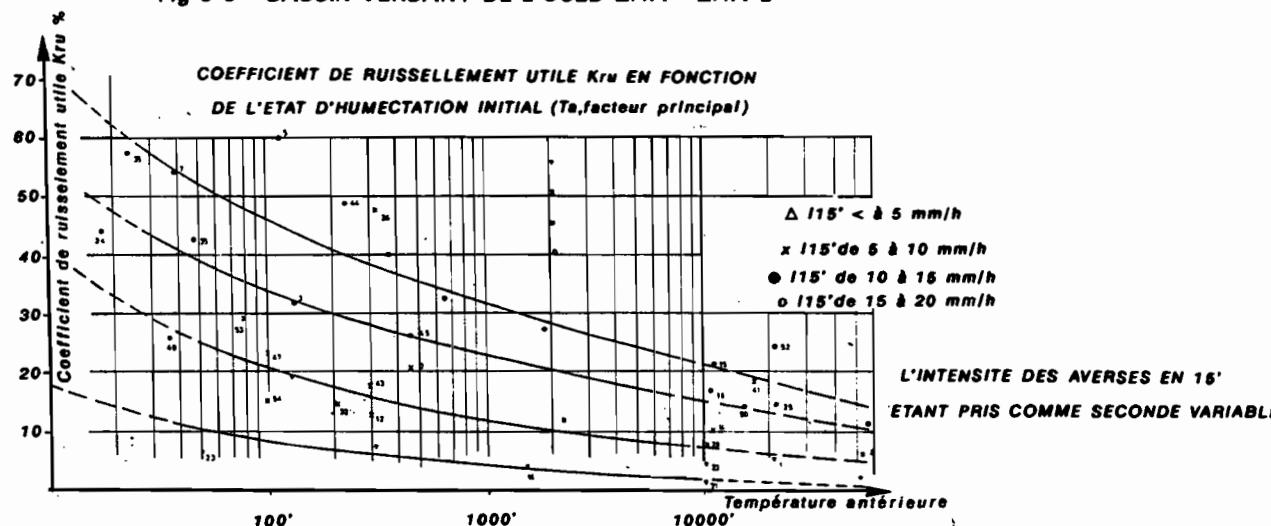


Fig-6-10 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

Inversement, on a procédé à l'étude directe de l'influence de l'état d'humectation initial en reportant sur un papier semi-logarithmique les couples de points (K_{RU} et t_a) et, de la même façon en utilisant des symboles différents selon les plages d'intensités moyennes en 15' (Cf. fig. 6.10).

L'examen des abaques obtenus pour le Zita 2 selon les mêmes principes pour le bassin du Zita I fait apparaître l'influence respective des facteurs explicatifs retenus qui semblent moins nettes pour le bassin du Zita I.

Comme on le verra au paragraphe suivant, ces abaques permettront d'estimer, avec une précision acceptable, pour le bassin du Zita II la hauteur de la lame ruisselée résultant d'une averse dont on connaît le hyéogramme moyen sur le bassin versant et survenue pour une valeur connue de t_a .

En ce qui concerne les autres bassins, l'étude a été abordée mais le nombre de crues observées est insuffisant pour que l'on puisse établir les abaques correspondants. Les meilleurs résultats obtenus sur le bassin II sont vraisemblablement dus à la distribution plus régulière des échantillons de lames ruisselées.

6.2.3 - Essai de reconstitution des lames ruisselées

A partir des abaques obtenus pour les bassins du Zita I et du Zita II, dont nous venons d'expliquer la constitution, nous allons essayer de calculer la valeur théorique de la lame ruisselée à partir d'une valeur connue de la pluie moyenne.

En partant des figures 6.8 et 6.9, nous avons graphiquement évalué, pour le bassin du Zita II, la valeur de K_{RU} puis, nous avons calculé la valeur de la lame ruisselée comme suit :

$$L_{RU\text{calc}} = K_{RUc} \times P_{\text{moy}}$$

On a pratiqué ainsi crue par crue et l'on a estimé le bilan annuel calculé, que l'on compare ensuite au bilan observé. Les résultats du bassin du Zita II, événement par événement, sont consignés dans le tableau 6.11, ci-après.

TABLEAU 6.11 - ZITA 2 - RECONSTITUTION DES LAMES RUISELLEES SUR LA PERIODE 1973-77

N°	Lr	Kru	L'r	N°	Lr	Kru	L'r	N°	Lr	Kru	L'r
1	0,31	2,1	0,13	25	2,91	11,0	2,28	48	4,32	43,5	3,13
2	2,61	15,0	1,86	26	4,99	26,0	3,20	49	0,24	1,0	0,01
3	2,19	32,0	2,20	27	10,20	30,0	4,50	50	0,31	7,5	0,17
4	0,39	13,0	0,27					51	1,16	23,5	0,68
5	14,90	42,0	8,35	1974-75	38,9		28,4	52	1,97	16,0	1,69
6	65,50	97,0	65,60		0,46	8,5	0,51	53	0,72	26,0	0,65
7	3,36	32,5	2,04	28	1,79	42,5	1,24	54	1,16	22,5	2,09
8	91,50	98,5	95,90	29	0,96	0,9	0,00				
9	44,40	90,0	50,80	30	0,31	4,4	0,31	1975-76	46,4		35,0
10	0,18	1,1	0,06	31	0,24	15,0	0,26	55	0,23	46,5	4,65
11	0,33	10,0	0,99	32	4,53	60,0	5,58	56	0,13	0,6	0,08
12	0,62	17,5	0,96	33	1,79	35,0	1,43	57	4,64	39,0	3,59
13	4,82	9,1	2,02	34	2,70	52,5	2,47				
14	0,65	9,5	1,01	35	1,23	36,5	1,05	1976-77	5,0		8,3
15	0,87	13,5	1,05	36	1,76	23,5	0,98				
				37	3,83	30,0	1,74	58	0,60	7,5	1,17
1973-74	232,6		233,2	38	1,11	10,5	0,30	59	8,60	47,5	10,30
17	3,04	28,0	3,55	39	3,00	13,5	2,20	60	5,40	35,0	10,20
18	1,24	21,0	2,03	40	1,59	9,0	1,20	61	1,47	31,0	4,96
19	7,81	32,0	3,87	41	5,87	20,0	2,12	62	1,41	18,0	4,57
20	0,04	2,0	0,18	42	0,38	18,5	0,42	63	1,49	15,0	1,13
21	0,01	3,4	0,19	43	1,23	23,5	0,66				
22	0,22	3,4	0,15	44	2,25	32,0	3,17	1977-78	19,0		32,3
23	0,11	11,5	0,19	45	0,80	13,0	0,36				
24	8,32	33,0	8,21	46	0,64	21,5	0,60				
				47							

Lr = lame observée en mm

KRU = coefficient de ruissellement utile en %

L'r = lame reconstituée en mm

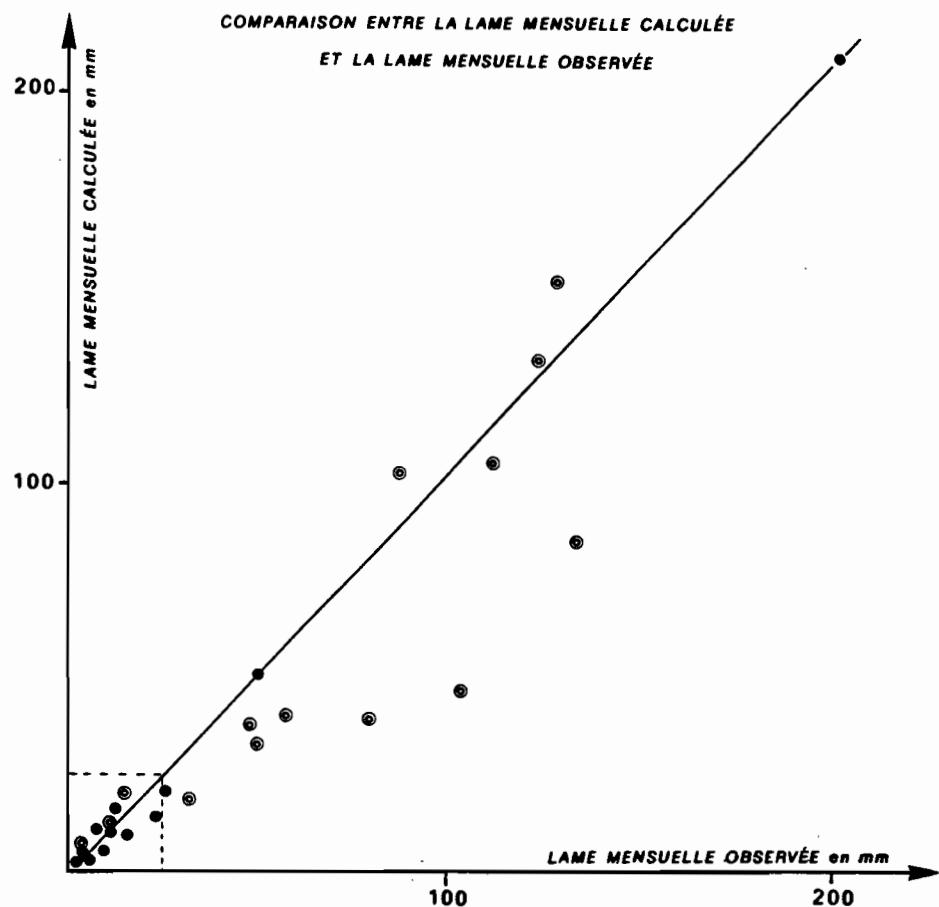


Fig-6-11 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

6.3 - BILAN DES OBSERVATIONS SUR LA PERIODE 1972-1979

Nous avons rassemblé dans les tableaux ci-après les valeurs mensuelles et annuelles des principales composantes de l'écoulement sur les cinq bassins de l'oued Zita.

Les différentes composantes sont :

Pm hauteur mensuelle de pluie moyenne sur le bassin exprimée en mm

E(H_R) correspondant à l'écoulement mensuel et représentée par la lame ruisselée mensuelle globale H_R et exprimée en mm

K_R le coefficient de ruissellement exprimé en % et égal à E/Pm

D déficit d'écoulement exprimé en mmp et égal à P - E

TABLEAU 6.6 - ZITA 1 - ECOULEMENTS MENSUELS ET ANNUELS PENDANT LA PERIODE 1972-79

		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
1972-73	Pm	10,3	23,2	4,2	56,1	8,3	19,9	30,5	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	157,6
	E	0,4			8,4		2,6							11,4
	Kr %	4,0			15,0		8,6							7,3
	D	9,9	23,2	4,2	47,7	8,3	19,9	27,9	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	146,2
1973-74	Pm	0,0	3,7	12,0	297,9	1,9	32,1	20,1	7,7	0,0	2,7	0,0	0,0	378,1
	E				231,2		0,5							231,7
	Kr %				77,6		1,6							61,3
	D	0,0	3,7	12,0	66,7	1,9	31,6	20,1	7,7	0,0	2,7	0,0	0,0	146,4
1974-75	Pm	32,9	20,7	2,6	1,4	4,3	31,5	50,1	11,0	7,3	18,8	0,0	0,0	180,6
	E	0,6	7,9				4,7				14,0			27,2
	Kr %	1,8	38,2				9,5				74,5			15,1
	D	32,3	12,8	2,6	1,4	4,3	31,5	45,4	11,0	7,3	4,8	0,0	0,0	153,4
1975-76	Pm	10,6	16,0	20,1	8,0	112,1	78,6	49,3	0,0	23,1	2,6	0,0	0,0	320,4
	E					16,6	13,4	3,5		0,0				33,5
	Kr %					14,9	17,0	7,1		0,1				10,5
	D	10,6	16,0	20,1	8,0	95,5	65,2	45,8	0,0	23,1	2,6	0,0	0,0	286,9
1976-77	Pm	7,4	5,0	10,3	0,0	14,2	30,8	6,7	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	78,4
	E	0,1					2,7							2,8
	Kr %	1,1					8,7							3,5
	D	7,3	5,0	10,3	0,0	14,2	28,1	6,7	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	75,7
1977-78	Pm	19,6	19,7	52,9	0,0	24,9	31,8	5,6	0,0	24,0	0,0	0,0	0,0	178,5
	E	0,4	7,2	9,4		0,2	2,4							19,6
	Kr %	1,9	36,4	17,7		0,9	7,6							11,0
	D	19,2	12,5	43,5	0,0	24,7	29,4	5,6	0,0	24,0	0,0	0,0	0,0	158,9
1978-79	Pm *	1,5	18,9	25,0	0,0	0,0	26,7	24,5	6,0	1,0	0,0	0,0	0,0	103,6
	E	0,4	0,1				0,0	0,3						0,8
	Kr %	1,9	0,2				0,1	1,4						0,7
	D	1,5	18,6	24,9	0,0	0,0	26,7	24,2	6,0	1,0	0,0	0,0	0,0	102,8
1979-80	Pm **	29,5	6,0	10,2	0,0	8,7	29,8	21,5	23,2	14,0	0,0	0,0	0,0	142,9
	E	1,1	0,5				0,5	1,2		1,1				4,5
	Kr %	3,9	8,2				1,6	5,5		8,1				3,1
	D	28,4	5,5	10,2	0,0	8,7	29,3	20,3	23,2	12,9	0,0	0,0	0,0	138,5

N.B : PM * : pluie moyenne estimée à partir de PG 22, 23 et 24
 Pm ** : pluie moyenne estimée à partir de PG 23 et 24

TABLEAU 6.7 - ZITA 2 - ECOULEMENTS MENSUELS ET ANNUELS PENDANT LA PERIODE 1973-78

		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
1973-74	Pm	0,0	4,0	11,9	310,0	1,6	38,0	21,4	7,2	0,0	2,6	0,0	0,0	396,7
	E				225,1		5,8	1,5						232,4
	Kr %				72,6			7,1						58,6
	D	0,0	4,0	11,9	84,9	1,6	32,2	19,9	7,2	0,0	2,6	0,0	0,0	164,3
1974-75	Pm	33,0	16,4	2,3	1,5	4,1	29,7	46,5	11,0	7,0	16,3	0,0	0,0	167,8
	E	5,7	7,8				0,4	11,1		0,5	10,2			35,7
	Kr %	17,4	47,6				1,3	23,9		6,9	62,6			21,3
	D	27,3	8,6	2,3	1,5	4,1	29,3	34,4	11,0	6,5	6,1	0,0	0,0	131,1
1975-76	Pm	8,9	15,5	21,2	7,7	113,0	80,9	49,3	0,0	22,1	2,9	0,0	0,0	321,5
	E			3,2		25,3	15,7	5,3		0,0				49,6
	Kr %			15,1		22,4	19,4	10,8		0,1				15,4
	D	8,9	15,5	18,0	7,7	87,7	65,2	44,0	0,0	22,1	2,9	0,0	0,0	272,0
1976-77	Pm	9,7	4,1	8,1	0,0	15,4	22,8	5,7	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	69,8
	E	0,2					4,8							5,0
	Kr %	2,4					20,9							7,2
	D	9,5	4,1	8,1	0,0	15,4	18,0	5,7	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	64,8
1977-78	Pm	17,9	21,5	47,3	0,0	25,6	29,1	4,2	0,0	20,6	0,0	0,0	0,0	166,2
	E	0,6	8,6	12,7			1,5							23,4
	Kr %	3,4	40,0	26,8			5,1							14,1
	D	17,2	12,9	34,6	0,0	25,6	29,1	4,2	0,0	19,1	0,0	0,0	0,0	142,7

TABLEAU 6.8 - ZITA 3 - ECOULEMENTS MENSUELS ET ANNUELS PENDANT LA PERIODE 1973-78

		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
1973-74	Pm	0,0	3,8	12,7	283,4	2,2	31,3	21,1	6,8	0,0	2,6	0,0	0,0	363,9
	E				179,3		0,2							179,5
	Kr %				63,3		0,7							49,3
	D	0,0	3,8	12,7	104,1	2,2	31,1	21,1	6,8	0,0	2,6	0,0	0,0	184,4
1974-75	Pm	29,3	21,6	2,2	1,5	4,4	32,9	47,1	11,3	8,0	26,5	0,0	0,0	184,8
	E	7,5						3,2			19,4			30,1
	Kr %	34,7						6,8			73,2			16,3
	D	29,3	14,1	2,2	1,5	4,4	32,9	43,9	11,3	8,0	7,1	0,0	0,0	154,7
1975-76	Pm	8,8	14,3	19,8	7,7	108,8	71,6	48,7	0,0	26,8	2,5	0,0	0,0	309,0
	E				8,5		7,2	3,5		0,4				19,5
	Kr %				7,8		10,0	7,1		1,3				6,3
	D	8,8	14,3	19,8	7,7	100,3	64,4	45,2	0,0	26,4	2,5	0,0	0,0	289,5
1976-77	Pm	9,7	4,1	8,1	0,0	15,4	22,8	5,7	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	69,8
	E	0,2					4,8							5,0
	Kr %	2,4					20,9							7,2
	D	9,5	4,1	8,1	0,0	15,4	18,0	5,7	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	64,8
1977-78	Pm	17,9	21,5	47,3	0,0	25,6	29,1	4,2	0,0	20,6	0,0	0,0	0,0	166,2
	E	0,6	8,6	12,7			1,5							23,4
	Kr %	3,4	40,0	26,7			0,9	7,2						14,1
	D	17,3	12,9	34,6	0,0	25,6	27,6	4,2	0,0	20,6	0,0	0,0	0,0	142,8

TABLEAU 6.9 - ZITA 4 - ECOULEMENTS MENSUELS ET ANNUELS PENDANT LA PERIODE 1975-78

		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
1975-76	Pm	9,8	15,3	20,1	8,0	110,2	79,6	51,0	0,0	24,0	2,2	0,0	0,0	320,2
	E			0,0		11,0	8,5	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,5
	Kr %			0,1		10,0	10,7	5,9		0,1				7,0
	D	9,8	15,3	20,1	8,0	99,2	71,1	48,0	0,0	24,0	2,2	0,0	0,0	297,7
1976-77	Pm	5,5	4,9	9,4	0,0	15,7	27,9	8,7	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	76,7
	E						2,6							2,6
	Kr %						9,1							3,3
	D	5,5	4,9	9,4	0,0	15,7	25,4	8,7	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	74,2
1977-78	Pm	17,4	19,9	47,3	0,0	26,0	31,9	4,7	0,0	25,3	0,0	0,0	0,0	172,5
	E			3,6			1,0							9,2
	Kr %			4,6				3,0						5,3
	D	17,4	16,3	42,7	0,0	26,0	30,9	4,7	0,0	25,3	0,0	0,0	0,0	163,3

TABLEAU 6.10 - ZITA 5 - ECOULEMENTS MENSUELS ET ANNUELS PENDANT LA PERIODE 1975-78

		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
1975-76	Pm	13,9	16,2	19,4	8,7	110,4	80,6	43,4	0,0	24,0	2,2	0,0	0,0	318,8
	E					9,6	8,1	1,6						19,4
	Kr %					8,7	10,1	3,8						6,1
	D	13,9	16,2	19,4	8,7	100,8	72,5	41,8	0,0	24,0	2,2	0,0	0,0	299,4
1976-77	Pm	4,9	4,9	12,7	0,0	14,2	36,1	5,8	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	81,5
	E													0,0
	Kr %													0,0
	D	4,9	4,9	12,7	0,0	14,2	36,1	5,8	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	81,5
1977-78	Pm	18,9	21,5	54,3	0,0	24,5	30,3	7,2	0,0	22,7	0,0	0,0	0,0	179,4
	E			0,7			1,0							10,4
	Kr %			3,6				3,1						5,8
	D	18,2	17,9	49,2	0,0	24,5	29,4	7,2	0,0	22,7	0,0	0,0	0,0	169,0

6.3.1 - Distribution mensuelle de l'écoulement

L'examen des tableaux relatifs aux cinq bassins versants de l'oued Zita, attire quelques commentaires d'ordre général :

- il apparaît que le mois où l'on a le plus de chance d'observer un écoulement est le mois de février,
- il semble, à de rares exceptions près, qu'il soit nécessaire d'avoir un total mensuel de hauteur de pluie de l'ordre de 20 mm pour observer un écoulement, si faible soit-il,
- le déficit d'écoulement mensuel correspond à la reprise par évaporation principalement et par évapotranspiration (très faible en raison du couvert végétal squelettique) et à l'infiltration, soit dans les couches superficielles soit plus profondément à la faveur de diaclases et de bancs de gypse subverticaux.

6.3.2 - Ecoulement annuel

L'examen du tableau des écoulements annuels du Zita I met en évidence la grande irrégularité annuelle sur un petit bassin du Sud. On passe en effet d'un écoulement quasiment nul (0,77 mm en 1977-78) à une valeur maximale de 233,7 mm en 1973-74.

Il est intéressant de constater qu'en 1973 on a 234 mm d'écoulement et que le déficit représente 144 mm alors qu'en 1975-76, on a 34 mm d'écoulement et 287 mm de déficit, alors que ces deux années présentent un total pluviométrique comparable : respectivement 378 mm et 320 mm. On retrouve proportionnellement des résultats comparables pour les bassins du Zita I et du Zita II.

6.3.3 - Comparaison entre les différents bassins

Nous comparerons les bilans sur les bassins I, II et III sur une période de 5 années (1973 à 1978), puis les cinq bassins sur une période commune plus courte de 3 années (1975 à 1978).

6.3.3.1 - Comparaison de bilan entre les bassins I, II et III

Nous avons reporté dans le tableau ci-dessous le bilan global de 5 années communes d'observations (1973-1978).

Bassin versants	ΣP_m	E_p	$K_R p$	D_p
Zita I	1136,0	316,9	27,9	819,1
Zita II	1122,0	340,2	30,3	781,8
Zita III	1109,8	241,4	21,7	868,4

Dans le tableau précédent :

- ΣP_m représente la somme de la pluie moyenne en 5 ans par bassin,
- E_p la somme de la lame éculée en 5 ans,
- $K_R p$ représente le coefficient de ruissellement sur la période,
- D_p le déficit d'écoulement global.

On peut voir que :

- le bassin du Zita II est celui qui ruisselle le plus alors que le bassin du Zita III apparaît bien comme le plus perméable avec un ruissellement très faible. La différence des coefficients de ruissellement entre Zita II et III est de l'ordre de 30 %, pour une superficie de bassin comparable.

6.3.3.2 - Comparaison des bilans sur les 5 bassins

Comme nous l'avons fait pour les bassins I, II et III, sur une période de 5 années, nous présentons ici un tableau comparatif des bilans sur une période de 3 années (1975-1978) commune aux 5 bassins de l'oued Zita.

Bilan global sur la période 1975-1978 pour les cinq bassins de l'oued Zita.

Bassin versants	ΣP	ΣE	K_R	D
Zita I	577,3	56,0	9,68	521,4
Zita II	557,5	72,1	12,9	485,4
Zita III	563,7	31,8	5,63	531,9
Zita IV	569,0	34,7	6,08	534,3
Zita V	576,7	31,1	5,39	545,6

De l'examen de ce tableau donnant le bilan sur cinq années, on peut en déduire que :

- pour une pluviométrie globale annuelle identique sur les cinq bassins (P comprise entre 577 et 557 mm, soit moins de 4 % de différence), on peut constater que l'écoulement est différent : très comparable pour les bassins III, IV et V mais différent pour les bassins I et II,
- le bassin II est celui qui ruisselle le plus, et ce, assez nettement (25 % de plus que pour le bassin 1 et plus de 55 % de plus par rapport aux bassins III, IV et V),

- la pluviométrie des bassins I et V est quasiment la même alors qu'elle est différente pour les autres bassins. Il semble donc, que le haut bassin du Zita soit plus arrosé que la partie aval. C'est paradoxalement le bassin II qui reçoit la plus faible hauteur de pluie, qui possède le coefficient de ruissellement le plus élevé.

On peut donc en conclure que :

- le ruissellement plus important observé sur le Zita II, malgré un faible total pluviométrique (le plus faible de tous les bassins), est dû principalement à la nature géomorphologique et pédologique du bassin. Il présente en effet, sur son flanc Nord-Est, de fortes pentes précédant un plateau qui sert d'impluvium et qui est nu de toute végétation. Il est vraisemblable que cette surface plane, légèrement pentue, présente une organisation pelliculaire de surface qui réduit sans doute l'infiltration et facilite l'apparition de pellicules de "battance" très favorables au ruissellement.
- Le faible ruissellement observé sur le bassin III, malgré une pente moyenne assez forte, provient vraisemblablement du fait que la partie médiane du bassin est constituée par un plateau sur lequel affleurent des bancs de gypse et de calcaires alternés, à pendages subverticaux, donc très favorables à l'infiltration.
- On peut par ailleurs attribuer le faible ruissellement observé sur le bassin 4 au fait que, de tous les bassins, c'est de loin celui dont le couvert végétal est le plus "dense". De plus, la surface du sol est jonchée de galets, de gravillons et de graviers provenant de l'altération des horizons superficiels et donnant à cette surface un aspect rugueux. Enfin, la présence d'un réseau racinaire bien développé facilite l'infiltration des eaux de pluie, surtout lors d'averses de faible intensité.

CHAPITRE 7

CARACTERISTIQUES ET FORMES DES CRUES

7.1 - LE BASSIN VERSANT DU ZITA I

7.1.1 - Description générale des principaux événements liés averses-crues

Pour étudier les caractéristiques générales des crues, on dispose au départ de 49 hydrogrammes sur le bassin principal de l'oued Zita, entre le début des observations (15 septembre 1972) et le 1er septembre 1978, date à partir de laquelle le dispositif de mesure de la pluie a été réduit. Il ne restait plus en effet, entre le 1er septembre 1978 et le 31 août 1980, que 2 pluviographes en service sur le bassin : les PG 23 et PG 24, doublés de deux pluviomètres, ce qui n'est pas suffisant pour caractériser les averses de façon précise.

Un assez grand nombre de ces hydrogrammes doit, en outre, être éliminé pour l'étude générale, en raison des singularités qui ressortent à l'examen des tableaux de caractéristiques des crues, des graphiques de crues donnés en annexe, des hyétogrammes des averses ayant généré les crues retenues et du tracé des isohyètes de ces mêmes averses.

Les crues retenues peuvent être classées en quatre catégories principales :

1) Les crues correspondant à un ruissellement partiel sur le bassin du Zita I. Elles sont généralement de faible amplitude (débit maximum ne dépassant pas $1 \text{ m}^3/\text{s}$) et présentent une hauteur de lame ruisselée qui, 9 fois sur 10, est inférieure à 1,0 mm. Ces crues, au nombre de 18, sont les suivantes : 1, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 18, 25, 27, 29, 30, 33, 34, 38, 39, 45. (chapitre 6, tableau 6.1). Ces crues ne peuvent pas être prises en compte dans l'étude de paramètres tels que temps de montée et temps de base des hydrogrammes, ou temps de réponse du bassin versant.

2) Les crues, présentant des hydrogrammes dédoublés (une dizaine environ), alors que les averses correspondantes ne comportent qu'un seul corps bien individualisé. Le phénomène provient d'une hétérogénéité de la pluie dans le temps. Il arrive en effet assez souvent, que toutes les parties du bassin ne soient pas arrosées par l'averse au même moment, ce qui peut entraîner un décalage important dans la réaction des sous-bassins, d'où un hydrogramme résultant présentant deux pointes bien distinctes. Ces hydrogrammes portent les numéros 1, 2, 6, 7, 12, 13, 20, 22, 23, 38, 41 et 42. Certains d'entre eux entraient déjà dans la catégorie précédente (n° 1, 6, 7, 13 et 38).

3) Les crues résultant d'averses à deux pointes d'intensité très espacées (cas des crues n° 17 et 28) et présentant également de ce fait un double maximum.

4) Les crues complexes et très étalées en raison de la durée de l'averse (cas des crues n° 26 et 27) ou les crues imbriquées, résultant de trains d'averses très rapprochées (exemple des crues n° 20, 21, 22 et 23) ; la séparation des hydrogrammes étant dans ce cas assez subjective, les crues correspondantes n'ont pas été retenues pour l'étude des caractéristiques générales.

Mis à part les événements exceptionnels du mois de décembre 1973, dont l'analyse donnera lieu à un paragraphe particulier, il n'a donc été retenu que neuf crues exploitables, dont les caractéristiques ont été rassemblées dans le tableau ci-après :

Bassin du ZITA I - Caractéristiques des crues retenues

n°	Date	HR mm	Q _{max} m ³ /sx	T _m mn	T _b mn	T _p mn	Q _{max} H _R
4	5.12.72	2,46	5,60	18'	(60')	30'	2,37
5	30.12.72	4,69	10,1	11'	66'	20'	2,15
16	15.10.74	7,90	18,5	15'	70'	18'	2,34
19	18.06.75	14,0	34,4	14'	66'	11'	2,46
24	9.01.76	4,31	5,42	(33')	(140')	(25')	1,26
31	26.02.76	4,00	4,40	(29')	93'	(30')	1,10
32	27.02.76	4,29	5,55	(27')	120'	30'	1,29
40	15.02.77	2,67	6,05	20'	80'	27'	2,27
43	24.11.77	7,86	21,7	20'	70'	18'	2,76

La crue n° 4 résulte d'une averse à un seul corps d'intensité moyenne ($I_{max} = 30 \text{ mm/h}$) de 8,5 mm de moyenne, dont le coefficient de ruissellement atteint 29 % en raison d'un état d'humectation préalable très favorable. L'hydrogramme peut être sélectionné comme hydrogramme type de crue de moyenne importance (fig. A₁, en annexe).

La crue n° 5 résulte également d'une averse à corps unique présentant une pointe d'intensité de 70 mm/h bien individualisée. Cette averse n'est malheureusement pas très homogène sur le bassin de Zita I puisque la hauteur de précipitation qui est de 13,3 en moyenne, va décroissant de 16,0 mm à 10,0 mm de l'amont vers l'aval du bassin. Malgré cela, la crue peut être sélectionnée pour l'établissement d'un hydrogramme type de fortes crues (fig. A₂, en annexe).

La crue n° 16 du 15 octobre 1974 est générée par une averse assez hétérogène, puisque pour une hauteur moyenne de 16,4 mm, les hauteurs ponctuelles varient de 10 à 20 mm d'Est en Ouest. Les intensités sont très fortes et atteignent localement 160 mm/h en 5 minutes. Les fortes intensités se produisent en début d'averse. Il faut noter la violence et la brièveté de l'orage dont le corps moyen ne dépasse pas 10 minutes.

Malgré l'hétérogénéité de la pluie, l'hydrogramme a été retenu pour l'établissement de l'hydrogramme type de fortes crues sur les 3 bassins (I, II et III) en raison de la constance remarquable des hauteurs de lames ruisselées sur les 3 bassins (fig. A₃, en annexe).

La crue n° 19 du 18 juin 1975, résulte d'une averse très homogène, si l'on excepte le maximum centré sur l'aval du bassin principal. Pas de pluie préliminaire, pas de traîne et un corps d'averse limité à 15 minutes.

Intensité maximale moyenne de 129 mm/h en 5' et atteignant 220 mm/h sur le bassin du Zita III.

L'hydrogramme résultant a été retenu pour l'établissement de l'hydrogramme type des 3 bassins. Les coefficients de ruissellement observés sont les plus forts sur la période 1972-1978 en dehors de ceux des crues exceptionnelles de décembre 1973.

Lames ruisselées H, de 14,0, 10,2 et 19,4 mm respectivement sur les bassins 1, 2 et 3 donnant des coefficients de ruissellement très élevés ($K_r = 82,3 \%$ pour le Zita I, 68 % pour le Zita II et 77,9 % pour le Zita III) (fig. A₄, en annexe).

La crue n° 24 du 9 janvier 1976. C'est une série d'une dizaine d'averses se succédant à intervalles d'une à deux heures avec des intensités maximales comprises entre une dizaine de mm/h et 50 mm/h. La hauteur globale de pluie de la journée est de 58,4 mm et la répartition est très

homogène dans l'espace.

Ces averses ont donné lieu à quatre crues (nous ne retiendrons que la 4ème), dont l'analyse permet de noter la variation de la capacité apparente moyenne d'absorption (Cam) des bassins. Alors qu'on devrait voir celle-ci diminuer à mesure que l'humectation des sols augmente, on constate qu'en fait cette Cam dépend essentiellement de l'intensité des averses, l'absorption étant d'autant plus forte que l'intensité est elle-même plus forte (fig. A₅ et A₆, en annexe).

Cette influence de l'intensité peut s'expliquer par la grande hétérogénéité des sols des bassins du point de vue de la perméabilité ; hétérogénéité d'autant plus remarquée que l'humectation initiale des sols est plus faible. L'hétérogénéité tend à disparaître presque totalement dans les cas où la totalité de la superficie du bassin versant est saturée en eau. C'est ce qui se produit lors des phénomènes exceptionnels du 12 décembre 1973 (fig. 7.6).

La crue n° 31 du 26 février 1976 est générée par l'une des huit averses qui se succèdent à intervalles très rapprochés depuis le 25 au soir. Ces averses ne présentent individuellement aucun caractère exceptionnel, les intensités sont modérées toujours inférieures à 30 mm/h en 5 minutes, et les hauteurs partielles sont faibles ; la plus forte étant la première averse du 25 février avec 9,7 mm sur le Zita I.

En revanche, le total des 3 jours est important, puisqu'il atteint 64 mm en moyenne avec un minimum de 52 mm à l'aval du bassin et un maximum de 71,6 mm à l'amont. La crue retenue est due à une averse à corps unique, et à une pointe. Mise à part la première averse, qui correspond à une humectation très médiocre du sol, les capacités d'infiltration postérieures sont faibles (inférieures à 5 mm/h). On peut noter l'augmentation progressive du coefficient de ruissellement général à l'échelle du bassin principal pour des averses tout à fait comparables en hauteur et en intensité (fig. A₇, en annexe).

La crue n° 32 du 27 février 1976 est due à la dernière averse de l'épisode pluvieux de trois jours que nous avons décrit précédemment. Elle résulte d'une averse à corps unique, d'intensité moyenne ($I_{max} = 30,7 \text{ mm/h}$), mais arrivant sur un sol déjà bien imbibé, ce qui explique le fort coefficient de ruissellement ($K_r = 65 \%$) pour une pluie moyenne de 6,6 mm (fig. A₈, en annexe).

La crue n° 40 du 15 février 1977 est amplifiée par une averse d'une hauteur moyenne de 11,4 mm, survenue 36 heures plus tôt et qui s'est totalement infiltrée. L'averse du 15 février présente un seul corps avec une longue traîne et une intensité maximale de 48 mm/h, sa durée est de 25 minutes. L'hydrogramme de crue peut être retenu pour l'établissement d'un hydrogramme-type de crue moyenne (fig. A₉, en annexe).

La crue n° 43 du 24 novembre 1977 résulte d'une averse de type orageux survenant après une période sans pluie de 37 jours. C'est une averse très brève, de forte intensité ($I_{max} = 84 \text{ mm/h}$) entraînant un ruissellement généralisé sur le bassin principal malgré un état d'humectation initial des sols en principe très défavorable.

L'hydrogramme a été retenu pour l'établissement de l'hydrogramme type de fortes crues (fig. A₁₀, en annexe).

7.1.2 - Forme et puissance des crues

7.1.2.1 - Les débits de pointe

Un premier examen des valeurs des débits de pointe des 60 crues observées sur le bassin de l'oued Zita (Zita I) montre que 32 d'entre elles, soit un peu plus de la moitié, sont inférieures à $1 \text{ m}^3/\text{s}$, et qu'il s'agit là de crues correspondant en général à un ruissellement partiel du bassin.

On constate en outre, que 25 % des valeurs sont comprises entre 1 et $5 \text{ m}^3/\text{s}$ et que seulement 14 % d'entre elles sont supérieures à $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Une analyse statistique un peu plus poussée a été faite sur le bassin I, sur un échantillon tronqué de 28 valeurs supérieures à $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ qui ont été classées dans le tableau ci-après en regard de leur fréquence expérimentale F au dépassement :

rang	Q_x m^3/s	$y = \log(Q_x-1)$	Fréquence F	rang	Q_x m^3/s	$y = \log(Q_x-1)$	Fréquence F
1	131,0	4,87	0,0178	15	2,86	0,62	0,5179
2	84,0	4,42	0,0535	16	2,85	0,62	0,5576
3	34,4	3,51	0,0892	17	2,81	0,59	0,5893
4	21,7	3,03	0,1250	18	2,33	0,29	0,6250
5	18,5	2,86	0,1607	19	2,25	0,22	0,6607
6	10,1	2,21	0,1964	20	2,22	0,20	0,6964
7	9,03	2,08	0,2321	21	1,86	-0,15	0,7321
8	7,33	1,85	0,2679	22	1,84	-0,17	0,7679
9	6,05	1,62	0,3036	23	1,80	-0,22	0,8036
10	5,60	1,53	0,3393	24	1,66	-0,42	0,8393
11	5,55	1,52	0,3750	25	1,31	-1,17	0,8750
12	5,42	1,49	0,4107	26	1,20	-1,61	0,9107
13	4,40	1,22	0,4464	27	1,16	-1,83	0,9464
14	4,40	1,22	0,4821	28	1,10	-2,30	0,9821

Le graphique de la figure 7.1, sur lequel ont été reportés les couples de points (Q_x , F [Q_x-1]) en coordonnées gausso-logarithmiques, montre que l'échantillon se répartit très bien selon une loi log-normale définie par la moyenne y et l'écart type σy de l'échantillon des logarithmes $y = \log(Q_x-1)$, soit:

$$\bar{y} = 1,0036 \text{ et } \sigma y = 1,76393$$

$$\text{L'équation étant : } u = 0,5669 \log(Q_{\max} - 1,0) - 0,5684$$

La validité de cet ajustement est d'ailleurs confirmée par le test du χ^2 .

Nous avons choisi de retenir 5 classes d'égale probabilité théorique, comprenant donc chacune $28/5 = 5,6$ valeurs théoriques X_i . Les limites de classe découlent de ce choix. Dans ces limites, on relève sur le tableau précédent des débits maximaux classés, les valeurs expérimentales contenues n_i . Le tableau ci-après donne le détail du calcul :

N° de Classes	Limite de classes	n_i	V_i	$n_i - V_i$	$(n_i - V_i)^2$	$\frac{(n_i - V_i)^2}{V_i}$
1	> 13,04	5	5,6	-0,6	0,36	0,0643
2	13,4 - 5,27	7	•	1,4	1,96	0,350
3	5,27 - 2,74	5	•	-0,6	0,36	0,0643
4	2,74 - 1,62	7	•	-1,4	1,96	0,350
5	< 1,62	4	•	-1,6	2,56	0,4571

Pour un degré de liberté, il indique une probabilité au dépassement supérieur à 10 %, ce qui permet de considérer l'ajustement comme satisfaisant.

La loi log normale peut donc être adoptée sans réserve.

D'autre part, en supposant que les crues sélectionnées sont des événements indépendants et que le nombre de crues par an dépassant le seuil de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ suit une loi de Poisson, on peut déterminer la valeur de F correspondant à un débit maximal annuel de période de retour T donnée par :

$$F = 1 + 1/\lambda \operatorname{Logn}(1 - 1/T)$$

λ étant le nombre moyen annuel de crues supérieures au seuil, soit $\lambda = 28/8 = 3,5$

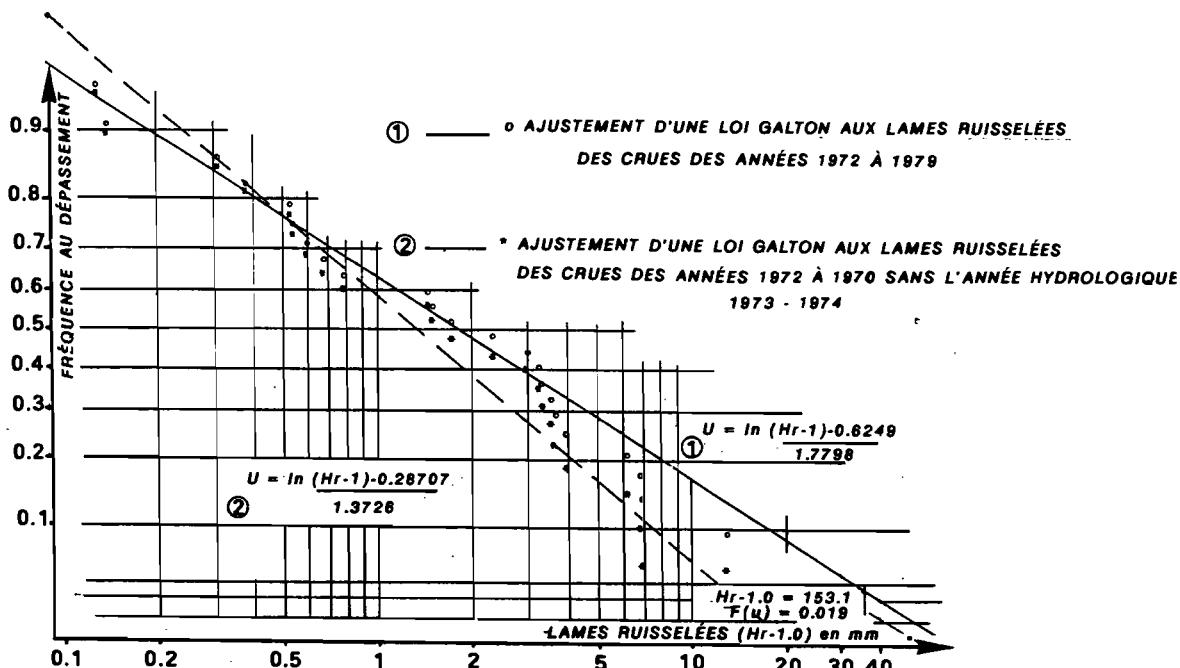


Fig-7-1 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 1

Les valeurs des débits Q max ont été calculées de cette manière pour différentes récurrences :

T (années)	F	u	Q max(m^3/s)	q_x ($1/\text{s km}^2$)
2	0,8020	0,8426	13,2	4120
5	0,9362	1,5240	41,0	12800
10	0,9699	1,8793	76,0	23750
20	0,9853	2,1793	128,3	40100

Ces valeurs correspondent à l'ajustement effectué sur la totalité des débits maxima dépassant $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Nous avons essayé le même ajustement en ne prenant pas en compte les valeurs de l'année 1973-74, qui en raison de la faible taille de l'échantillon risquent de déformer l'ajustement. Nous avons également représenté cet ajustement sur le graphique de la figure 7.1.

Les valeurs des débits Q_{max} obtenues par la même méthode que précédemment sont : (avec $\lambda = 25/7 = 3.57$)

T (années)	F	u	$Q_{\text{max}}(\text{m}^3/\text{s})$	$q_x (\text{l/s km}^2)$
2	0,8059	0,8630	8,79	2750
5	0,9375	1,5343	21,2	6640
10	0,9705	1,8882	34,5	10800
20	0,9856	2,1873	52,2	16300

En comparant les valeurs des débits de récurrence 5 et 10 années, obtenues, en prenant ou non en compte les valeurs exceptionnelles de l'année 1973-74, on peut dire que le débit maximum décennal est compris entre 34,5 et 76 m^3/s , vraisemblablement de l'ordre de 35,0 à 40 m^3/s (par exemple).

L'extrapolation de l'ajustement statistique ne peut raisonnablement être menée plus loin, compte tenu de la taille réduite de l'échantillon. L'extrapolation à 20 ans que nous avons faite est déjà très hasardeuse.

Cependant, ceci nous permet de mesurer le caractère assez exceptionnel des crues du 12 décembre 1973 qui, d'après la deuxième loi retenue ici, conduirait à admettre une période de retour supérieure à 150 ans.

7.1.2.2 - Temps de réponse du bassin et temps de montée des hydrogrammes

De l'examen des 9 crues que nous avons retenues, il ressort que le temps de réponse T_p du bassin varie entre une trentaine de minutes pour les crues les plus faibles et un peu plus de dix minutes pour les plus fortes valeurs du débit de pointe ($T_p = 11$ minutes pour la première grande crue du 12 décembre 1973, ainsi que pour la crue du 18 juin 1975 qui a atteint 34,4 m^3/s).

Cette décroissance du temps de réponse en fonction du débit de pointe apparaît d'ailleurs très nettement sur le graphique de la figure 7.2

On peut donc en conclure que le temps de réponse n'est pas une constante pour le bassin.

En revanche, il n'apparaît pas de liaison aussi nette entre le temps de montée de la crue et la valeur du débit de pointe. En effet, on constate que T_m peut varier du simple au double pour un Q_x voisin (crues 4 et 24), ou rester quasi constant pour un Q_x variant du simple au triple (crues 5 et 19).

Cette dispersion assez importante des valeurs du temps de montée T_m peut être attribuée, soit à la durée plus ou moins longue du corps de l'averse (pouvant dans certains cas dépasser la durée du temps de réponse), soit à l'hétérogénéité de l'averse dans le temps ou dans l'espace.

Une averse centrée sur l'aval du bassin ou se déplaçant de l'amont vers l'aval, entraîne évidemment un temps de montée plus court que dans le cas inverse. Toutefois, en s'appuyant sur les caractéristiques de la crue n° 19, qui résulte d'une averse très homogène et pratiquement de caractère unitaire (durée du corps de 15 minutes) on peut fixer à 15' la valeur du temps de montée correspondant à une averse homogène. C'est d'ailleurs cette valeur qui sera prise en compte dans l'établissement de l'hydrogramme type médian du bassin I (fig. 7.3).

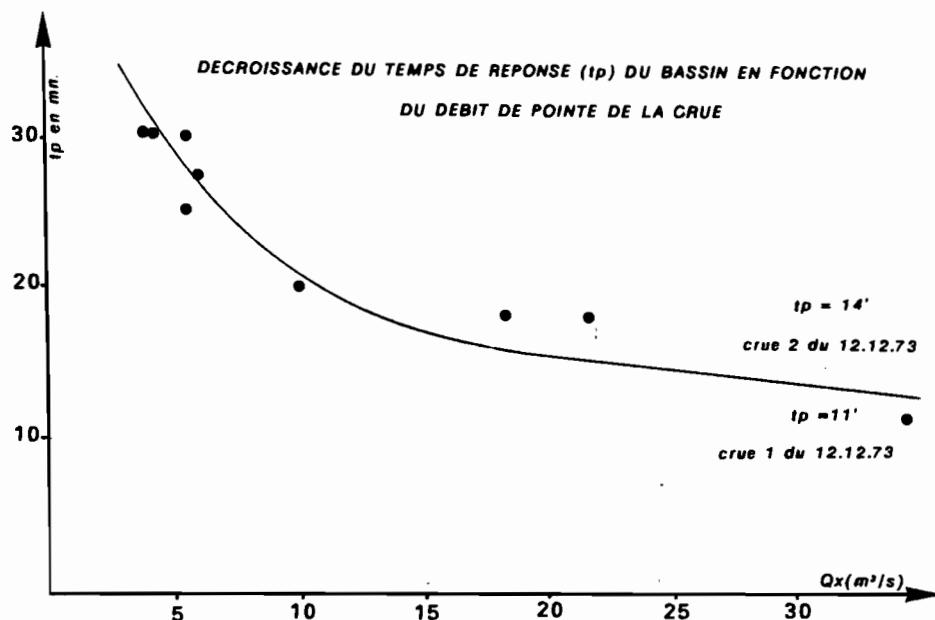


Fig-7-2 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 1

7.1.2.3 - Temps de base et paramètre de forme

7.1.2.3.1 - Temps de base

L'examen du tableau des caractéristiques des crues retenues pour l'établissement d'un hydrogramme représentatif, fait apparaître deux catégories de crues :

Les unes correspondent à des pluies à corps unique et de courte durée (type pluie d'orage), les autres générées par des averses plus longues, aux intensités moins fortes, font le plus souvent partie d'une séquence pluvieuse.

Dans la première catégorie les temps de base varient entre 60 et 80 mn avec une valeur moyenne très proche de la médiane, de l'ordre de 68 mn. Les coefficients Q_{max} / H , sont compris entre 2,15 et 2,76. Ce sont pour la plupart des crues à débit maximum élevé.

Dans la deuxième catégorie de crues (liées en générale aux averses d'hiver ou de printemps), les temps de base sont plus importants, en moyenne proches de 120 mn et en proportion avec la durée de l'averse.

Nous retiendrons comme valeur du temps de base de l'hydrogramme type du bassin $T_b = 60\text{mm}$

7.1.2.3.2 - Paramètre de forme

Nous donnons dans le tableau ci-après les différentes valeurs de Q_{\max} et de H_r , ainsi que les paramètres de forme $\alpha = Q_{\max} / Q_{\text{moy}}$ et $R = Q_{\max} / H_r$, des crues sélectionnées.

N° des crues	H_r	Q_n	Q_{\max}	Q_{\max}/Q_n	Q_{\max}/H_r
4	2,46	2,19	5,84	2,67	2,37
5	4,69	3,79	10,1	2,66	2,15
16	7,90	6,02	18,5	3,07	2,34
19	14,00	11,31	34,4	3,04	2,46
24	4,31	1,64	5,42	3,30	1,26
31	4,00	2,29	4,40	1,92	1,10
32	4,29	1,91	5,55	2,91	1,29
40	2,67	1,78	6,05	7,40	2,27
43	7,86	5,99	21,7	3,62	2,76

La dispersion des valeurs Q_{\max}/H_r (paramètre de forme R) en fonction de Q_{\max} provient en partie du fait que les crues issues de pluies relativement longues doivent être considérées comme complexes.

Pour les crues où le Q_{\max} est supérieur à $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$, les valeurs les plus fréquentes sont comprises entre 2,30 et 3,0.

Les valeurs voisines de 1 s'observent pour les très longues crues et celles proches de 3,50 ou 3,9 pour les crues engendrées par des pluies d'orages.

7.1.3 - Hydrogrammes des crues exceptionnelles

7.1.3.1 - Etablissement de l'hydrogramme médian.

La forme des crues est représentée par l'hydrogramme, séquence des débits successivement générés à la station de contrôle du bassin versant entre le début et la fin du ruissellement. A partir d'un échantillon suffisant d'averses-crues, il est possible de procéder à une analyse dont l'objectif est d'obtenir une représentation des caractéristiques moyennes de la forme des crues du bassin.

La méthode classique consiste à ne retenir que les crues simples, dites unitaires, engendrées par une averse homogène de courte durée, mais ruisselant sur l'ensemble du bassin. On en dégage ensuite un hydrogramme unitaire type, à partir duquel on peut déduire, des hyéogrammes d'une averse donnée, l'hydrogramme de la crue résultante.

Ceci exige que l'on puisse disposer de crues provoquées par des averses de durée suffisamment courte pour qu'elles soient nettement inférieures au temps de montée de la crue résultante.

Cette condition n'est pratiquement jamais réalisée sur des bassins de petite superficie où le temps de concentration est généralement inférieur à la durée moyenne des averses les plus simples (c'est le cas des bassins II et III).

En ce qui concerne le bassin du Zita I, nous avons renoncé à rechercher un hydrogramme unitaire tel qu'on l'entend, pour plusieurs raisons :

- 1 - On ne dispose pas, malgré huit années d'observations, d'un nombre assez important de crues répondant aux critères d'unitarité, à l'exception peut-être de la crue n° 19 qui s'en rapprocherait le plus.

2 - Il semble d'autre part, et nous le verrons plus loin, que toutes les crues observées sur le bassin versant ne puissent pas être reconstituées par la méthode dite de "l'hydrogramme unitaire".

Dans ces conditions, nous avons jugé plus raisonnable de nous contenter d'établir un hydrogramme médian du bassin du Zita I, établi à partir de trois crues jugées les plus "représentatives" des phénomènes moyens, et pouvant être utilisé pour la reconstitution d'autres crues.

Les crues que nous avons retenues (crues n° 16, 19 et 43) sont en général provoquées par les averses dont la durée utile est la plus voisine, ou ne dépasse pas trop les temps de montée les plus courts.

- Crue n° 16 du 15 octobre 1974

$$\bar{P}_m = 16,4 \text{ mm} \quad H_r = 7,90 \text{ mm} \quad Q_{\max} = 18,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Rapport de forme $R = 2,34$

$T_m = 15$ minutes, $T_b = 70$ minutes

L'averse est composée d'une tranche de 10 minutes ayant provoqué la crue (fig. A₃, en annexe).

- Crue n° 19 du 18 juin 1975

$$\bar{P}_m = 17,0 \text{ mm} \quad H_r = 14,0 \text{ mm} \quad Q_{\max} = 34,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Rapport de forme $R = 2,46$

$T_m = 14$ minutes, $T_b = 66$ minutes

L'averse génératrice est composée d'un corps unique de 15 minutes provoquant la crue (fig. A₄, en annexe)

- Crue n° 43 du 24 novembre 1977

$$\bar{P}_m = 34,7 \text{ mm} \quad H_r = 7,86 \text{ mm} \quad Q_{\max} = 21,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Rapport de forme $R = 2,76$

$T_m = 18$ minutes, $T_b = 70$ minutes

L'averse génératrice se compose d'une tranche utile de 14 minutes (fig. A₁₀, en annexe).

Rapportés à une lame de 1,0 mm (ce qui correspond à un volume de crue de 3200 m³), les hyéogrammes des crues n° 16, 19 et 43 permettent de définir la séquence des débits de l'hydrogramme type médian (fig. 7.3).

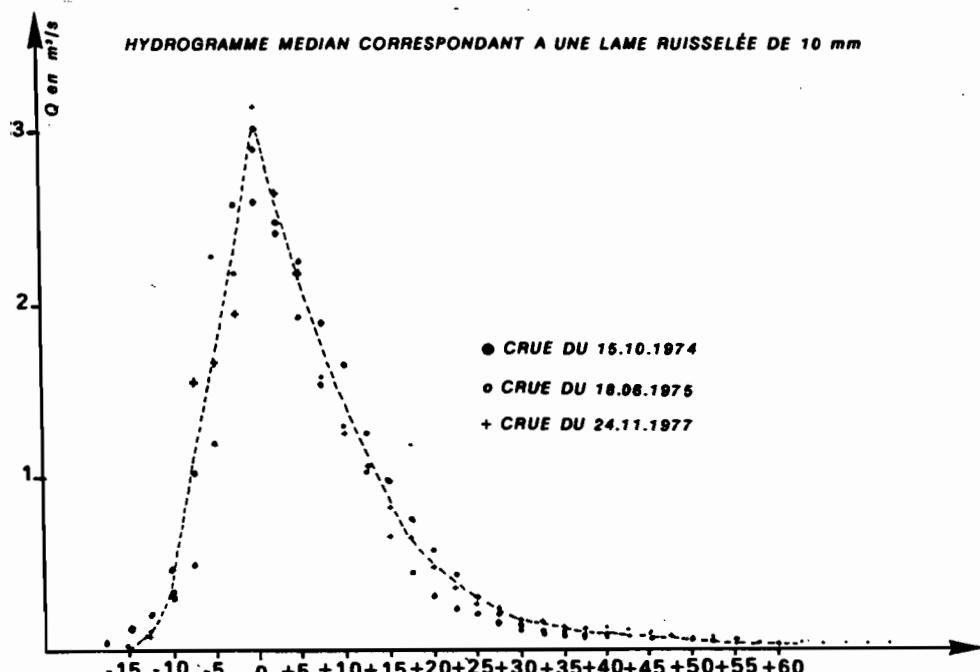


Fig-7-3 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 1

- Hydrogramme médian du Zita I

crues	- 15'		- 10'		- 5'		0		+ 5'		+ 10'		+ 15'		+ 20'	
n° 1(16)	0,028	0,113	0,198	0,312	0,496	1,19	2,17	2,59	2,47	2,26	1,91	1,65	1,26	0,98	0,76	0,56
n° 2(19)	-	0,015	0,094	0,335	1,02	2,28	2,58	2,90	2,43	1,94	1,55	1,30	1,04	0,664	0,452	0,313
n° 3(43)	-	0,015	0,091	0,469	1,56	1,68	1,95	3,15	2,65	2,19	1,58	1,27	1,06	0,833	0,651	0,484
Médian	-	0,31	0,114	0,375	1,06	1,75	2,26	3,02	2,57	2,11	1,73	1,42	1,112	0,866	0,637	0,500
crues	+ 25'		+ 30'		+ 35'		+ 40'		+ 45'		+ 50'		+ 55'		+ 60'	
n° 1(16)	0,44	0,29	0,19	0,127	0,113	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,085	0,085	0,071	0,057	0,057
n° 2(19)	0,241	0,204	0,167	0,145	0,131	0,116	0,109	0,102	0,087	0,073	0,058	0,043	0,029	0,021	0,014	-
n° 3(43)	0,348	0,287	0,227	0,181	0,151	0,121	0,091	0,076	0,061	0,045	0,030	0,030	0,015	-	-	-
Médian	0,365	0,271	0,208	0,167	0,135	0,125	0,104	0,083	0,073	0,063	0,063	0,063	0,031	-	-	-

Les caractéristiques de l'hydrogramme type médian sont :

- $T_m = 15$ minutes
- $T_b = 70$ minutes
- $Q_{max} = 3,02 \text{ m}^3/\text{s}$
- $H_r = 1,0 \text{ mm}$

7.1.3.2 - Essai de définition de la crue décennale

Il existe plusieurs méthodes possibles permettant d'établir les caractéristiques de la crue décennale sur un bassin. Lorsque l'on dispose de nombreuses années d'observations et d'une quantité suffisante de crues, il est possible d'adapter aux échantillons de débits maximaux et de lames ruisselées, des lois statistiques qui fournissent pour une récurrence donnée, le débit maximal et la valeur de la lame ruisselée.

Lorsque le nombre des crues observées est insuffisant, on peut établir les caractéristiques de la crue de récurrence donnée à partir de la précipitation de même récurrence au moyen d'un modèle de transfert averse-crue défini par l'analyse.

Nous avons essayé, pour le Zita I, plusieurs approches possibles pour estimer la crue de récurrence décennale et vous donnons ci-après les résultats auxquels nous sommes parvenus.

7.1.3.2.1 - La méthode de "l'hydrogramme unitaire".

Nous avons appliqué l'hydrogramme médian défini auparavant, à une pluie d'une hauteur donnée considérée sur le bassin de l'oued Zita comme de fréquence décennale.

La valeur de la hauteur de pluie journalière de récurrence décennale est obtenue en appliquant la corrélation liant les pluies de Gabès à celle du bassin Zita, à une pluie de même récurrence observée à Gabès (paragraphe 3.7.2.2 du chapitre 3). La pluie décennale journalière du Zita serait de l'ordre de 64,0 mm, total qui correspond vraisemblablement à une séquence de plusieurs averses se succédant au cours de la journée. Dans ce cas précis, il est admis que l'averse la plus importante représente en général de 40 à 45 % du total journalier. Dans ces conditions, l'averse sur le bassin du Zita serait comprise entre 25 et 29,0 mm.

A partir des courbes intensité-durée du chapitre 3 et de l'étude des hyéogrammes centrés, il est possible d'établir par juxtaposition, un hyéogramme moyen recomposé à partir des valeurs obtenues aux pluviographes du bassin.

D'autre part, et bien que l'étude de la variation du coefficient d'absorption moyen soit, sinon impossible, du moins très difficile, en raison principalement du faible nombre d'événements observés, nous avons pris comme valeur de Cam , une valeur moyenne de 25,0 mm/h obtenue à partir de 9 crues assez bien individualisées et dont les lames ruisselées, le plus souvent supérieures à 2 mm, témoignent d'un ruissellement général du bassin (il est intéressant de noter que les valeurs de ces Cam varient de 12 à 60 mm/h).

Dans ces conditions, avec une averse génératrice de hauteur $Pa = 26,0$ mm en 30 minutes, et en répartissant le déficit de ruissellement d'une façon uniforme sur les différentes tranches de l'averse ayant contribuées au ruissellement, puisque nous n'avons pas pu déterminer valablement de courbe de variation de la capacité moyenne d'absorption, nous obtenons une lame ruisselée de 14,6 mm.

A chaque tranche d'averse est ainsi attribuée une valeur de lame ruisselée et, en utilisant l'hydrogramme type médian, une crue simple. La composition des crues successives fournit l'hydrogramme global de la crue décennale. Les résultats de cette opération sont présentés dans le tableau ci-après (cf. également le graphique de la figure 7.4).

P 5'	2,0		11,7		5,42		3,75		1,67		1,20	
P 2'30"	1,0	1,0	5,83	5,83	2,71	2,71	1,88	1,88	0,84	0,84	0,60	0,60
Dr mm	1,0	1,0	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,84	0,84	0,60	0,60
Hr mm	-	-	7,79	4,79	1,67	1,67	0,84	0,84	-	-	-	-
Qm m^3/s	14,5	14,5	5,04	5,44	8,54	8,54	-	-	-	-	-	-
Qt m^3/s	0	0	30,4	34,7	33,6	31,1	27,3	18,7	27,3	18,7	0	0

Les caractéristiques générales de la crue décennale estimée pour le bassin I de l'oued Zita seraient donc les suivantes :

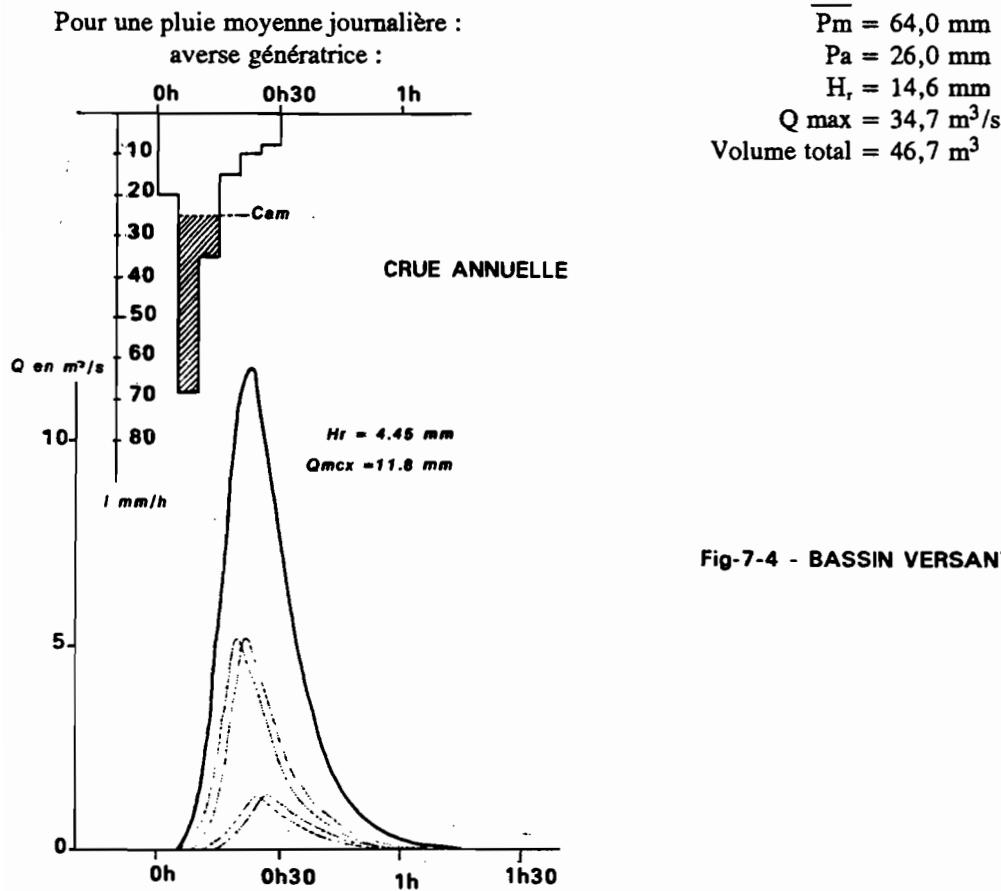


Fig-7-4 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

L'application de la même méthode à une pluie provoquant une crue de récurrence annuelle donnerait les résultats suivants :

Pour une pluie moyenne journalière :
averse génératrice :

$$\begin{aligned} P_m &= 26,0 \text{ mm} \\ P_a &= 13,0 \text{ mm} \\ H_r &= 4,45 \text{ mm} \\ Q_{\max} &= 11,8 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{Volume total} &= 14,2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

(fig. 7.5)

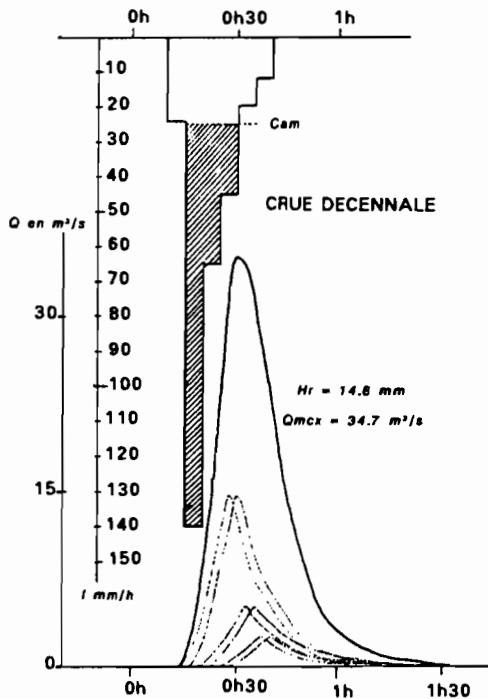


Fig-7-5 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

7.1.3.2.2 - La méthode globale

Dans des conditions médianes, nous avons admis que, sur le bassin du Zita I, la capacité moyenne d'absorption est de l'ordre de 25 mm/h. Nous avons vu que la valeur de la Cam, d'après l'examen de l'ensemble des crues observées, peut varier de 60 mm/h à moins de 3 mm/h, dans les cas précis où l'humectation des sols se rapproche de l'état de saturation. Si, pour l'estimation de la crue décennale, nous restons dans des conditions moyennes, sachant que la hauteur de la pluie est de 26,0 mm et en prenant 25 mm/h comme valeur moyenne de la Cam, nous en déduisons que, pour une averse de 30 minutes, la partie de pluie infiltrée est de 12,5 mm, ce qui nous donne une lame ruisselée de 13,5 mm.

Le débit maximal de la crue décennale sera, dans ces conditions, de 40,8 m³/s pour une crue d'un volume total de 43.200 m³.

7.1.3.2.3 - Estimation par les lames ruisselées

Nous avons également essayé d'estimer la valeur des lames ruisselées de diverses récurrences à partir de l'étude statistique. Un premier examen des valeurs montre que 27 d'entre elles (sur les 60 crues étudiées) sont supérieures à 1,0 mm et que 3 seulement dépassent 10 mm.

Notre analyse s'est donc portée sur l'échantillon complet (26 valeurs) comprenant les valeurs exceptionnelles du 12 décembre 1973 et sur le même échantillon amputé des deux valeurs extrêmes.

Ces valeurs ont été classées dans le tableau ci-après, en regard de leur fréquence expérimentale F au dépassement.

rang r	HR mm	$y = \log(H_r - 1,0)$	Fréquence F	rang r	HR mm	$y = \log(H_r - 1,0)$	Fréquence F
1	154,1	5,031	0,01923	14	2,67	0,512	0,51923
2	76,7	4,326	0,05769	15	2,50	0,405	0,55769
3	14,0	2,564	0,09615	16	2,46	0,378	0,59615
4	7,90	1,931	0,13465	17	1,78	-0,248	0,63462
5	7,86	1,926	0,17308	18	1,68	-0,386	0,67309
6	7,18	1,821	0,21154	19	1,60	-0,510	0,71154
7	4,99	1,384	0,25000	20	1,54	-0,616	0,75000
8	4,69	1,306	0,28846	21	1,53	-0,635	0,78846
9	4,57	1,272	0,32692	22	1,38	-0,967	0,82692
10	4,31	1,196	0,36538	23	1,31	-1,171	0,8654
11	4,29	1,191	0,40385	24	1,14	-1,966	0,9038
12	4,00	1,098	0,44231	25	1,13	-2,040	0,9423
13	3,34	0,850	0,48077	26	1,09	-2,408	0,9808

Le graphique de la figure 7.6, sur lequel ont été reportés les couples de points $[H_r, F(H_r - 1,0)]$ en coordonnées gausso-logarithmiques montre, que l'échantillon se répartit bien selon une loi log-normale définie par la moyenne y et l'écart type σy de l'échantillon des logarithmes $y = \log(H_r - 1,0)$, soit :

$$\bar{y} = 0,62477 \text{ et } \sigma y = 1,77960$$

l'équation de l'ajustement est :

$$u = 0,5619 \log(H_r - 1,0) - 0,351$$

le test d'adéquation du χ^2 est satisfaisant avec une probabilité au dépassement supérieure à 10 % pour 1 degré de liberté et 5 classes d'effectifs les plus voisines de 5 valeurs (5-5-5-5-6).

Si l'on supprime pour cet ajustement les deux premières valeurs correspondant à la crue du 12 décembre 1973, nous obtenons une nouvelle équation de la loi log-normale définie par :

$$\bar{y} = 0,28696 \text{ et } \sigma y = 1,37243$$

L'équation de ce nouvel ajustement est : $u = 0,7286 \log(H_r - 1,0) - 0,20909$. Le test d'adéquation du χ^2 est satisfaisant malgré la taille de l'échantillon avec une probabilité au dépassement supérieure à 5 % (6,1 %) pour 1 degré de liberté et 5 classes d'effectifs les plus voisines de 5 (5, 5, 4, 5, 5).

En supposant que les lames ruisselées correspondent à des événements indépendants et que le nombre de lames ruisselées par an dépassant un seuil de 1,0 mm suit une loi de Poisson, on peut déterminer la valeur de F correspondant à une lame ruisselée de période de retour T donnée par :

$$F = 1 + 1/\lambda \log n (1 - 1/T)$$

λ étant le nombre moyen annuel de lames supérieures au seuil, ce qui nous donne, selon les cas :

$$\lambda_1 = 26/8 = 3,25 \text{ en considérant toutes les lames ruisselées}$$

$$\lambda_2 = 24/7 = 3,43 \text{ en considérant l'ensemble des lames moins celles de l'année 1973-74}$$

les valeurs des lames H_r suivantes ont été calculées de cette manière pour différentes récurrences (fig. 7.6).

1er cas - ensemble des lames ruisselées

T (années)	F	U	H _r calc.
2	0,78672	0,7951	8,69 mm
5	0,93134	1,4858	27,3 mm
10	0,96758	1,8464	50,9 mm
20	0,98422	2,1498	86,7 mm

2ème cas - ensemble des lames ruisselées, moins celles de l'année 1973-74

T (années)	F	U	H _r calc.
2	0,79783	0,8339	5,2 mm
5	0,93492	1,513	11,6 mm
10	0,96927	1,870	18,4 mm
20	0,98504	2,171	27,2 mm

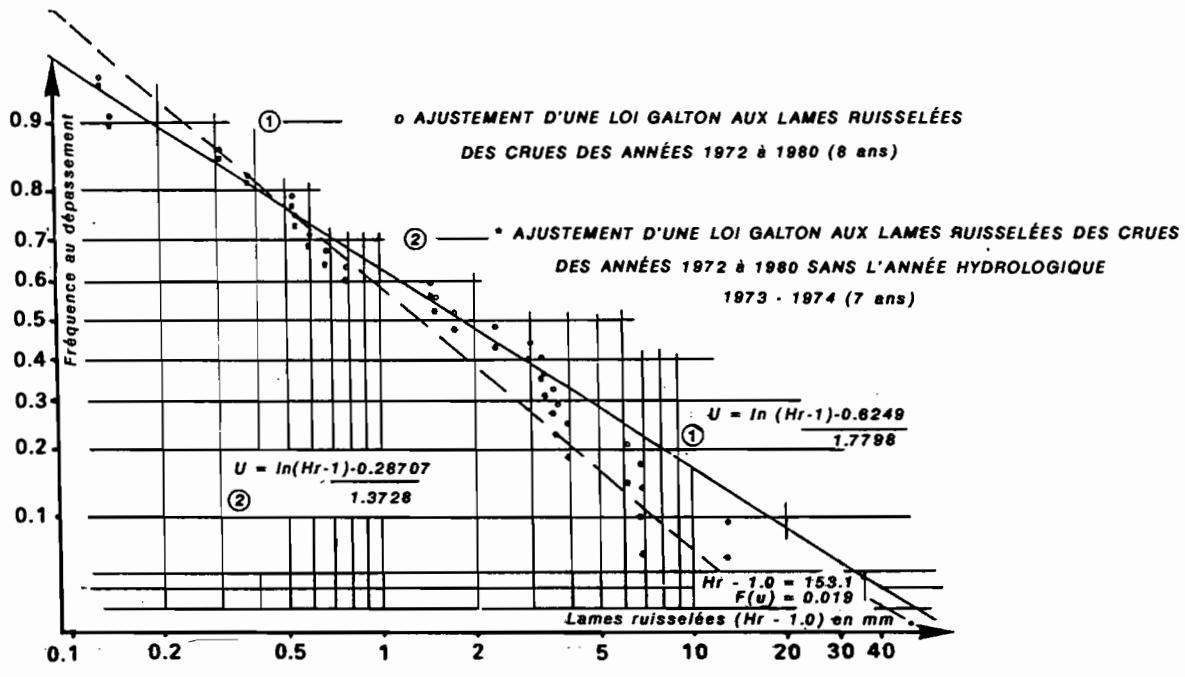


Fig-7-6 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 1

7.1.3.2.4 - Conclusions

L'estimation de la crue décennale sur un bassin versant reste, comme on peut s'en rendre compte, une opération extrêmement délicate. Compte tenu de la courte période d'observations, cette estimation doit être prise comme un ordre de grandeur et non comme une valeur réelle. Ces rappels étant faits, si l'on considère, d'une part les résultats de l'étude statistique des débits maximaux à partir de deux échantillons différents (selon que l'on prend ou non en compte les crues du 12 décembre 1973), d'autre part les résultats de l'étude statistique des lames ruisselées à partir des mêmes échantillons, et enfin les résultats obtenus par application de la méthode de l'hydrogramme type médian et de la méthode globale, on peut dire :

- que le débit de pointe de la crue de récurrence décennale a les plus grandes chances d'être compris entre 35 et 76 m³/s (valeurs exceptionnelles incluses). Dans des conditions médianes, on peut estimer ce débit plus proche de 35 m³/s. En effet, la prise en compte des valeurs rares du 12 décembre 1973 dans un échantillon de très faible effectif, risque de déformer l'ajustement et de conduire à une surestimation des valeurs recherchées.
- Que la lame ruisselée de récurrence décennale est sans doute comprise entre 18 et 51 mm, et pour les mêmes raisons que celles développées précédemment, elle est vraisemblablement plus proche de 18 mm que de 51 mm. Rappelons à ce sujet que les lames ruisselées de décembre 1973, 76,7 mm et 154,1 mm auraient respectivement des périodes de retour de 220 ans et de 1405 ans (dans le deuxième ajustement), confirmant bien ainsi le caractère exceptionnel de ces événements.
- Qu'enfin, les résultats acquis par l'application de la méthode globale et celle de l'hydrogramme type médian semblent cohérents et vraisemblables. On peut les considérer comme satisfaisants, compte tenu des difficultés d'application des méthodes, en raison principalement de la faiblesse de l'échantillon de valeurs dont nous disposons sur le bassin de l'oued Zita.

7.1.3.3 - *Les crues exceptionnelles du 12 décembre 1973*

7.1.3.3.1 - Les faits observés

Comme cela a déjà été dit dans un rapport antérieur (BOURGES, BOUZAIANE, 1974), deux crues bien séparées ont transité le 12 décembre 1973 par la station principale du bassin de l'oued Zita, à la suite des pluies exceptionnelles qui se sont abattues ce jour-là sur la région (fig. 7.7 et 7.8).

La première de ces crues débute à 5 h 40 du matin par un faible débit qui varie entre 1 et 4 m³/s, jusqu'à 8 heures où débute une averse intense et soutenue. Le débit augmente lentement jusqu'à 8 h 20, alimenté principalement par les apports locaux. Au-delà, les premières réactions du bassin versant se manifestent, le débit croît rapidement : 2,4 m³/s par minute ($dQ/dt = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}^2$), provoquant une montée rapide des eaux (4,6 cm/mn).

Le débit maximum estimé à 84 m³/s correspond à la fin de la séquence pluvieuse vers 9 heures. Aussitôt s'annonce la décrue, pratiquement symétrique de la crue. A 10 heures, le débit dans l'oued est revenu à sa valeur initiale (1 m³/s), la crue est terminée. Notons au passage la forme régulière et symétrique de l'hydrogramme, due en grande partie à la régularité dans le temps et dans l'espace de l'averse génératrice.

La deuxième crue de la journée débute à 16 heures. Des pluies d'une rare violence, poussées par des vents tourbillonnaires, de type cyclonique, s'abattent sur un sol déjà bien imbibé par les averses du matin. La réponse est rapide, elle va suivre les fluctuations des précipitations et, par paliers successifs, va atteindre le débit maximum de 131 m³/s peu après 17 heures.

La surface de l'oued se présente alors sous forme de vagues qui déferlent par dessus la passerelle de jaugeage. Des variations rapides de petite amplitude se superposent à un mouvement ondulatoire de la surface, de période et d'amplitude plus grande (40 cm). La décrue intervient, très brutale (13 m³/s par minute, $dQ/dt = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}^2$, soit près de 12,5 cm par minute), seulement interrompue par deux autres pointes de crues de moindre importance et dues à des averses de la traîne. La crue se termine vers 20 heures.

L'examen des caractéristiques de ces deux crues (tableau 6.1) fait apparaître l'importance des coefficients de ruissellement qui, dès la première tornade, atteignent des valeurs exceptionnelles pour ces régions. L'intervention de la deuxième tornade, quelques heures plus tard, sur un sol encore saturé, provoque un coefficient voisin de 100 % et un débit spécifique non moins remarquable ($q_{\max} = 41 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$).

Si l'on considère les valeurs de la pluie corrigée (chapitre 5, paragraphe 5.7.2), on obtient des valeurs qui, quoique très fortes encore, paraissent néanmoins plus plausibles.

C'est ainsi qu'après correction avec les résultats du pluviomètre "sol", on obtient, pour la première crue, P' corrigée égale à 109,4 mm et pour la seconde $P' = 175,3$ mm, ce qui ramène les coefficients de ruissellement respectivement à 70,1 % et 87,9 % qui sont tout de même plus acceptables.

On peut en tirer aussi des indications sur les caractéristiques du bassin. Les deux tornades étant bien séparées, nous possédons deux crues indépendantes. La première, figurée par un corps d'averse compact et régulier, la deuxième, composée de successions d'averses ininterrompues. Les conditions pluviométriques étant plus favorables pour la première, il est certain que les caractéristiques du ruissellement seront plus représentatives.

"Il est intéressant de noter aussi la réaction des bassins de l'oued Zita aux fortes intensités. Si l'on traduisait des débits maxima en intensités (en mm/h), on s'apercevrait qu'ils correspondent à une pluie d'intensité égale à 150 mm/h tombant uniformément sur le bassin durant un temps supérieur au temps de réponse et ruisselant à 100 %".

On peut même se demander si certains débits maximaux n'ont pas une intensité supérieure à la pluie.

Cette singularité n'affecte pas particulièrement la station principale où elle est peut-être moins sensible, mais touche en réalité toutes les stations du bassin versant.

On peut rechercher plusieurs explications à cela :

- tout d'abord, les intensités maximales sur 5 minutes sont sous-estimées par le principe de la méthode même de la mesure qui, aux fortes intensités, entraîne une perte partielle de l'eau en raison du temps de basculement des augets, et ensuite pour les raisons déjà expliquées consécutives aux vents violents. Si l'on suppose la correction de hauteur précipitée applicable aux intensités, il est probable que l'intensité réelle sur 5 minutes avoisine 180 mm/h, ou la dépasse même.
- D'autre part, sur ce type de bassin versant, pauvre en végétation, aux pentes relativement fortes, la chute de pluies exceptionnelles conduit à un état de saturation quasi totale au sol, et il se produit alors un phénomène hydraulique très particulier de propagation des écoulements. "En effet, le temps de réponse n'est pas une constante du bassin, il dépend de l'état du sol par sa réaction aux ruissellements, et va donc tendre à diminuer en fonction de l'état de saturation de celui-ci, jusqu'à un seuil minimal". Cela peut se traduire, dans le cas où nous avons deux maxima d'intensité, ou même dans le cas d'une intensité forte et régulière, par une vitesse de propagation des dernières précipitations supérieure aux premières. Il en résulte un rattrapage d'un front de crue par un autre, pouvant provoquer par superposition un débit supérieur aux débits maxima pris séparément. La vitesse de propagation de l'eau va très probablement croissant avec la détention superficielle.

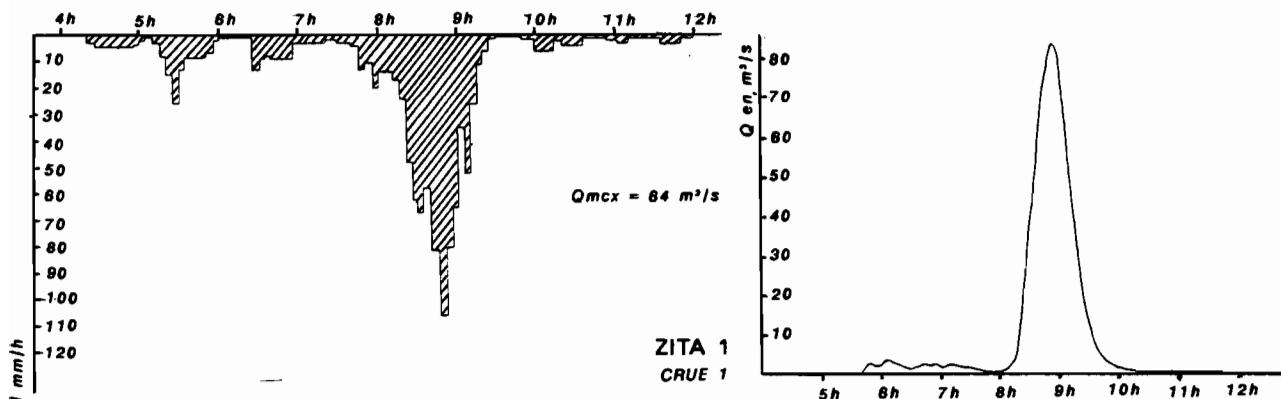
1^{er} ÉPISODE DU 12 DÉCEMBRE 1973

Fig-7-7 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA
BASSIN VERSANT DU ZITA 1

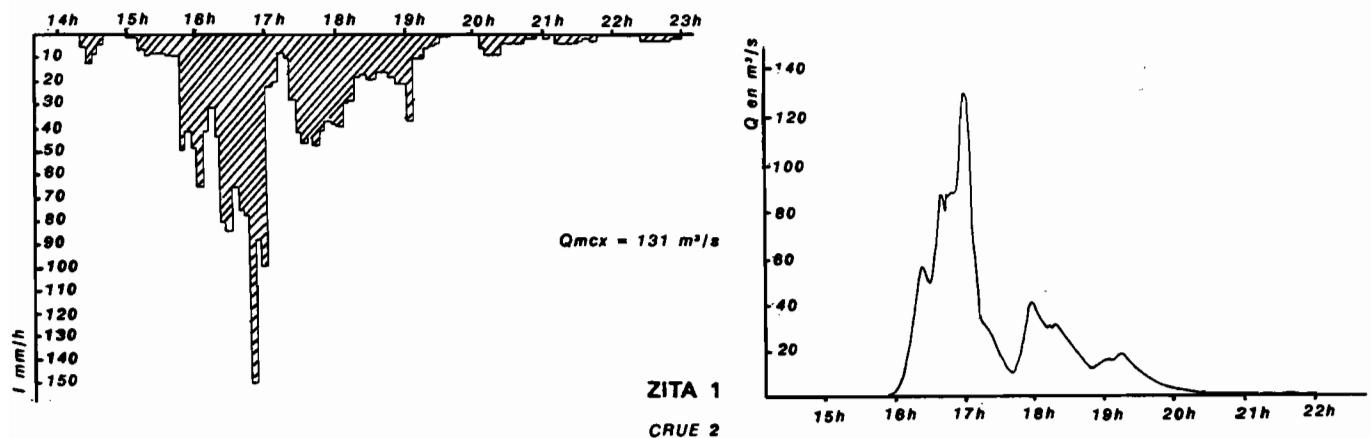
2^{eme} ÉPISODE DU 12 DÉCEMBRE 1973

Fig-7-8 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA
BASSIN VERSANT DU ZITA 1

7.1.3.3.2 - Essai de modélisation des crues exceptionnelles du 12 décembre 1973

Nous avons, à partir de l'hydrogramme type médian choisi et en lui faisant subir quelques transformations, effectué plusieurs séries d'essais pour tenter de reconstituer au mieux les crues du 12 décembre 1973. Nous sommes partis du hyéogramme moyen en tronquant les pluies préliminaires et nous avons fait en sorte qu'il y ait coïncidence entre la pluie utile et la lame ruisselée, en retranchant uniformément une tranche d'eau de 3,0 mm sur la durée de la pluie utile.

Ces hydrogrammes ont été ensuite découpés en tranche de 2'30", et nous avons travaillé à partir d'un programme simple de convolution.

Les différents résultats sont présentés ci-après.

Première série d'essais

Nous sommes partis tout d'abord d'un hydrogramme unique, tiré de l'hydrogramme type médian établi à partir des trois crues sélectionnées comme étant les plus proches du type "unitaire". Cet hydrogramme a été établi tout d'abord avec un pas de temps de 5 minutes, puis par la suite, avec un pas de temps de 2' 30", ce qui nous a contraint non pas à refaire le dépouillement des pluviogrammes, mais à diviser par 2 les tranches de pluies. Pour les crues ainsi reconstituées, qu'il s'agisse du premier comme du deuxième épisode, on note un net retard du maximum (de l'ordre de 10 minutes) et un affaiblissement de celui-ci. Dans le cas de la deuxième crue, la différence entre le maximum observé et le maximum reconstitué est assez important (plus d'un tiers) : 132 m³/s pour le maximum observé au lieu de 80,7 m³/s pour le maximum reconstitué.

Hydrogramme type - 26 pas de temps de 2'30" pour une lame de 1,0 mm

0,031	0,114	0,375	1,06	1,75	2,26	3,05	2,57	2,11	1,73
1,42	1,12	0,866	0,637	0,500	0,365	0,271	0,208	0,167	0,135
0,125	0,104	0,083	0,073	0,052	0,031				

Deuxième série d'essais

Devant cet insuccès, la forme de l'hydrogramme type a été modifiée de manière à diminuer la valeur du coefficient α et l'on a ainsi fait passer, toujours pour une lame ruisselée de 1,0 mm, la valeur de pointe de l'hydrogramme type de 3,10 m³/s à 8,85 m³/s. Les essais réalisés ensuite sur les crues des deux épisodes montrent clairement, hélas, que l'amélioration escomptée n'est pas aussi sensible que l'on pouvait l'espérer, puisque nous n'améliorons que très légèrement le maximum reconstitué de la crue du deuxième épisode avec l'hydrogramme le plus fort (H3), le décalage en temps de la pointe reste encore égal à 3 pas de temps (7'30") (fig. 7.9).

Hydrogrammes utilisés - 26 pas de temps de 2'30" pour une lame de 1,0 mm.

H1 -

0,120	0,430	0,950	1,52	2,30	3,10	2,44	2,05	1,67	1,34
1,07	0,900	0,740	0,630	0,500	0,410	0,310	0,250	0,170	0,130
0,100	0,080	0,060	0,040	0,020	0,003				

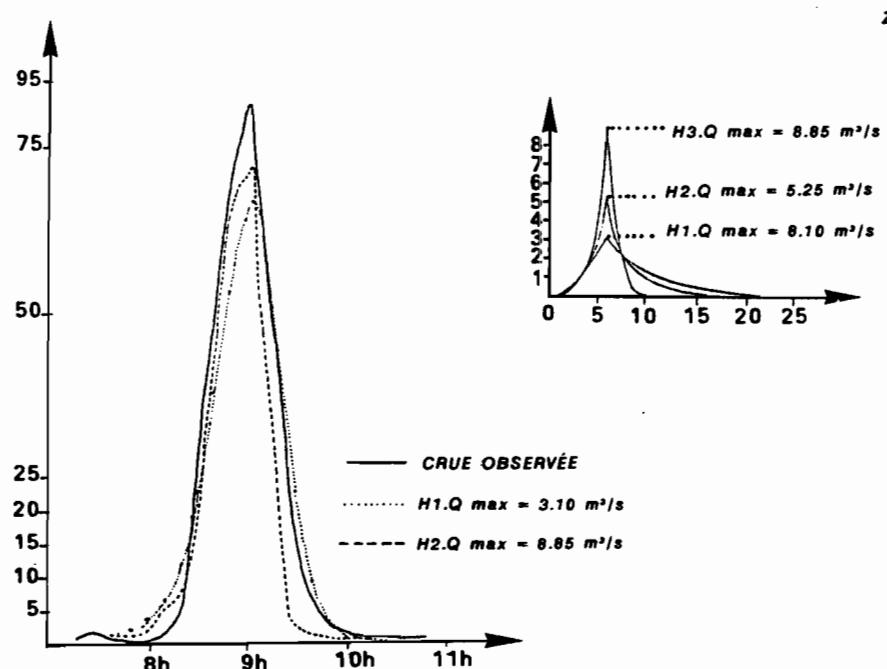
H2 -

0,150	0,400	0,900	1,65	2,80	5,25	3,00	1,90	1,35	1,00
0,750	0,500	0,400	0,300	0,200	0,150	0,100	0,100	0,090	0,090
0,080	0,080	0,060	0,02	0,01	0,003				

H3 -

0,100	0,250	0,800	1,75	3,75	8,85	3,90	1,35	0,320	0,100
0,060	0,030	0,020	0,008	0,008	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004
0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001				

ESSAI DE RECONSTITUTION DE LA CRUE 1 DU 12 DECEMBRE 1973 À PARTIR D'HYDROGRAMMES TYPES DIFFERENTS



ESSAI DE RECONSTITUTION DE LA CRUE 2 DU 12 DECEMBRE 1973 À PARTIR D'HYDROGRAMMES TYPES DIFFERENTS

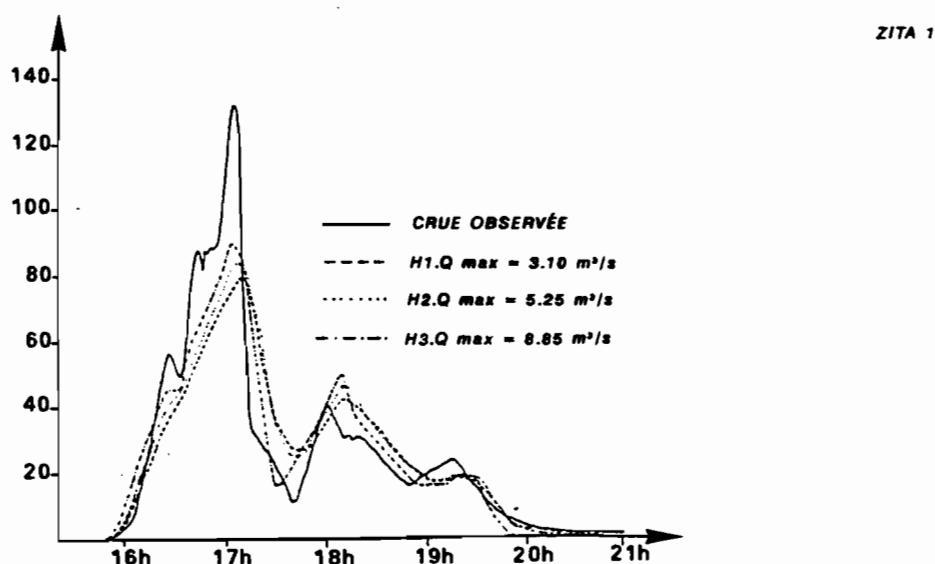


Fig-7-9 - ESSAI DE RECONSTITUTION DES 2 CRUES DU 12 DECEMBRE 1973 A PARTIR DE 3 HYDROGRAMMES TYPES.

Troisième série d'essais

Devant ces nouveaux essais encore bien médiocres, et partant de l'idée que le temps de réponse du bassin versant peut être variable en fonction de la détention superficielle (elle-même reliée d'une certaine façon au débit instantané mesuré à la station), nous avons utilisé successivement pour la reconstitution de ces crues, des hydrogrammes de même débit de pointe mais présentant des temps de montée décroissant régulièrement de 2' 30" en 2' 30" en fonction du débit instantané calculé à la station.

Cette troisième série d'essais, pour laquelle on a pris successivement en compte 2 puis 3, 4 et enfin 5 hydrogrammes, fournit de meilleurs résultats que ceux obtenus à l'aide d'un seul hydrogramme. Mais l'on conserve un déficit d'eau important en montée et un décalage de la pointe que l'on n'arrive pas à résorber, même après plusieurs tentatives consistant à modifier les bornes d'utilisation des différents hydrogrammes ou encore la forme de ces derniers (fig. 7.10).

5 hydrogramme utilisés avec décalage de 2'30". - 26 pas de temps de 2'30" pour une lame de 1,0 mm

H1 -

0,20	0,50	1,15	1,90	3,20	5,20	3,00	2,00	1,30	0,75
0,50	0,35	0,25	0,20	0,15	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06
0,05	0,04	0,03	0,02	0,013	0,003				

H2 -

0,50	1,20	2,10	3,35	5,20	3,00	1,70	1,15	0,75	0,55
0,45	0,30	0,20	0,15	0,12	0,10	0,09	0,085	0,075	0,065
0,057	0,045	0,035	0,025	0,015	0,003				

H3 -

1,90	2,00	3,35	5,20	3,00	1,70	1,15	0,75	0,55	0,45
0,30	0,20	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
0,04	0,02	0,008	0,006	0,004	0,003				

H4 -

1,30	3,00	5,20	3,10	1,82	1,17	0,88	0,67	0,57	0,52
0,47	0,42	0,37	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,15	0,12
0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03				

H5 -

2,10	5,20	3,40	2,15	1,40	1,00	0,85	0,70	0,65	0,58
0,52	0,47	0,42	0,37	0,32	0,26	0,22	0,16	0,13	0,11
0,09	0,08	0,06	0,05	0,03	0,003				

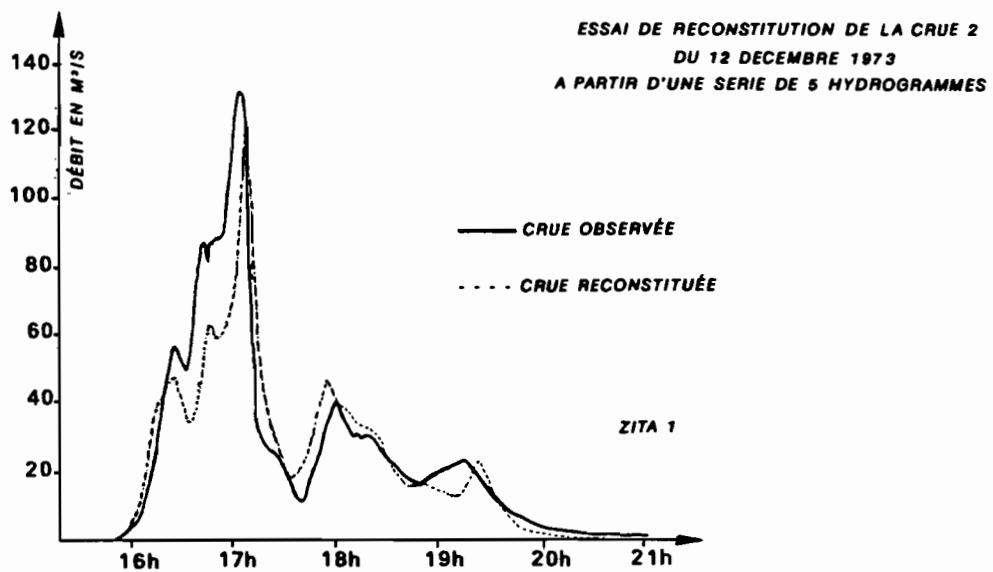
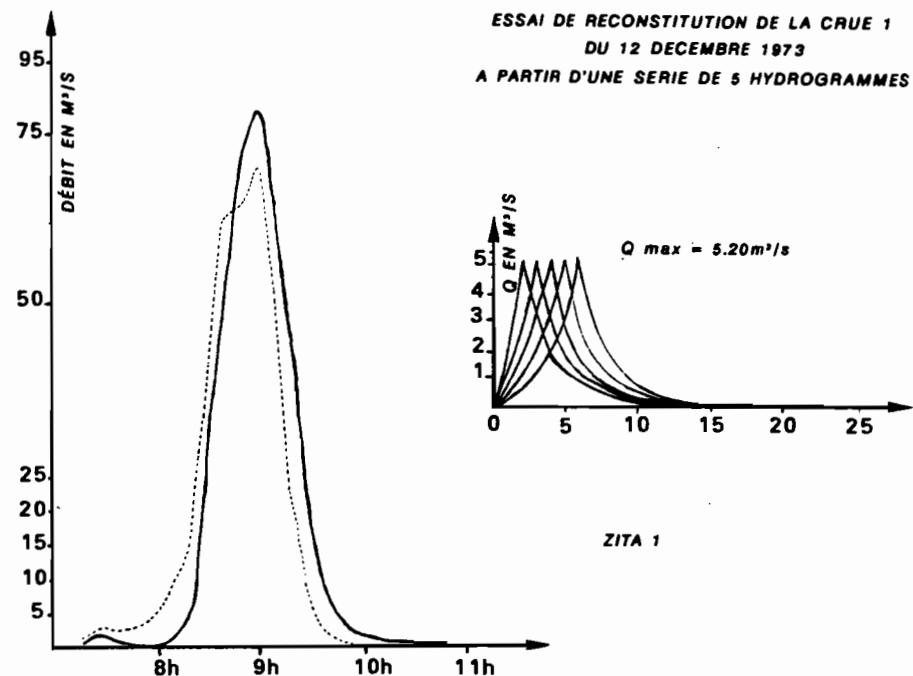


Fig-7-10 - ESSAI DE RECONSTITUTION DES CRUES DU 12 DECEMBRE 1973 A PARTIR D'UNE CRUE

DE 5 HYDROGRAMMES TYPE DONT LE TEMPS DE MONTEE DECROIT

Quatrième série d'essais

En revanche, nous avons obtenu des résultats beaucoup plus satisfaisants en modifiant non seulement le temps de montée de l'hydrogramme en fonction du débit instantané, mais aussi les valeurs du débit de pointe et du coefficient de forme.

En diminuant la valeur du paramètre α lorsque le débit instantané croît, en augmentant dans la limite du possible le nombre des hydrogrammes mis en oeuvre et en recherchant les valeurs optimales des bornes d'utilisation de ceux-ci, par approximations successives, nous sommes parvenus à une reconstitution très acceptable des deux crues. Cette reconstitution a été faite à partir d'une série de 5 hydrogrammes (H1 à H5) dont les Q_{max} , en partant de la valeur basse de 3,10 ont été multipliés successivement par 1,30. On obtient donc respectivement des hydrogrammes dont les Q_{max} passent de 3,10 à 4,03, puis 5,25, 6,80 et 8,85 m^3/s avec un pas de temps de 2' 30" et correspondant à une lame ruisselée de 1,0 mm.

Les hydrogrammes sont mis en oeuvre respectivement à partir des bornes de débit égales à 0, 15, 38, 86 et 93 m^3/s pour les deux crues du 12 décembre 1973 (fig. 7.11).

Hydrogrammes utilisés - 26 pas de temps de 2' 30" pour une lame de 1,0 mm.

H1 -

0,120	0,43	0,95	1,52	2,30	3,10	2,44	2,05	1,67	1,34
1,07	0,90	0,74	0,63	0,50	0,41	0,31	0,25	0,17	0,13
0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,003				

H2 -

0,38	0,905	1,65	2,60	4,03	2,70	2,10	1,65	1,30	1,00
0,80	0,60	0,45	0,35	0,25	0,18	0,14	0,08	0,062	0,05
0,025	0,010	0,008	0,006	0,004	0,003				

H3 -

0,78	1,86	3,25	5,25	3,00	2,00	1,40	1,00	0,72	0,50
0,36	0,25	0,16	0,13	0,11	0,0095	0,085	0,08	0,065	0,06
0,05	0,045	0,035	0,025	0,020	0,003				

H4 -

1,50	3,60	6,80	3,45	2,05	1,25	0,85	0,57	0,33	0,19
0,15	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,051	0,040	0,031	0,020
0,016	0,013	0,010	0,009	0,003	0,001				

H5 -

3,25	8,85	3,87	2,13	1,35	0,80	0,43	0,25	0,15	0,10
0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,008	0,007	0,007	0,006
0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,001				

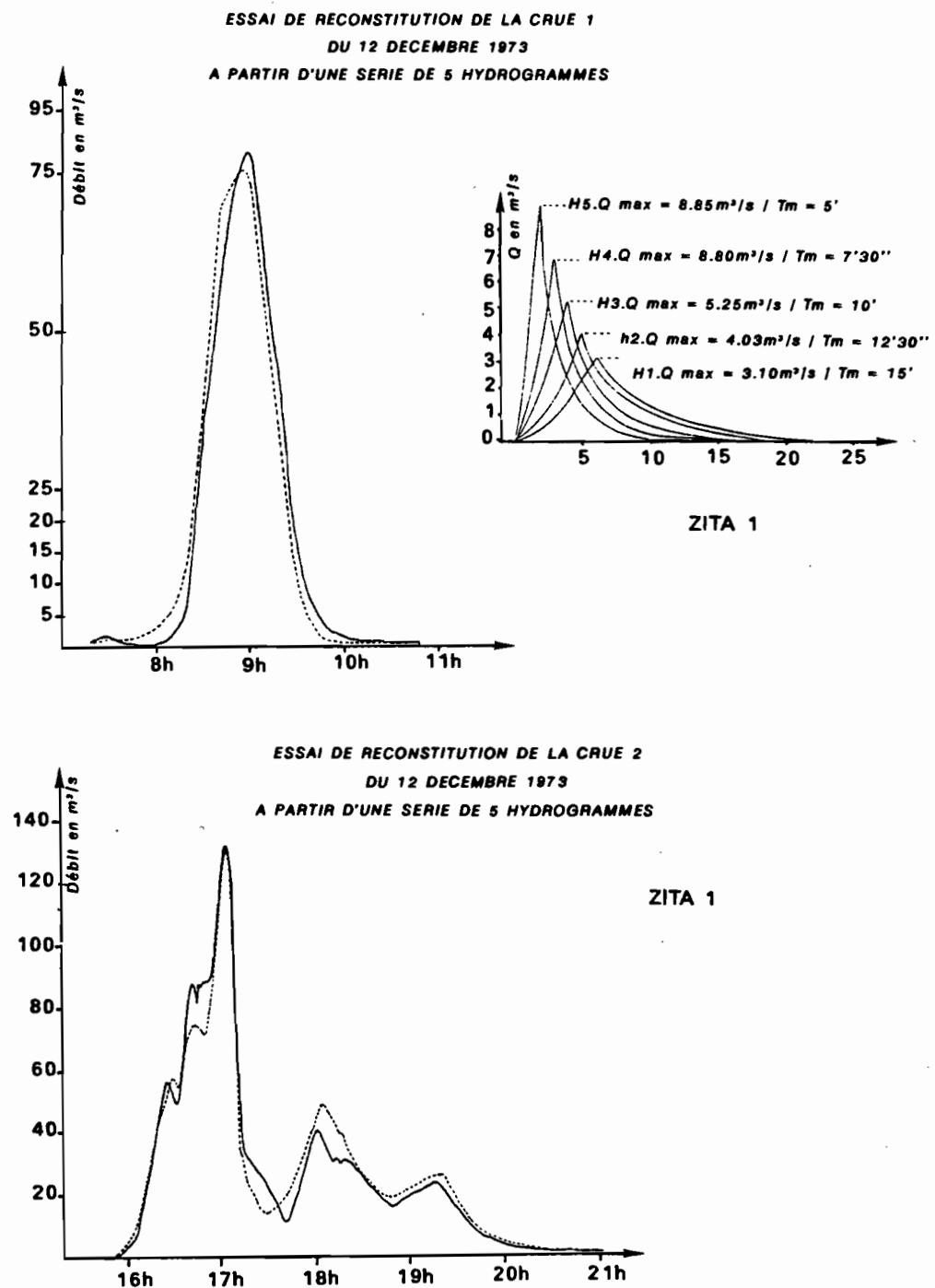


Fig-7-11 - ESSAI DE RECONSTITUTION DES CRUES DU 12 DECEMBRE 1973 A PARTIR D'UNE SERIE DE 5 HYDROGRAMMES A DEBIT DE POINTE CROISSANT ET A TEMPS DE MONTEE DECREMENTAL

7.2 - LE BASSIN VERSANT DU ZITA II

7.2.1 - Description des principaux éléments liés averses-crues

Comme nous l'avons fait pour le bassin principal, nous avons étudié les caractéristiques générales des crues à partir de 64 événements qui ont pu être observés sur ce bassin entre 1973 et 1978 :

- beaucoup de crues correspondent à un ruissellement partiel du bassin (c'est en général le cas des crues les plus faibles, qui proviennent la plupart du temps de la partie aval du micro-bassin),

- c'est la partie située immédiatement en amont de la fosse, constituée d'un glacis à très faible pente, lissée par l'action du vent et de la pluie et se présentant comme une surface plane, qui est très favorable au ruissellement. Les crues au nombre de 25, ont des lames très inférieures à 1,0 mm (crues n° 1 - 4 - 10 - 12 - 14 - 15 - 20 - 21 - 22 - 23 - 26 - 28 - 30 - 31 - 32 - 44 - 47 - 48 - 50 - 51 - 54 - 56 - 57 et 59).

- Quelques crues présentent des hydrogrammes à deux maxima alors que les averses correspondantes ne comportent qu'un seul corps de faible intensité. Ces ruissellements proviennent d'abord de la partie aval dont nous avons vu qu'elle est très "ruisselante", puis de la partie médiane avec un décalage en temps qui peut être de quelques minutes. C'est le cas des crues n° 42, 46 et 53.

- Certaines, au contraire, présentent une pointe unique résultant d'averses à deux pointes d'intensité séparées de 10 à 12', la deuxième intensité étant plus forte que la première. C'est le cas des crues n° 24 et 47.

- Enfin, quelques crues complexes et étaillées résultant d'une averse de longue durée à faible intensité, ou alors des crues imbriquées résultant de tranches d'averses très rapprochées, la séparation des hydrogrammes dans ce cas-là étant une opération assez délicate. Les événements exceptionnels du 12 décembre 1973 ont pu être observés sur le bassin du Zita II et donneront lieu à un paragraphe particulier, nous donnons donc ci-après les caractéristiques des crues susceptibles d'être exploitées utilement.

Bassin du Zita II - Caractéristiques des crues retenues

N°	Date	Vr m ³	Hr mm	Q _{max} l/s	T _m mn	T _b mn	T _p mn	Q _{max} Hr	Q _{max} Qm
17	22.09.74	42,9	3,04	62,0	6'	50'	6'	20,4	4,33
19	15.10.74	110,2	7,81	270,0	6'	35'	16'	34,6	5,14
27	18.06.75	144,0	10,2	215,0	5'	42'	3'	21,0	3,76
30	5.11.75	13,6	0,96	17,9	7'	45'		18,6	3,16
35	9.01.76	38,1	2,70	63,0	5'	35'	10'	23,3	3,47
36	9.01.76	17,4	1,23	29,4	8'	40'	-	23,9	3,04
45	26.02.76	17,4	1,23	25,0	5'	36'		20,3'	3,27
58	15.02.77	65,4	4,64	102,0	6'	40'	6'	21,9'	3,27'
60	17.10.77	121,3	8,60	218,0	5'	40'	13'	25,3'	4,31
61	24.11.77	158,4	11,2	301,0	7'	30'	12'	26,8	3,42

La crue n° 17 du 22 septembre 1974 résulte d'une averse à un seul corps d'intensité moyenne (I_{max} = 29,0 mm/h) de 12,7 mm dont le coefficient de ruissellement atteint 29 % en raison d'un état d'humectation préalable assez favorable. L'hydrogramme peut être retenu comme hydrogramme type d'une crue de moyenne importance (fig. A₁₁, en annexe).

La crue n° 19 du 15 octobre 1974 résulte également d'une averse à corps unique présentant une pointe d'intensité de 72 mm/h en 5' (57 mm/h en 10'), suivie d'une traîne de 20' et correspondant à une hauteur de 12,7 mm très homogène sur le bassin.

Cette crue peut être sélectionnée pour l'hydrogramme de forte crue (fig. A₁₂, en annexe).

La crue n° 27 du 18 juin 1975 est générée par une averse à corps unique de très forte intensité ($I_{max} = 132$ mm/h en 5', 90 mm/h en 10') et de courte durée, survenant après une période sèche de 42 jours donc dans des conditions d'humectation très peu favorables.

Dans le cas présent, la forte intensité (une des plus importantes enregistrées sur le bassin) est à l'origine de cette crue importante (fig. A₁₃, en annexe).

La crue n° 30 du 5 novembre 1975 est générée par une averse très faible (2,4 mm), de courte durée (5 minutes) et d'intensité moyenne (30 mm/h), mais survenant dans des conditions d'humectation préalable très favorables : il a en effet plu la veille abondamment (19,5 mm) et l'averse génératrice du 5 novembre arrive sur un sol non ressuyé (fig. A₁₄, en annexe).

La crue n° 35 du 9 janvier 1976 est due à une averse de 4,7 mm, en 10 minutes avec une intensité voisine de 50 mm/h, succédant à une série d'averses. Les conditions de saturation sont excellentes (fig. A₁₅, en annexe).

La crue n° 36 du 9 janvier 1976 qui suit immédiatement la précédente est générée par une pluie de 2,9 mm en 5' survenant dans des conditions d'humectation encore plus favorable que pour la crue précédente. L'intensité est de 30,0 mm/h. Ces deux exemples permettent de voir que sur de petits bassins, la succession d'averses bien individualisées, peut générer des crues non négligeables malgré la faible hauteur de pluie, et présentant de forts coefficients de ruissellement ($K_r = 57\%$ pour la crue n° 35 et 42 % pour la crue n° 36) (fig. A₁₆, en annexe).

La crue n° 45 du 26 février 1976 survient comme celle du 9 janvier dans des conditions favorables. L'averse génératrice est de courte durée (6 minutes), très peu importante (2,9 mm) et présente une pointe d'intensité moyenne (24 mm/h). Le coefficient de ruissellement atteint 44 % (Fig. A₁₇, en annexe).

La crue n° 58 du 15 février 1977 est due à une averse d'une durée de 22 minutes, d'assez faible intensité (38 mm/h en 5' pour I_{max}) et survenant dans des conditions d'humectation préalable assez favorables (pluie de 13,5 mm. 48 heures avant), ce qui peut expliquer la valeur élevée du coefficient de ruissellement ($K_r = 56\%$) (fig. A₁₈, en annexe).

La crue n° 60 du 17 octobre 1977 est due à une averse de 21 minutes de forte intensité (112 mm/h en 5' et 76 mm/h en 15'), survenant dans des conditions assez peu favorables. Dans ce cas comme dans celui de la crue du 18 juin 1975, ce sont les fortes intensités des averses qui sont à l'origine de ces crues importantes. Cette crue peut être retenue pour la recherche de l'hydrogramme type des fortes crues (fig. A₁₉, en annexe).

La crue n° 61 du 24 novembre 1977 est due à une forte averse (31,4 mm) très homogène et présentant une intensité maximale de 97,2 mm/h. Les conditions d'humectation préalable sont médiocres et nous sommes encore dans le cas où une forte intensité, liée ici au volume de l'averse, génère dans des conditions cependant assez peu favorables, des crues importantes. Le débit de pointe légèrement supérieur à 300 l/s est le plus fort enregistré en dehors de la crue du 12 décembre 1973 (fig. A₂₀, en annexe).

Cette crue peut être retenue pour la recherche de l'hydrogramme type des fortes crues.

7.2.2 - Forme des crues et crue type

Comme nous l'avons déjà présenté lors de l'examen des crues du bassin du Zita I, la détermination du temps de réponse (T_p) du bassin comporte le cumul des erreurs de calage en temps du pluviogramme et du limnigramme. Par contre, celle du temps de montée est assez exacte, mais ce temps dépend de la durée de la précipitation antérieure au maximum d'intensité. Enfin, la détermination du temps de base T_b ne comporte pas de difficultés majeures du fait du ressuyage rapide de l'eau superficielle sur le bassin.

L'analyse des caractéristiques des 10 crues que nous avons retenues, permet de dresser le tableau ci-après

	T _p en minutes	T _m en minutes	T _b en minutes
Maximum	16'	12'	50'
Moyen	9,4'	6,7'	37,3'
Médiane	12'	6'	35'
Minimum	3'	5'	30'

Il ressort de ce tableau que :

- le temps de réponse du bassin du Zita II est de l'ordre de 12 minutes,
- le temps de montée de la crue type est de l'ordre de 5 à 6 minutes pour une averse d'environ 10 minutes avec forte intensité,
- le temps de base de la crue type est compris entre 30 et 40 minutes.

La crue type du bassin du Zita II, pour une lame ruisselée de 10 mm présenterait les caractéristiques suivantes :

pour une lame ruisselée	H _r	=	10,0 mm
débit maximum	Q _{max}	=	170 l/s
volume de la crue	V _r	=	141 m ³
temps de montée	T _m	=	6 minutes
temps de base	T _b	=	40 minutes

7.2.3 - Les débits de pointe du Zita II

Comme nous l'avons fait pour le bassin principal de l'oued Zita, l'examen des valeurs des débits de pointe des 64 crues observées entre début septembre 1973 et août 1978, nous montre que 37 d'entre eux sont supérieurs à 11 l/s, soit environ 58 % de l'effectif global, et que seulement 9 dépassent 1200 l/s (ce qui correspond à 14 % de l'ensemble des crues).

L'analyse statistique a porté sur un échantillon tronqué de 37 valeurs supérieures à 11 l/s. Ces valeurs ont été classées dans un tableau, en regard de leur fréquence expérimentale F au dépassement. (voir le tableau de la page suivante).

rang r	Qx l/s	y = ln(Qx-11)	Fréquence F	rang r	Qx l/s	y = ln(Qx-11)	Fréquence F
1	712	6,55	0,0135	20	30,7	2,98	0,5270
2	530	6,25	0,0405	21	29,4	2,91	0,5541
3	301	5,67	0,0676	22	28,2	2,84	0,5811
4	270	5,56	0,0946	23	27,4	2,80	0,6081
5	218	5,33	0,1216	24	25,0	2,64	0,6351
6	215	5,32	0,1490	25	23,1	2,49	0,6622
7	210	5,29	0,1757	26	22	2,40	0,6892
8	148	4,92	0,1027	27	21,6	2,36	0,7162
9	102	4,51	0,2297	28	20,2	2,22	0,7432
10	77	4,19	0,2568	29	17,9	1,93	0,7703
11	63	3,95	0,2838	30	17,5	1,87	0,7973
12	63	3,93	0,3108	31	16,8	1,76	0,8243
13	62	3,91	0,3378	32	13,5	0,92	0,8514
14	61	3,91	0,3649	33	13,3	0,83	0,8784
15	60,8	3,91	0,3919	34	13,2	0,79	0,9054
16	52	3,71	0,4189	35	12,5	0,41	0,9324
17	37,8	3,29	0,4459	36	12,5	0,41	0,9595
18	32	3,04	0,4730	37	11,5	-0,69	0,9865
19	31,4	3,02	0,5000				

Le graphique de la figure 7.12 sur lequel ont été reportés les couples des points Qx, F(Qx - 11) en coordonnées gausso-logarithmiques montre que l'échantillon se répartit très bien selon une loi log-normale définie par la moyenne y et l'écart type σ de l'échantillon des logarithmes.

$$\bar{y} = 3,1938 \quad \text{et} \quad \sigma_y = 1,7525$$

L'équation est $u = 0,5706$ ($Q_{\max} - 11,0$) - 1,8224. La validité de cet ajustement est d'ailleurs confirmée par le test χ^2 . Nous avons choisi 5 classes d'égale probabilité théorique, donc comprenant chacune 7,4 valeurs théoriques V_i .

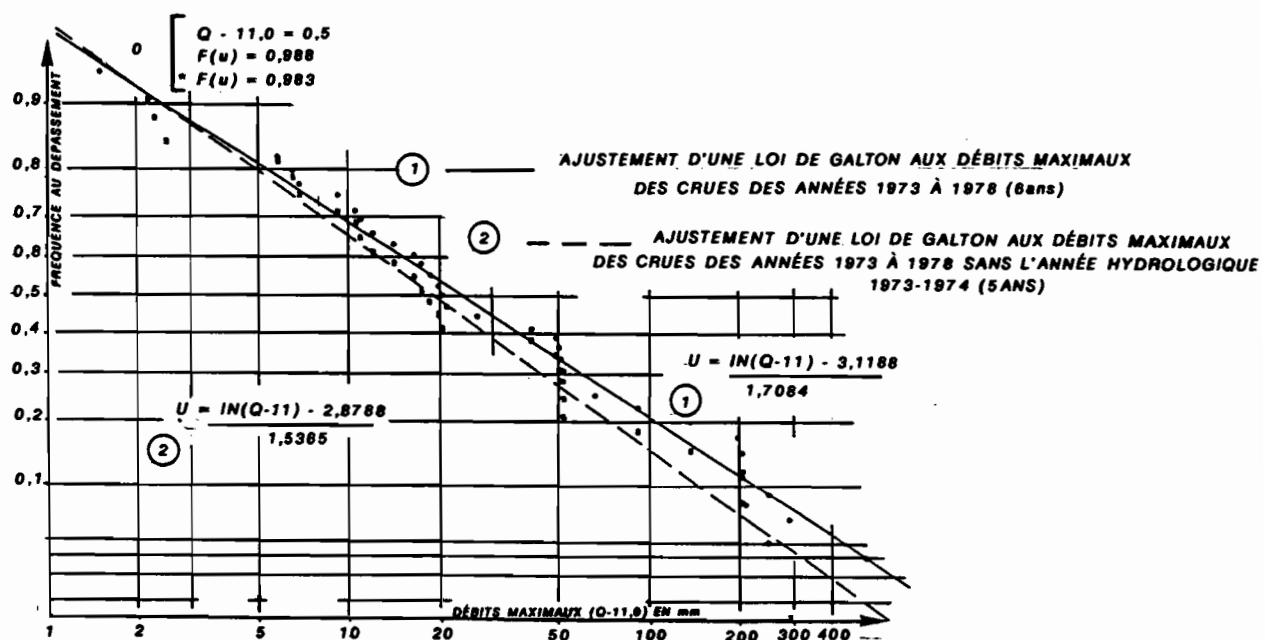


Fig-7-12 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

Pour 1 degré de liberté, on a une probabilité au dépassement nettement supérieure à 10 % (51 %). L'ajustement est donc satisfaisant.

D'autre part, en supposant que les débits maxima correspondant aux crues sélectionnées sont des événements indépendants et que le nombre d'événements annuels dépassant le seuil de 11 l/s suit une loi de Poisson, on peut déterminer la valeur de F correspondant à un débit maximal annuel de période de retour T donnée par :

$$F = 1 + 1/\lambda \ln (1 - 1/T)$$

λ étant le nombre moyen annuel de débits maxima supérieurs au seuil, soit $\lambda = 37/6 = 6,17$

Les valeurs des débits maxima de différentes récurrences ont été calculées de cette manière :

T (années)	F	u	Q max(l/s)	qx(l/s.km ²)
2	0,8876	1,2136	191	13500
5	0,9638	1,7963	498	35300
10	0,9829	2,102	854	60600
20	0,9916	2,393	1360	96800

L'application de cet ajustement au débit maximal du 12 décembre 1973 sur le bassin du Zita II donnerait une récurrence de 7,6 ans (8 années). Nous avons, comme pour le Zita I, essayé un nouvel ajustement des valeurs en ne prenant pas en compte les valeurs de l'année 1973-74, qui, en raison de la taille de l'échantillon, risquent de déformer cet ajustement (fig. 7.12).

Les valeurs des débits maxima obtenues par la même méthode que précédemment sont consignées dans le tableau ci-dessous.

L'équation de la droite est :

$$u = 0,6205 n (Q \text{ max} - 11,0) - 1,8440$$

avec

$$\bar{y} = 2,9717 \text{ et } \sigma_y = 1,6115$$

T (années)	F	u	Q max(l/s)	qx(l/s.Km ²)
2	0,8845	1,198	123	8730
5	0,9628	1,784	287	20350
10	0,9824	2,107	464	32900
20	0,9915	2,385	706	50000

La récurrence de la crue maximale serait de 20 ans environ ($u = 2,3806$ et 19,8 ans).

On peut constater que l'estimation de la valeur de récurrence vicennale semble exagérément élevée (cette valeur de 705 l/s correspond à un débit spécifique de quelque 50 m³/s.m². Ce qui correspond à une intensité de ruissellement supérieure à 180 mm/h). La taille réduite de l'échantillon ne nous autorise pas à une extrapolation au-delà d'une récurrence de 10 années.

7.2.4 - Etude des lames ruisselées du Zita II

Nous avons également essayé d'estimer la valeur des lames ruisselées de diverses récurrences à partir de l'étude statistique d'un échantillon complet de 38 valeurs, que nous avons classées par ordre décroissant. Dans un premier temps, nous avons pris en compte les valeurs exceptionnelles.

rang	H _r mm	y=Log(H _r -0.1)	Fréquence F	rang	H _r mm	y=Log(H _r -1.0)	Fréquence F
1	91,5	4,505	0,01316	20	2,91	0,647	0,51316
2	65,5	4,17	0,03947	21	2,70	0,531	0,53947
3	44,4	3,770	0,06579	22	2,61	0,476	0,56579
4	14,9	2,632	0,09211	23	2,25	0,223	0,59211
5	11,2	2,322	0,11842	24	2,19	0,174	0,61842
6	10,2	2,219	0,14474	25	1,97	-0,030	0,64474
7	8,60	2,028	0,17105	26	1,79	-0,236	0,67105
8	8,23	1,978	0,19737	27	1,79	-0,236	0,69737
9	7,81	1,918	0,22378	28	1,76	-0,274	0,72368
10	5,87	1,583	0,25000	29	1,59	-0,528	0,75000
11	4,82	1,340	0,27622	30	1,49	-0,713	0,77632
12	4,64	1,292	0,30263	31	1,47	-0,755	0,80263
13	4,53	1,261	0,32895	32	1,46	-0,777	0,82895
14	4,32	1,200	0,35526	33	1,24	-1,427	0,85526
15	3,83	1,040	0,38158	34	1,23	-1,470	0,88158
16	3,36	0,859	0,40789	35	1,23	-1,470	0,90789
17	3,12	0,751	0,43421	36	1,16	-1,833	0,93421
18	3,04	0,713	0,46053	37	1,16	-1,833	0,96053
19	3,00	0,693	0,48684	38	1,11	-2,207	0,98684

Sur le graphique de la figure 7.13, nous avons reporté en coordonnées gausso-logarithmiques les couples de points H_r , $F(H_r - 1,0)$ et l'on peut constater que l'échantillon se répartit bien selon une loi gausso-logarithmique définie par la moyenne y et l'écart type σy

$$\bar{y} = 0,6457 \quad \sigma y = 1,63144$$

L'équation de l'ajustement est :

$$u = 0,6130 \ln(H_r - 1,0) - 0,39578$$

Le test d'équation du χ^2 a été effectué à partir de cette relation d'ajustement : le résultat est positif.

On a choisi de retenir 5 classes d'égale probabilité théorique, comprenant chacune 38/5 soit 7,6 effectifs théoriques vi.

Les limites de classes sont

$$\begin{aligned} H_{r1} &= 8,51 \text{ mm} \\ H_{r2} &= 3,89 \text{ mm} \\ H_{r3} &= 2,26 \text{ mm} \\ H_{r4} &= 1,48 \text{ mm.} \end{aligned}$$

On obtient $Z = 0,15789$

Pour un degré de liberté, on a une probabilité au dépassement très supérieure à 10 % (69,1 %) et l'on peut considérer que l'ajustement est très satisfaisant.

En supposant que les lames ruisselées correspondent à des événements indépendants et que le nombre de lames ruisselées par an dépassant le seuil de 1,0 mm suit une loi de Poisson, on pourra déterminer la valeur de F correspondant à une lame ruisselée de période de retour donnée T en appliquant la formule.

Dans le premier cas exposé, prenant en compte toutes les lames ruisselées, nous obtiendrons pour les récurrences ci-après, les valeurs de H_r suivantes :

1er cas : Ensemble des lames ruisselées du Zita 2

T(années)	F	U	H_r calculée
2	0,8906	1,229	15,1 mm
5	0,9648	1,809	37,3 mm
10	0,9834	2,129	62,2 mm
20	0,9919	2,404	96,9 mm

2ème cas : Ensemble des lames de l'année 1973-74

T(années)	F	U	H_r calculée
2	0,8845	1,198	7,1 mm
5	0,9628	1,784	14,3 mm
10	0,9824	2,107	21,4 mm
20	0,9915	2,385	30,5 mm

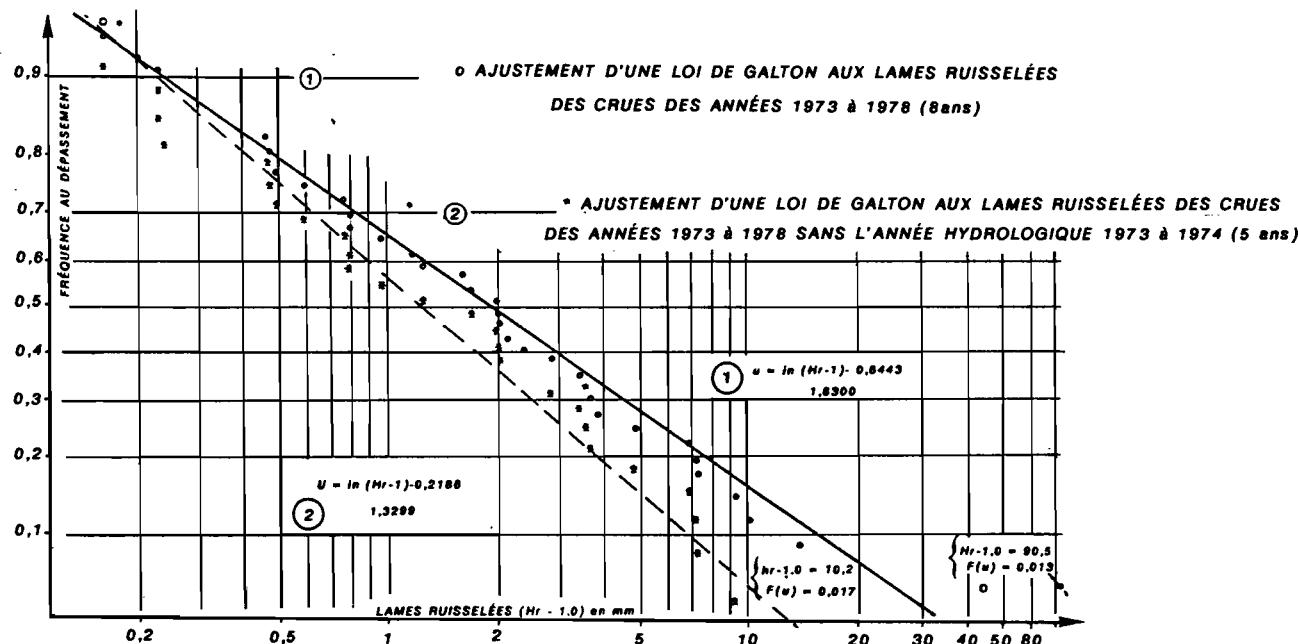


Fig-7-13 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

D'après le nouvel ajustement, la première crue du 12 décembre 1973, avec 65,5 mm de la lame ruisselée, aurait une récurrence de 114 années, et la deuxième avec 91,5 mm, une récurrence de 270 ans, alors que dans le premier cas, la lame ruisselée de la deuxième crue aurait une récurrence de 20 ans environ.

7.2.5 - Essai de détermination de la crue décennale

Nous avons vu lors de l'étude du Zita I, qu'il existait plusieurs méthodes permettant d'établir les caractéristiques de la crue décennale sur un bassin. Dans le cas du bassin du Zita II, nous avons déterminé la valeur de la crue décennale à partir de la crue type définie précédemment, (d'après les 4 crues les plus "unitaires" dont nous disposons). Nous avons également étudié les distributions statistiques des débits de pointe et des lames ruisselées.

En ce qui concerne la pluviométrie, nous avons repris les mêmes valeurs de pluie décennale que celles définies précédemment et l'on peut considérer qu'en raison de sa faible superficie (1,41 hectares), la pluie est répartie d'une façon homogène.

L'analyse des crues, à laquelle nous nous sommes livrés, nous a renseignés sur la variation de la capacité d'absorption moyenne du bassin, qui peut aller de 42 mm/h à moins de 3,0 mm/h, selon les conditions.

La Cam décroît en général du mois d'octobre aux mois de janvier-février, pour atteindre des valeurs de 8 à 9 mm/h et souvent moins lorsque nous observons des séquences pluvieuses.

Les fortes remontées de la Cam au printemps pourraient s'interpréter par l'apparition d'une rare végétation annuelle, mais est plutôt due au passage des troupeaux qui entraîne une destruction de la pellicule de battance par piétinement des bêtes. Ce qui peut d'ailleurs entraîner à nouveau de fortes valeurs de la Cam aux mois de mai et de juin.

Si l'on prend la moyenne des Cam des crues les plus fortes, on obtient une valeur de 24 mm/h ; en prenant en compte l'ensemble des crues, on arrive à une valeur de 8 à 9 mm/h. En ne prenant en compte que les crues choisies, la moyenne des Cam est de 18,4 mm/h.

La valeur la plus forte nous paraît excessive, les crues étant générées par des averses survenant dans des conditions d'humectation préalable très peu favorables. Par contre, celle de 8 à 9 mm correspondant à la moyenne des Cam observées, nous semble un peu faible, ou tient compte de conditions particulièrement favorables (série pluvieuse du 9 janvier 1976, des 26-28 février, du 10 mars et des 26-28 mars qui représente ensemble plus de 40 % de notre échantillon).

Dans des conditions médianes, la valeur de la capacité moyenne d'absorption sur le bassin du Zita II est de l'ordre de 12 mm/h.

- Crue décennale du Zita II

Nous prendrons comme hauteur de précipitation 26,0 mm, correspondant à une averse de 30ⁱ (paragraphe 7.1.3.2.1), la pluie infiltrée étant de 6,0 mm, la lame ruisselée sera de 20,0 mm. Le débit maximal de la crue atteindra :

$$\frac{20 \times 170}{10} = 340 \text{ l/h pour un volume de } 282 \text{ m}^3$$

Le volume de la crue annuelle que l'on a estimé à partir de l'échantillon des crues observées, exceptées celles du 12 décembre 1973, est de l'ordre de 60 m³ avec un débit maximal de 107 l/s.

Si l'on se réfère aux valeurs décennales des débits de pointe et des lames ruisselées estimées à partir d'un échantillon ne prenant pas en compte les crues exceptionnelles du 12 décembre 1972, on s'aperçoit que la valeur estimée de la crue décennale du Zita II est cohérente. Le débit maximal de 340 l/s (équivalent à 24,1 m³/s.km²) est légèrement inférieur à la valeur estimée par ajustement statistique ; par contre la valeur de la lame ruisselée, estimée à 20,0 mm, est très proche de la valeur obtenue par ajustement statistique des lames ruisselées.

7.3 - LE BASSIN DU ZITA III

Le bassin du Zita III est différent de celui du Zita II. Cette différence se situe aussi bien au niveau des sols composés essentiellement de gypse, que par le relief très accentué ou par le réseau de drainage bien apparent, conséquence du relief. Il est caractéristique de la partie Sud du bassin, marqué par des alternances de couches dures et tendres du flanc Sud de l'anticlinal, formant ainsi le plus haut relief du bassin principal.

De l'ensemble des observations effectuées sur le bassin du Zita III, également appelé bassin versant de la ravine ; on peut retenir ceci :

- assez faible échantillon de crues (42 au total) contre 62 au bassin du Zita II ,
- des lames ruisselées faibles pour les moyennes ou petites précipitations ,
- valeur moyenne des Cam, toutes valeurs prises en compte, égales à 18,4 mm/h avec des valeurs extrêmes élevées, 51 à 70 mm/h.

L'analyse statistique des débits maxima et des lames ruisselées donne d'assez médiocres résultats dus en partie à un échantillon de valeurs trop petit.

Quoi qu'il en soit, nous avons choisi parmi les crues observées les 5 événements les plus caractéristiques permettant une approche de la crue type.

N°	Date	Vr m^3	Hr mm	$\frac{Q \text{ max}}{l/s}$	Tm mn	Tb mn	Tp mn	$\frac{Q \text{ max}}{Hr}$	$\frac{Q \text{ max}}{Qm}$
7	15.10.74	262,8	7,5	670	4'	19'	2-3	89,3	2,91
10	18.06.75	680	19,4	2000	3'	18'	2-3	103,0	3,17
25	27.02.76	143	4,10	100	10'	50'	15'	24,4	2,09
35	17.10.77	152,7	4,36	275	6'	35'	3-4	63,0	3,70
36	24.11.77	114,3	3,26	291	3'	30'	2'	89,3	6,87

Les valeurs de la Cam varient entre 3 mm/h pour la crue du 27 février 1976 qui survient après un épisode pluvieux ne comprenant pas moins de 4 averses en 48 heures et à 70,0 mm/h pour la crue du 15 octobre 1974 qui, elle, survient après 15 jours sans pluie. La valeur moyenne des Cam est élevée : 37,1 mm/h et 45,6 mm/h si l'on ne prend pas en compte la crue du 27 février 1976.

L'analyse des événements liés averses-crues, observés sur le bassin du Zita III, permet de constater que l'absence d'horizon battant et la présence de colluvions épaisses sur les pentes rendent ce bassin peu sensible aux petites précipitations.

A l'inverse, son relief accidenté, influencé par de très fortes pentes, provoque des réponses brutales et importantes aux fortes intensités.

Lors des crues du 12 décembre 1973, on a pu constater que la première crue survient peu après le début des intensités supérieures à 50 mm/h, et qu'en général, les pointes de crues correspondent aux pointes des hydrogrammes. Sur ces petites superficies, la géomorphologie et le réseau de drainage embryonnaire n'ont que peu d'influence sur les écoulements et ne perturbent pas l'allure des hydrogrammes.

L'hydrogramme de la deuxième tornade du 12 décembre 1973 se présente sous la forme d'une série de pointes qui, par vagues successives, parallèlement au hyéogramme, atteint 2,38 m^3/s (fig. A₁₉ et A₂₀, en annexe). La configuration tumultueuse du lit et sa pente (0,05) provoquent un écoulement très turbulent qui, durant

quelques secondes, va submerger le canal et l'échelle de crue. Les eaux paraissent très chargées. La décrue intervient encore plus brutale que la crue ; 15 cm par minute, interrompue par de nouvelles ondes consécutives aux averses de la traîne.

Hormis la forte disproportion entre le débit maximal réel et celui calculé d'après l'intensité maximale, les paramètres donnés dans le tableau 6.3 (chapitre 6) n'offrent pas de particularités. Rappelons simplement que les causes avancées plus haut pour l'explication de ce phénomène sur la station du Zita II sont encore valables. Surtout celle concernant la réduction du temps de réponse provoquant un chevauchement des ondes de crues, fait encore accentué par les fortes pentes propres à ce relief.

7.3.1 - Estimation de la crue type

Il ressort de l'analyse des crues et du tableau des caractéristiques des crues retenues que, comme pour le Zita II, la détermination du temps de réponse du bassin (T_p) comporte le cumul des erreurs de calage en temps, du diagramme pluviographique et du diagramme des hauteurs d'eau. Dans le cas du Zita III, en raison de la pente assez forte du bassin, nous avons vu que ce temps de réponse est de quelques minutes.

Le temps de montée dépend de la durée de la précipitation précédant le maximum d'intensité. Il est égal ici à $T_m = 5$ minutes.

Le temps de base $T_b = 30$ minutes.

C'est ainsi que la crue type du bassin du Zita III pourrait présenter, pour une lame ruisselée de 10,0 mm, les caractéristiques suivantes :

Lame ruisselée	=	10,0 mm
Débit maximum	=	240 l/s
Volume de la crue	=	350 m ³
Temps de montée	=	5 minutes
Temps de base	=	30 minutes.

7.3.2 - Essai de détermination de la crue décennale

Nous avons vu que ce bassin, en raison de sa configuration et de ses sols, répond assez bien et rapidement aux averses de fortes intensités de type "orage", mais semble par contre assez peu sensible aux pluies de moyennes ou de faibles intensités, contrairement en cela au bassin du Zita II.

Sa capacité moyenne d'absorption peut avoir des valeurs élevées et, sur l'ensemble des observations dont on dispose, on peut estimer la capacité moyenne d'absorption, dans des conditions médianes, comme voisine de 16 mm/h.

En partant d'une pluie de 26,0 mm en 30 minutes, la lame ruisselée serait de $26,0 - 8,0 = 18,0$ mm et le débit maximal de la crue décennale pourrait être égal à :

$$\frac{18,0 \times 240}{10} = 432 \text{ l/s}$$

Pour un volume de crue de 630 m³.

7.4 - LES BASSINS DU ZITA IV ET DU ZITA V

Comme on peut s'en rendre compte à la lecture des tableaux n° 6.4 et 6.5 du chapitre 6, nous ne disposons pas pour ces deux bassins d'un échantillon suffisamment important pour nous lancer dans une approche de ce que pourrait être la crue type de ces deux bassins. Ceux-ci ont été mis en service à la fin de l'année 1975, et ont fonctionné tant bien que mal jusqu'en mars 1978. Comme les observations que nous avons conservées sont correctes, nous avons estimé qu'il serait inutile de perdre des informations et nous avons dressé avec quelques réserves, le bilan hydrologique à l'échelle annuelle, mais il n'est pas possible de faire plus.

CHAPITRE 8

ETUDE DES TRANSPORTS SOLIDES ET DE LA SALINITE

8.1 - GENERALITES

Nous possérons pour l'ensemble des bassins de l'oued Zita, des observations sur les transports solides pendant la période 1972-1978.

Les observations ont été faites assez régulièrement à la station principale, et un peu moins aux stations secondaires, le Zita II et Zita III.

En ce qui concerne le bassin du Zita IV, il avait été équipé d'un dispositif de prélèvements automatiques qui a fonctionné en 1976 et 1977. Les résultats obtenus ont déjà fait l'objet d'une note (BOURGES, 1978). Il n'y a pas eu de mesures de transports solides réalisées sur le bassin du Zita V.

La méthode utilisée pour ces mesures est une méthode classique de gravimétrie : les prélèvements (bouteilles de 1 litre) sont effectués lors du passage de la crue sur 3 verticales dans la section de contrôle de la station. Dans la mesure où cela était possible, les prélèvements étaient faits régulièrement au début de la crue, devenaient plus fréquents au niveau de la pointe et une seule prise assurait la décrue.

L'ensemble de ces prélèvements étaient ensuite traités au laboratoire de la DRES à Gabès.

L'objet du présent chapitre est de rendre compte des résultats acquis sur l'ensemble de la période d'observations.

8.2 - LE BASSIN DU ZITA I

8.2.1 - Résultats acquis durant la période d'observation

Nous avons rassemblé dans le tableau 8.1 ci-après, l'ensemble des résultats de turbidité et de salinité observés à la station principale du Zita I au cours de la période 1972-1978.

Dans ce type de tableau, nous donnons :

Colonne n° 1 : date de la crue

Colonne n° 2 : Vr volume de la crue, exprimé en m^3

Colonne n° 3 : Q débit moyen de la crue ou module, égal au volume de la crue divisé par le temps de base de celle-ci, et exprimé en m^3/s

Colonne n° 4 : Qmax, débit maximum de la crue, en m^3/s

Colonne n° 5 : Ms concentration moyenne de matériaux transportés, exprimée en gramme/litre

Colonne n° 6 : Msmax, concentration maximale, correspondant au débit maximal liquide, exprimée également en g/litre

Colonne n° 7 : QMs, débit solide moyen en suspension, exprimé en kilogrammes par seconde (Kg/s) et égal à Pt, en kilogrammes, divisé par le temps de base en secondes

Colonne n° 8 : Pt Ms, poids total de matières en suspension, exprimé en tonnes

Colonne n° 9 : Rs salinité moyenne (ou résidu sec), exprimée en g/litre

Colonne n° 10 : Pt Rs, poids total de sels transportés au cours de la crue, exprimé en tonnes.

Tableau 8.1 - TRANSPORTS SOLIDES ET EN SOLUTION (période 1972-78)

DATE	V m ³	Q moy. m ³ /s	Qmax m ³ /s	Ms g/l	Ms max. g/l	Q Ms Kg/s	Pt Ms Tonnes	Rs g/l	Pt Rs Tonnes
7.10.72	1320	0,28	0,7	15,5	22,5	4,4	20,4	4,1	5,4
4.12.72	3630	0,73	1,8	12,4	16,7	9,1	44,9	2,4	8,8
5.12.72	380	0,10	0,2	12,8	22,8	1,3	4,9	2,3	0,9
5.12.72	7870	2,02	5,6	17,3	32,1	30,0	136,0	2,4	18,8
30.12.72	15000	3,85	10,1	34,0	66,3	131,0	510,0	2,0	30,6
26.03.73	710	0,12	0,3	10,7	23,2	1,3	7,6	2,8	2,0
26.03.73	1670	0,25	0,4	8,2	16,0	2,0	13,6	2,7	4,6
4.12.73	325	0,09	0,1	5,3	9,1	0,6	2,0	1,9	0,7
4.12.73	935	0,13	0,3	11,3	41,5	1,5	10,6	2,4	2,3
12.12.73	245400	45,40	84,0	88,0	95,2	3.995,0	21.600,0	2,3	571,0
12.12.73	493200	31,60	131,0	80,0	112,0	2.528,0	39.400,0	2,4	1.180,0
26.02.74	1650	0,38	1,1	13,3	15,0	5,0	22,0	4,2	7,0
11.09.74	232	0,10	0,1	11,3	27,2	1,1	2,6	5,6	1,3
22.09.74	1624	0,23	0,8	8,1	13,0	1,8	13,2	2,7	4,4
29.09.74	57	0,02	0,0	13,0	16,6	0,2	0,7	7,2	0,4
15.10.74	25279	6,02	18,5	39,3	57,6	237,0	994,0	3,0	75,0
6.03.75	14628	2,71	7,3	25,7	47,9	69,6	376,0	3,1	41,1
22.03.75	549	0,05	0,2	10,3	18,5	0,5	5,6	4,6	2,5
18.06.75	44784	8,48	34,4	50,3	77,2	426,0	2.253,0	2,9	130,0
9.01.76	4932	0,97	2,3	23,7	32,5	22,9	117,0	2,3	11,4
9.01.76	804	0,50	0,6	16,0	20,8	8,0	12,9	2,2	1,8
9.01.76	5124	1,31	2,9	25,8	34,7	33,8	132,0	2,9	15,0
9.01.76	4404	1,05	1,7	20,7	34,1	21,6	91,0	3,2	14,2
9.01.76	13800	1,64	5,4	27,6	37,4	45,3	380,0	3,4	46,4
14.01.76	8004	63,00	1,8	8,2	10,3	5,1	66,0	2,5	20,3
14.01.76	15985	1,11	2,8	6,7	20,3	7,4	107,0	2,5	39,8
27.01.76	322	0,01	0,0	0,3	0,5	0,0	0,1	8,8	2,8
25.02.76	10680	1,66	4,4	11,9	16,4	19,8	127,0	2,5	26,7
26.02.76	1146	0,21	0,3	8,5	13,9	1,5	9,7	3,1	3,6
26.02.76	4194	0,56	0,7	16,8	21,6	9,5	70,5	3,4	14,4
26.02.76	12798	2,29	4,4	12,4	19,9	28,4	158,0	3,3	42,3
27.02.76	13740	1,91	5,6	14,0	23,2	26,7	193,0	1,9	26,4
10.03.76	379	0,06	0,2	5,9	12,0	0,3	2,4		
10.03.76	662	0,07	0,1	2,6	12,1	0,2	1,7		
26.03.76	2280	0,50	1,0	5,7	18,4	2,8	12,9	3,1	7,0
26.03.76	2202	0,46	0,7	2,2	6,8	1,0	6,6	4,0	8,9
27.03.76	5710	0,68	1,1	2,1	10,9	1,4	13,8	2,8	16,1
15.05.76	93	0,03	0,1	5,4	5,4	0,2	0,5	5,0	0,5
8.09.76	246	0,09	0,2	15,9	22,9	1,4	3,9	3,2	0,8
15.02.76	8540	1,78	6,1	23,1	40,2	41,2	197,5	3,1	26,3
26.09.77	1210	0,14	0,3	11,4	38,2	0,3	13,8	2,6	3,2
17.10.77	22984	8,91	9,0	30,3	49,8	270,0	696,0	2,5	54,6
24.11.77	25142	5,98	21,7	47,7	56,7	286,0	1.200,0	3,4	85,2
16.01.78	4908	0,50	1,9	19,6	30,6	9,7	96,0	2,4	12,0
13.02.78	7686	0,88	2,3	14,7	29,6	13,0	113,0	3,3	25,2

8.2.2 - Estimation des valeurs de concentration moyenne en fonction du débit

Comme nous ne possédons pas, pour toutes les crues observées à la station principale de l'oued Zita, les valeurs de turbidité, il a été nécessaire à partir des observations que nous possédions de tracer une courbe de concentration moyenne en fonction du débit.

Nous disposons dans le cas du Zita I, d'un bon nombre d'échantillons correspondant à des débits inférieurs à 1,0 m³/s. Pour les fortes crues l'échantillon est de moindre effectif. En effet, lorsque l'on connaît la soudaineté et la violence de certaines crues dans le Sud tunisien, il n'est pas toujours facile, même à une station bien équipée et avec une équipe entraînée, de faire des mesures correctes et significatives lorsque la vitesse de l'eau dépasse 3 à 4,0 m/sec.

Cependant, entre 1975 et 1976, l'équipe en place sur le bassin a pu effectuer un bon nombre de prélèvements à des débits compris entre 10 et 40 m^3/s , et nous disposons ainsi d'une cinquantaine de points de mesure à partir desquels il a été possible de tracer ce que l'on peut appeler une courbe de concentration moyenne qui, donne des résultats cohérents pour des débits inférieurs à 40 m^3/s . Nous avons pris le risque de l'extrapoler de façon à permettre l'estimation des plus forts débits, tout en sachant bien ce que cela peut comporter comme imprécision, mais il n'y a, hélas, pas d'autre solution (fig. 8.1), si l'on veut effectuer le bilan annuel. C'est également à l'aide de cette courbe qu'ont été tracés certains turbidigrammes de crue pour lesquels nous ne possédions que peu ou pas d'informations.

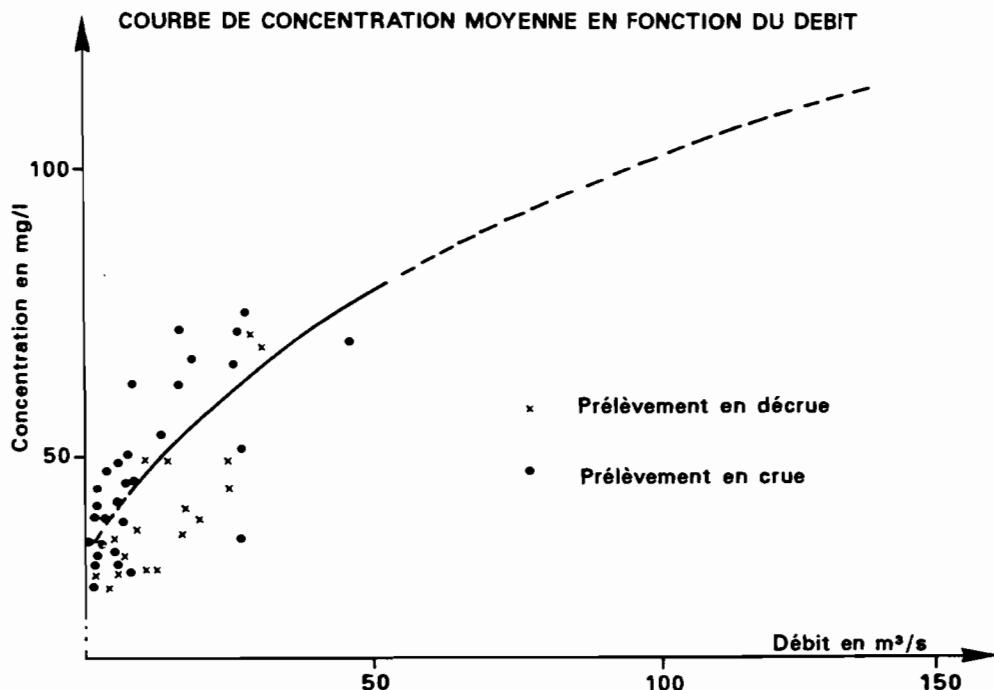


Fig-8-1 - STATION PRINCIPALE DE L'OUED ZITA - ZITA 1

8.2.3 - Les crues du 12 décembre 1973

A partir des résultats des prélèvements effectués, et en nous servant de la courbe précédente pour l'estimation de la concentration moyenne pour les forts débits, nous avons tracé les turbidigrammes de ces deux événements majeurs (fig. 8.2) pour la station principale du Zita I.

Pour la première crue, la concentration maximale est de 95 g/l. Nous ne possédons aucun prélèvement concernant la deuxième crue, et partant de la courbe de concentration moyenne, que nous estimons représentative, appliquée à l'hydrogramme de la deuxième crue, il a été possible d'obtenir le turbidigramme.

Comme cela a déjà été signalé (BOURGES, BOUZAIA, 1974), cette opération, hormis l'application de la courbe de concentration moyenne, fait intervenir beaucoup d'hypothèses et particulièrement que les deux averses principales engendrent des réactions similaires des surfaces érodées. Il est fort probable que les fortes

intensités de l'après-midi ruissellent sur un sol gorgé d'eau à la suite des pluies précédentes, produisant une érosion proportionnellement plus forte. Par contre, on peut penser que les matériaux fins d'origine éolienne ou détritique ont été déjà emportés lors de la première crue et ne sont plus disponibles pour la seconde.

Des turbidigrammes tracés sur la figure 8.2, nous pouvons déduire :

- Q_s max, débit solide maximal exprimé en tonnes/s.
- P_s , poids de matière transportée exprimé en tonnes,
- p_s , poids spécifique de matière transportée rapporté à 1 ha.
- L_{er} , lame érodée correspondant à l'épaisseur de matière enlevée, rapportée à la projection horizontale du bassin, l'érosion étant supposée uniforme sur tout le bassin.

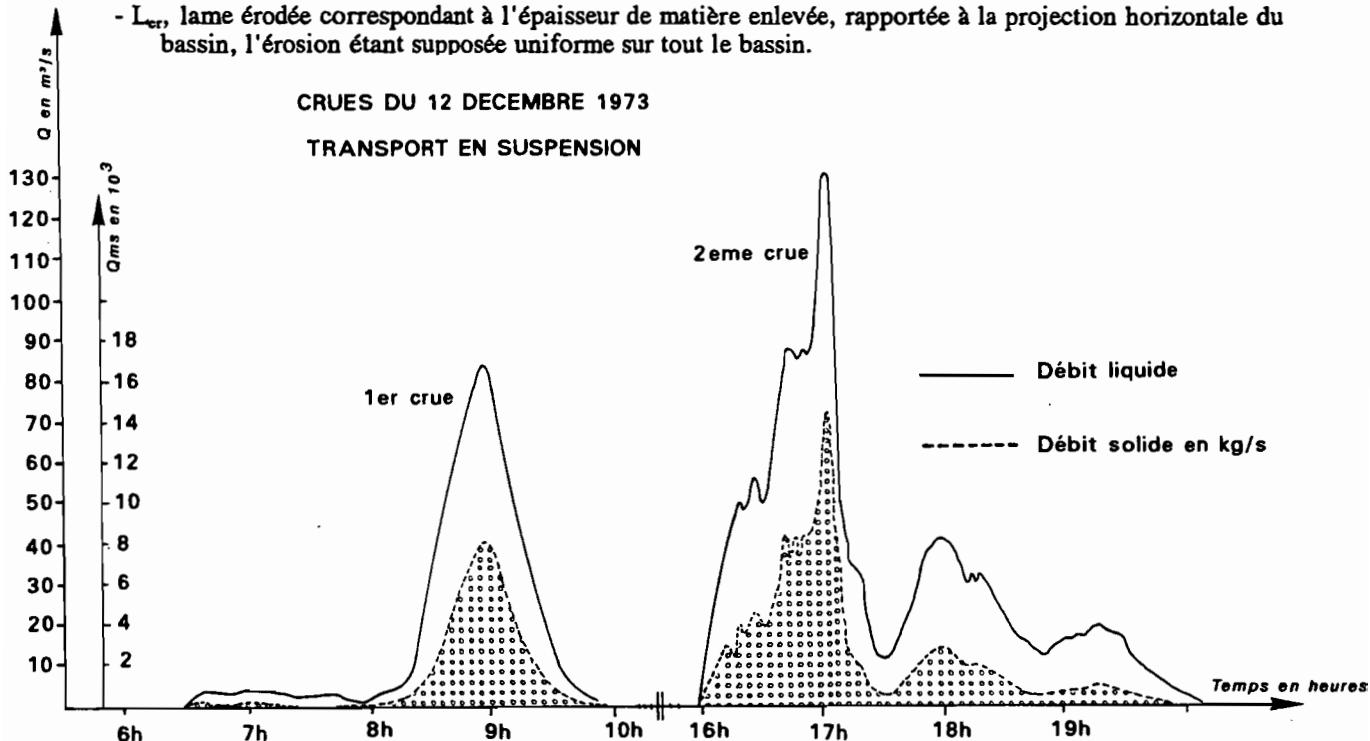


Fig-8-2 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 1

La densité des sédiments a été prise égale à 1,5 ce qui correspond à la densité apparente du sol en place.

	Ms max g/l	Ms moy. g/l	Qs max tonnes	Ps tonnes	p_s tonnes/ha	Ler mm
1ère crue	95	88,0	8,0	21600	67,5	4,5
2ème crue	(112)	(79,9)	(14,7)	39400	123,1	8,2
Total journée	(112)	82,6	14,0	61000	190,6	12,7

Il est évident que l'épaisseur enlevée de 12,7 mm est une valeur fictive mais elle permet néanmoins de situer l'importance du phénomène. L'épaisseur rapportée à la surface développée du bassin serait bien inférieure et surtout il faudrait évaluer les contributions respectives de l'érosion de surface et de l'érosion le long des berges et sur le fond des lits d'oueds.

La composition de ces sédiments varie sensiblement au cours de la crue et la proportion d'éléments grossiers croît avec le débit alors que celle de la matière organique diminue. D'après les analyses qui ont été faites sur les sédiments récupérés, on peut trouver au maximum :

- argiles	19 %
- limon fin	21,5 %
- limon grossier	26 %
- sable fin	28 %
- sable grossier	1 %
- matières organiques	0,96 %

Le reliquat (3,5 %) étant formé de gypse et de sels solubles.

8.2.4 - Qualité chimique des eaux de l'oued Zita (Zita I)

Entre le 7 octobre 1972 et le 24 novembre 1977, dates des première et dernière analyses d'eau, nous sommes en présence d'un échantillon de 371 valeurs. La qualité des résultats n'est pas uniforme sur la période et nous n'avons retenu pour notre étude que les analyses dont la balance ionique s'équilibre à moins de 2 %. Pour certains bassins, compte tenu du fait que certains éléments n'étaient pas analysés, nous avons accepté 5 %.

Nous présentons sur les figures 8.3 à 8.6, les résultats des corrélations liant la conductivité exprimée en micromohs/cm et certains anions et cations. C'est ainsi que pour :

$$n = 234 \text{ valeurs avec } r = 0,970$$

nous avons :

$$C = 4,232 [SO_4] - 3353$$

de même, l'évolution de la conductivité en fonction de la concentration en sodium donne les résultats suivants :

$$C = 4,67 [Na] + 2016 \text{ avec } r = 0,984$$

pour $n = 234$ valeurs

De même, l'évolution de la conductivité C, en fonction du chlore donne une excellente corrélation avec un coefficient égal à 0,984 pour un échantillon de 234 valeurs.

$$C = 2,93 [Cl] + 2237$$

La corrélation entre les concentrations en chlore et en sodium est significative :

$$Cl = 1,573[Na] - 72,8 \text{ avec } r = 0,990 \text{ pour } 234 \text{ valeurs}$$

Ces eaux sont très minéralisées et sont essentiellement sulfatées calciques, avec toutefois d'importantes teneurs en chlorures qui atteignent et dépassent parfois 4 g/l.

8.2.5 - Bilan de la période 1972-1978

Nous avons rassemblé dans le tableau ci-après les termes du bilan annuel des transports solides sur la période d'observations.

ANNEE	V _f m ³	Lame ruis. Hr mm	Pt Ms tonnes	Ps tonnes/ha	Ler mm
1972-1973	30600	9,55	737	2,30	0,15
1973-1974	741500	231,7	61000	191,0	12,7
1973-1974*	2910	0,91	34,6	0,011	0,007
1974-1975	87200	27,2	3650	11,4	0,759
1975-1976	107000	33,5	1500	4,68	0,312
1976-1977	8790	2,74	201	0,63	0,042
1977-1978	61900	19,3	2120	6,62	0,441
1972-1978	1037000	324,1	69200	216,3	14,40
1972-1978*	298400	93,3	8240	25,7	1,71

* sans la crue du 12.12.73

D'après ce tableau, on peut remarquer que :

- le volume total de sédiments transportés en 6 années d'observations est de 69200 tonnes, en comptabilisant la crue au 12 décembre 1973, et seulement de 8240 tonnes, sans tenir compte de celle-ci,
- la crue exceptionnelle de décembre 1973 représente à elle seule près de 90 % du volume total sur 6 années,
- si l'on excepte cette crue exceptionnelle, la lame fictive érodée serait de 0,29 mm/an, alors qu'elle dépasserait 2,40 mm/an avec les apports de décembre 1973.

On peut donc en déduire que, en dehors des crues exceptionnelles, le transport solide et en suspension n'est pas très important. De plus le poids de matières transportées n'est pas toujours proportionnel au volume de crue.

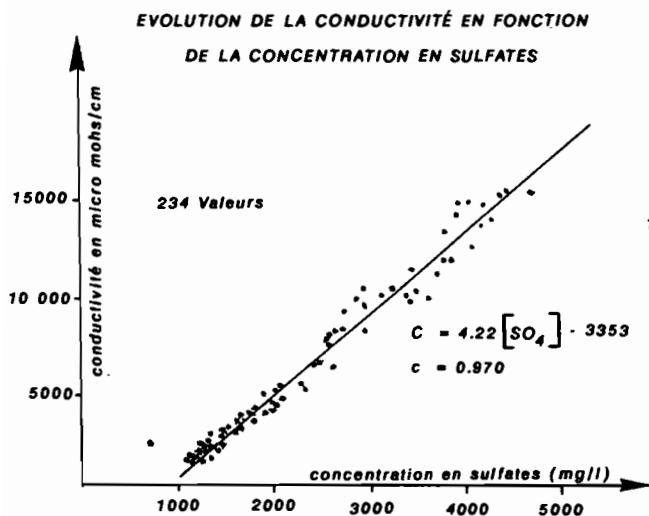


Fig-8-3 - BASSIN VERSANT DU ZITA - ZITA 1

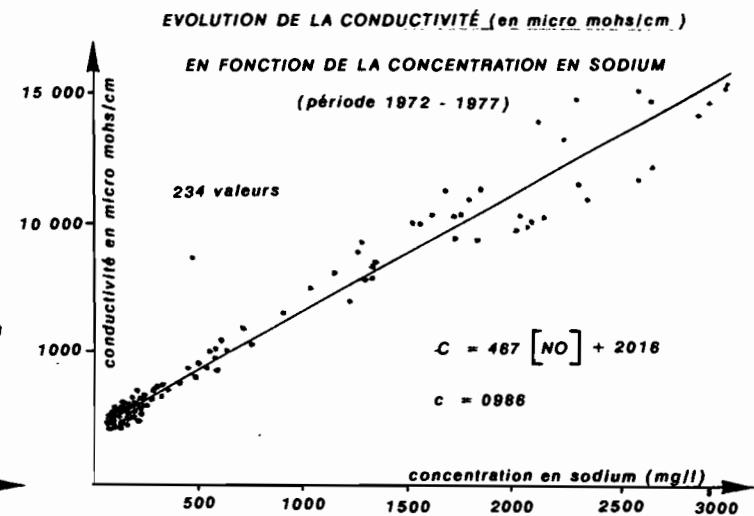


Fig-8-4 - BASSIN VERSANT DU ZITA - ZITA 1

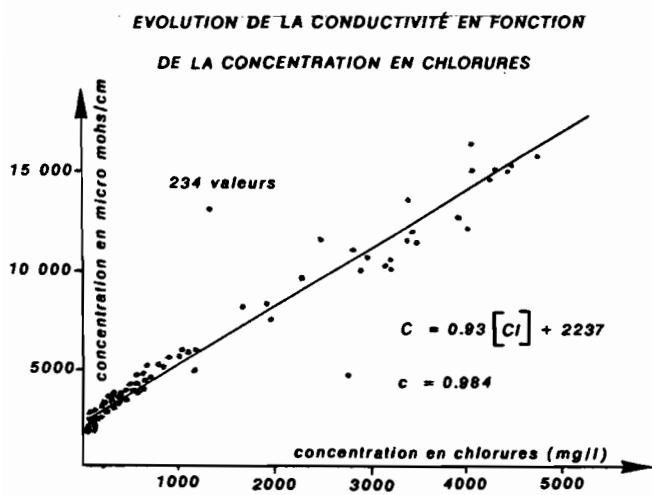


Fig-8-5 - BASSIN VERSANT DU ZITA - ZITA 1

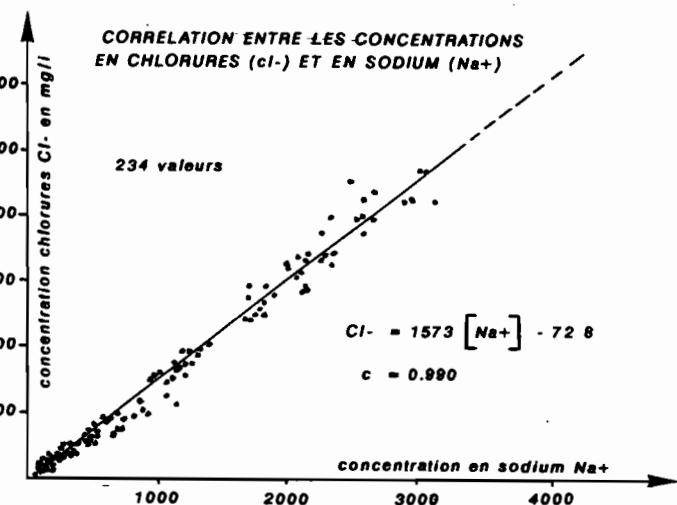


Fig-8-6 - BASSIN VERSANT DU ZITA - ZITA 1

8.3. - LE BASSIN DU ZITA II

8.3.1 - Résultats acquis sur la période d'observations

Comme pour le bassin principal, nous avons rassemblé dans le tableau ci-après, l'ensemble des résultats des turbidités observées à la station du Zita II, au cours de la période 1972 à 1978.

L'établissement de ce tableau s'est fait de la manière suivante : nous avons d'abord pris les résultats de transports solides en suspension déversés par la fosse (débordement), ainsi que les charges solides déposées au fond de celle-ci.

Lorsque ce premier tableau fut établi, il apparaissait des lacunes qui correspondaient, soit à des relevés douteux ou incomplets, soit plus simplement à une absence totale d'observations. Les valeurs "manquantes" ont toutes été estimées à partir des relations $Ms = f(V_r)$ (fig. 8.7) et $Ms + Ch = f(V_r)$ (fig. 8.8). Cette dernière relation totalise les transports en suspension Ms et les dépôts laissés dans la fosse et provenant du charriage (Ch), ce qui fait que le poids total des matières en suspension est égal dans ce cas à :

$$Pt\ Ms = Pt\ Ms + Pt\ Ch,$$

l'ensemble étant exprimé en kilogramme (fig. 8.8).

Enfin, il faut savoir que ces valeurs ne sont données que de manière approchée.

En effet, la courbe $Ms = f(V_r)$ est largement interpolée entre 300 et 3000 m³, et le risque d'erreur est assez conséquent.

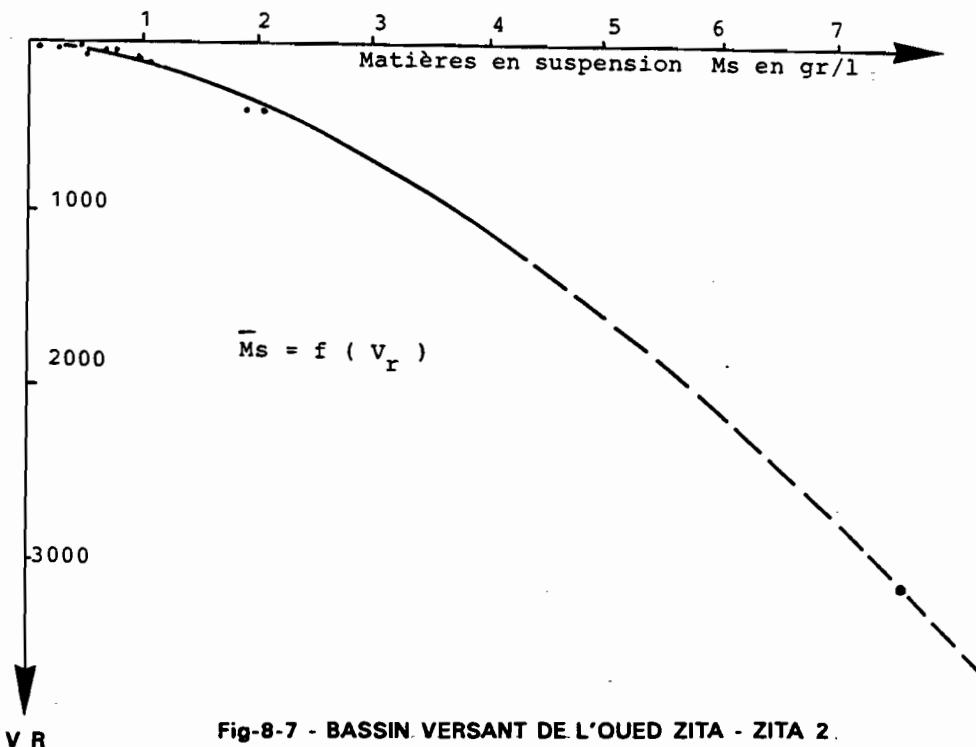


Fig-8-7 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2.

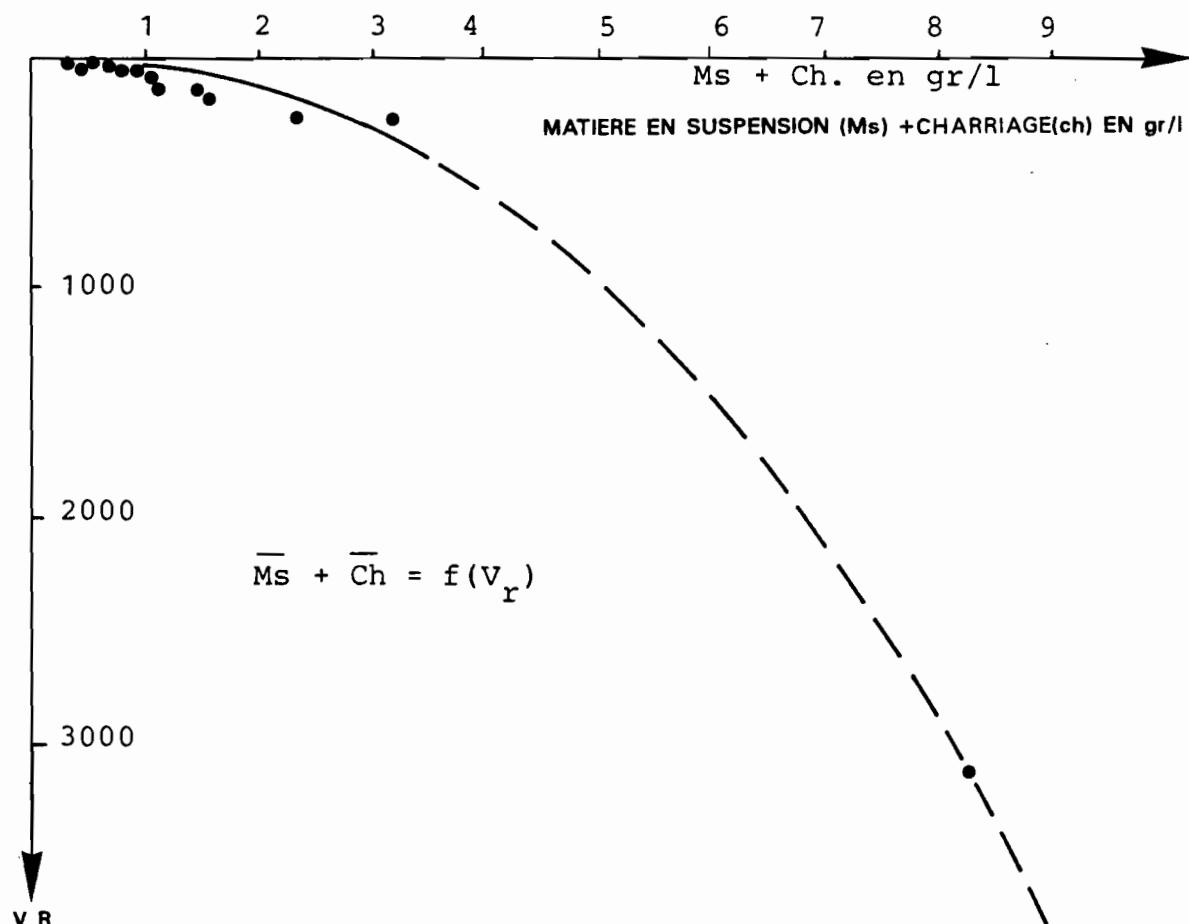


Fig-8-8... BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

Dans le tableau ci-après, nous donnons :

Colonne 1 - la date de la crue

Colonne 2 - V_r , le volume de la crue, en m^3

Colonne 3 - Q , le débit moyen de la crue, en litres/seconde

Colonne 4 - la lame ruisselée H_r exprimée en millimètres

Colonne 5 - Ms , la concentration moyenne de matières transportées en solution, exprimée en g/litre

Colonne 6 - Ch , la concentration moyenne de matières charriées et récupérées dans la fosse après chaque crue et exprimée également en g/litre

Colonne 7 - $Pt Ms$, le poids total de matériaux transportés (suspension + charriage), exprimé en kilogrammes

Colonne 8 - Ms , la concentration globale moyenne de matières transportées exprimée en grammes/litre (cf. tableau n° 45)

Tableau 8.2 - BASSIN DU ZITA II - Transports solides (période 1973-1978)

1 Date	2 Vr en m ³	3 Q l/s	4 Hr en mm	5 Ms g/l	6 Ch g/l	7 Pt Ms kg	8 Ms g/l
04.12.73	77,75	4,46	5,51	0,5	0,3	62,0	0,8
12.12.73	3096	112,1	219,6	7,6	0,65	25550	8,25
14.12.73	2,54	0,34	0,18	-	0,05	0,13	0,13
22.02.74	13,5	2,65	0,96	0,12	0,16	3,9	0,29
26.02.74	68,0	10,3	4,82	0,99	0,08	73,4	1,08
04.03.74	9,1	2,17	0,65	0,07	0,02	0,8	0,09
12.03.74	12,3	0,30	0,87	0,10	0,17	3,32	0,27
11.09.74	20,6	0,13	7,46	0,20	0,97	24,1	1,17
22.09.74	42,9	14,3	3,04	0,33	0,04	16,0	0,37
29.09.74	17,5	6,20	1,24	0,14	0,04	4,25	0,24
15.10.74	110,2	52,5	7,82	1,0	0,23	135,2	1,23
18.02.75	4,72	0,43	0,33	0,23	0,47	4,0	0,85
06.03.75	116,1	55,3	8,23	1,04	0,77	164,2	1,41
22.03.75	41,1	5,48	2,91	0,23	0,12	14,4	0,35
06.05.75	6,8	2,98	0,48	0,06	0,08	0,95	0,14
18.06.75	144	57,1	10,2	1,22	0,2	204,2	1,42
05.11.75	13,6	1,42	0,96	0,13	0,16	3,9	0,29
09.01.76	247,7	9,42	17,6	2,03	0,31	580,3	2,34
14.01.76	86,4	3,00	6,13	0,67	0,53	103,7	1,2
27.01.76	22,4	6,22	1,59	0,21	0,43	14,4	0,64
25-27.2.76	222,0	6,71	15,7	1,80	1,43	717,5	3,23
10.03.76	20,1	2,39	1,43	0,2	0,14	6,9	0,34
26-27.3.76	55,0	4,07	3,90	0,52	0,32	46,2	0,84
08.09.76	3,3	1,57	0,23	-	0,8	2,7	0,8
15.02.77	65,4	24,2	4,64	0,73	0,09	71,2	1,10
26.09.77	8,5	3,54	0,60	0,07	0,39	3,9	0,46
17.10.77	121,3	50,5	8,60	1,06	0,2	153,3	1,26
24.11.77	158,4	42,3	11,2	0,62	0,47	83,0	1,09
25.11.77	20,7	2,46	1,47	0,2	0,47	13,9	0,67
06.05.78	21,0	7,77	1,49	0,2	0,59	16,6	0,79

8.3.2 - Les crues du 12 décembre 1973

8.3.2.1 - Transport en suspension

La méthode de prélèvement est identique à celle décrite précédemment. En, raison de l'inexpérience d'un agent, qui s'est trouvé, au moment de la crue, seul pour effectuer les opérations de prélèvements à l'entrée de la fosse, sur le seuil et à la sortie, il s'en est suivi une certaine confusion devant le nombre d'échantillons, ce qui nous a amenés à ne prendre en considération que les prélèvements faits à la sortie de la fosse

Les turbidigrammes des deux crues ont été tracés sur la fig. 8.9 et l'on peut noter des taux inférieurs à ceux du Zita I. Nous pouvons cependant en déduire les caractéristiques des transports solides en suspension.

	Ms max g/l	Ms moy. g/l	Qs max kg/s	Ps tonnes	ps t/ha	LER mm
1ère crue	10,0	5,5	5,3	6,3	4,5	0,3
2ème crue	14,0	8,8	10,0	17,0	12,0	0,8
journée du 12	14,0	7,6	10,0	23,3	16,5	1,10

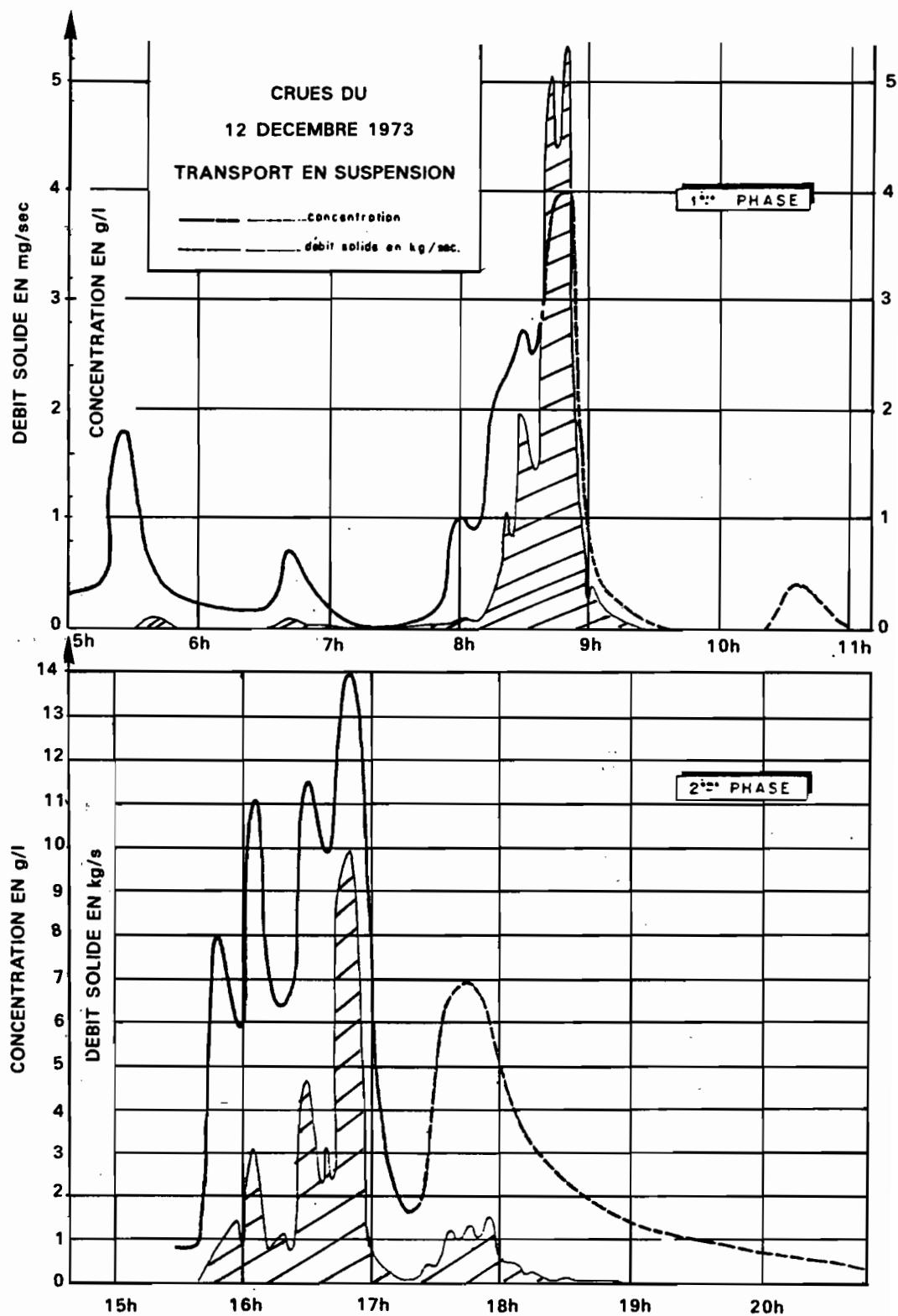


Fig-8-9 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

Notons la disproportion entre l'érosion de la première et de la deuxième crue qui ne peut s'expliquer par la seule différence des précipitations, mais surtout par l'état initial du sol (humectation des horizons superficiels, puis saturation entraînant une destruction de la structure de la partie supérieure du sol et la mise en suspension des argiles).

8.3.2.2 - Salinité

Avec les premières pluies apparaît un résidu sec proche de 0,3 g/l qui semble suivre les variations du débit. Après 8 h 20 on peut constater une hausse brutale de la salinité en corrélation avec le corps principal de la crue.

Etant donné la fluctuation des débits et des résidus secs, il n'a pas été possible de tracer une courbe de la salinité pour la crue de l'après-midi qui reproduirait exactement les variations de ce paramètre. Cela exigerait des prélevements de façon continue.

La courbe tracée rend compte de l'allure générale et donne une approche suffisante des volumes transportés (fig. 8.9). Par combinaison avec les hydrogrammes, nous en déduisons des salinigrammes ; les variations des débits étant nettement supérieures aux variations de la salinité, il est normal que ces courbes rappellent d'avantage l'aspect des hydrogrammes.

Nous en tirons les valeurs des concentrations au débit maximal, le débit maximum de sel, le poids total, le poids ramené à l'hectare et la concentration moyenne.

	C max g/l	Qc max g/s	Pc (tonnes)	pc t/ha	C moy g/l
1ère crue	1,1	0,6	0,82	0,58	0,72
2ème crue	1,7	1,2	2,33	1,65	1,08
journée du 12	1,7	1,2	3,15	2,23	0,97

Les caractéristiques chimiques des eaux sont relativement constantes avec une part prépondérante de sulfate de calcium. Tous les autres éléments ont des concentrations inférieures à 1 milli-équivalent par litre et bien que leurs variations ne semblent pas être directement liées au débit, il se dessine certaines tendances.

Ainsi, au cours de la crue, le taux de sodium, celui de potassium et de chlorure croissent légèrement alors que celui du magnésium décroît ; le taux des carbonates reste à peu près constant. En ce qui concerne Ca et SO⁴, ils croissent avec le débit, donc la turbidité, et sont responsables de la hausse brutale de la salinité déjà constatée (fig. 8.10).

	Ql/s	pH	Ca	Mg	Na	K	SO ⁴	Cl	HCO ³
début de la crue 5 h	48	7,1	3,0	0,4	0,4	0,25	2,90	0,4	0,9
début de la crue 7 h 50'	40	7,05	2,4	0,5	0,2	0,13	1,7	0,4	0,8
1ère crue 8 h 30'	290	6,95	10,1	1,0	0,9	0,19	9,7	1,0	0,9
début 2ème crue 15 h 48'	100	7,05	11,8	0,6	0,4	0,16	12,1	0,6	0,8
2ème crue 16 h 41'	240	7,5	19,7	0,2	0,7	0,19	20,7	1,0	0,5

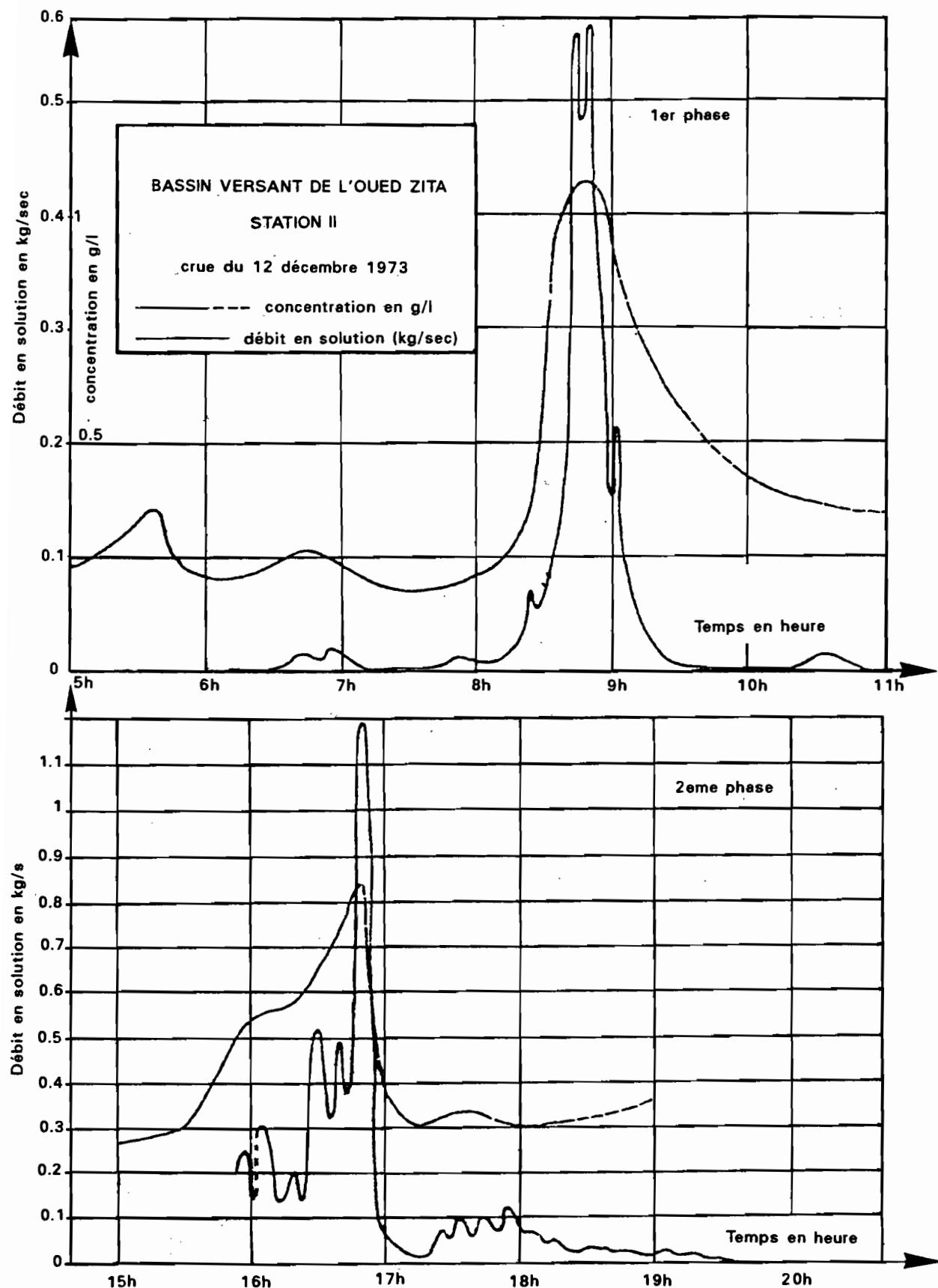


Fig-8-10 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

8.3.2.3 - Transport de fond

En dépit du dispositif brise-vitesse destiné à améliorer la rétention des éléments dans la première fosse au moment des gros débits, une petite partie des matériaux charriés s'est déposée à l'aval du déversoir, en amont du seuil épais. Pour l'ensemble des deux crues, on a ramassé dans les 2 fosses environ 2 tonnes de sédiments, se répartissant comme suit :

argile	22 %
limon fin	18 %
limon grossier	19 %
sable fin	27 %
sable grossier	9 %
matière organiques	0,56 %

Le taux de matières organiques peu élevé s'explique par la faible teneur en matières organiques du sol, le nettoyage effectué sur le sol lors des crues précédentes, et la violence des turbulences qui maintiennent en suspension les débris organiques les plus légers.

Il est intéressant de constater l'analogie entre la composition des sédiments récoltés dans la fosse et la composition des sols du bassin. Hormis les sables grossiers qui ont été piégés systématiquement, les autres matériaux étaient filtrés selon leur dimension et non selon leur nature, c'est-à-dire que seuls les éléments supérieurs à un certain diamètre étaient retenus par la fosse, qu'ils soient des éléments purs ou des agrégats comprenant des éléments fins.

En fait, le mécanisme d'érosion peut être schématisé ainsi : la particule de sol arrachée par le ruissellement est roulée jusqu'à la fosse. Si, au cours de son trajet, la particule se désagrège, les éléments fins sont mis en suspension et ne sont plus retenus par la fosse. Dans le cas contraire, elle se dépose et à l'analyse granulométrique des sédiments broyés, elle n'apparaîtra plus que par ses composants, donc reflétera en partie la composition des sols du bassin.

8.3.3 - Qualité chimique des eaux du Zita II

Nous disposons d'un échantillon d'analyse d'eau de 171 valeurs entre 1973 et 1978. Ces eaux quelle que soit la période de l'année, sont en règle générale assez peu minéralisées, quand on les compare aux eaux des autres bassins.

La minéralisation maximale observée atteint 74,8 milli-équivalent par litre pour une conductivité de 2850 milli-mohs/cm.

L'évolution de la conductivité en fonction des teneurs en sulfates et en calcium donne de très bonnes corrélations.

$C = 14,66 [SO_4]^{0,678}$ avec $n = 169$ valeurs et un coefficient de corrélation $r = 0,959$ et

$C = 18,3 [Ca]^{0,747}$ avec $n = 160$ valeurs et un coefficient de corrélation $r = 0,955$
(fig. 8.11 et 8.12)

Les corrélations qui ont été faites avec les chlorures et le sodium ne sont pas excellentes.

Il semble qu'en ce qui concerne le bassin du Zita II, les eaux de pluie qui ont un parcours relativement court jusqu'à leur arrivée à l'exutoire, ne rencontrent ici ni calcaires, ni bancs gypseux au contact desquels les eaux se minéraliseraient.

Ce sont des eaux de type sulfatées-calciques.

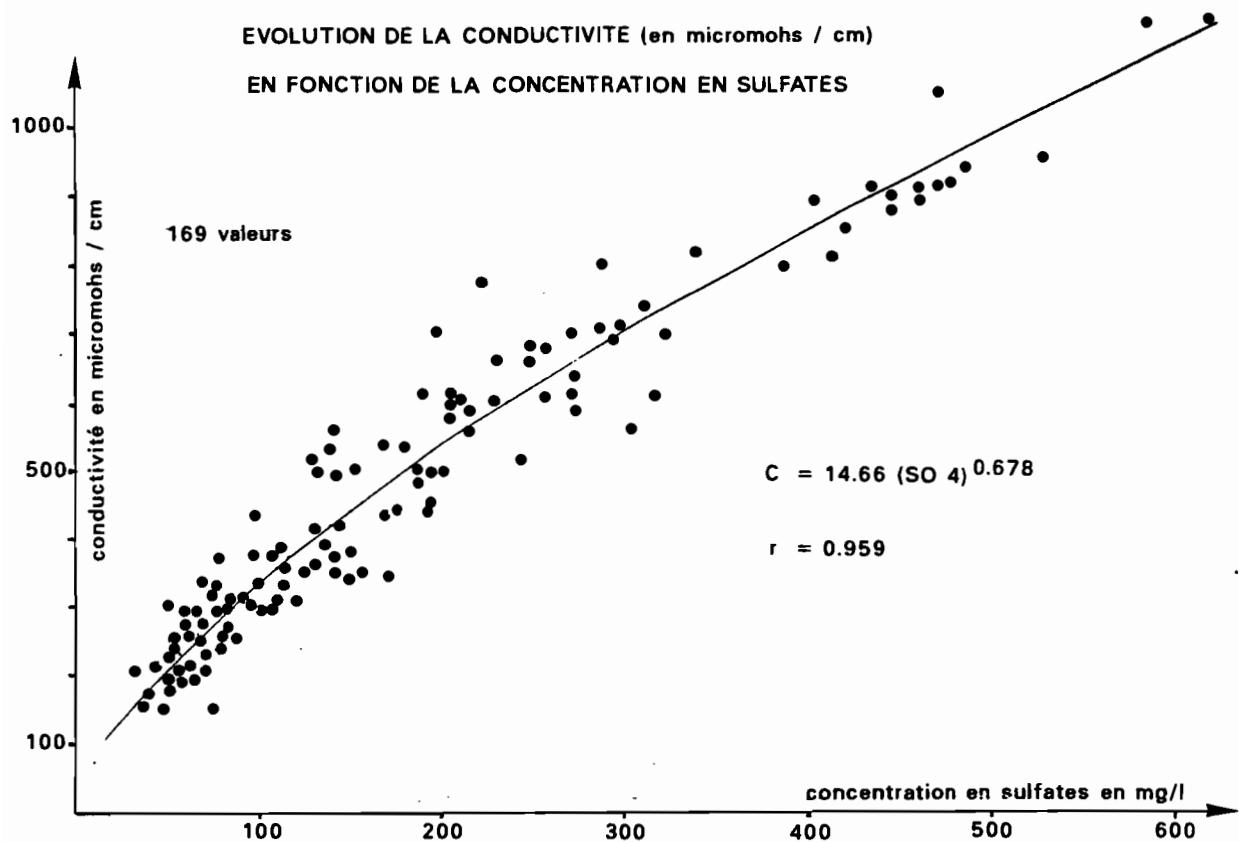


Fig-8-11 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

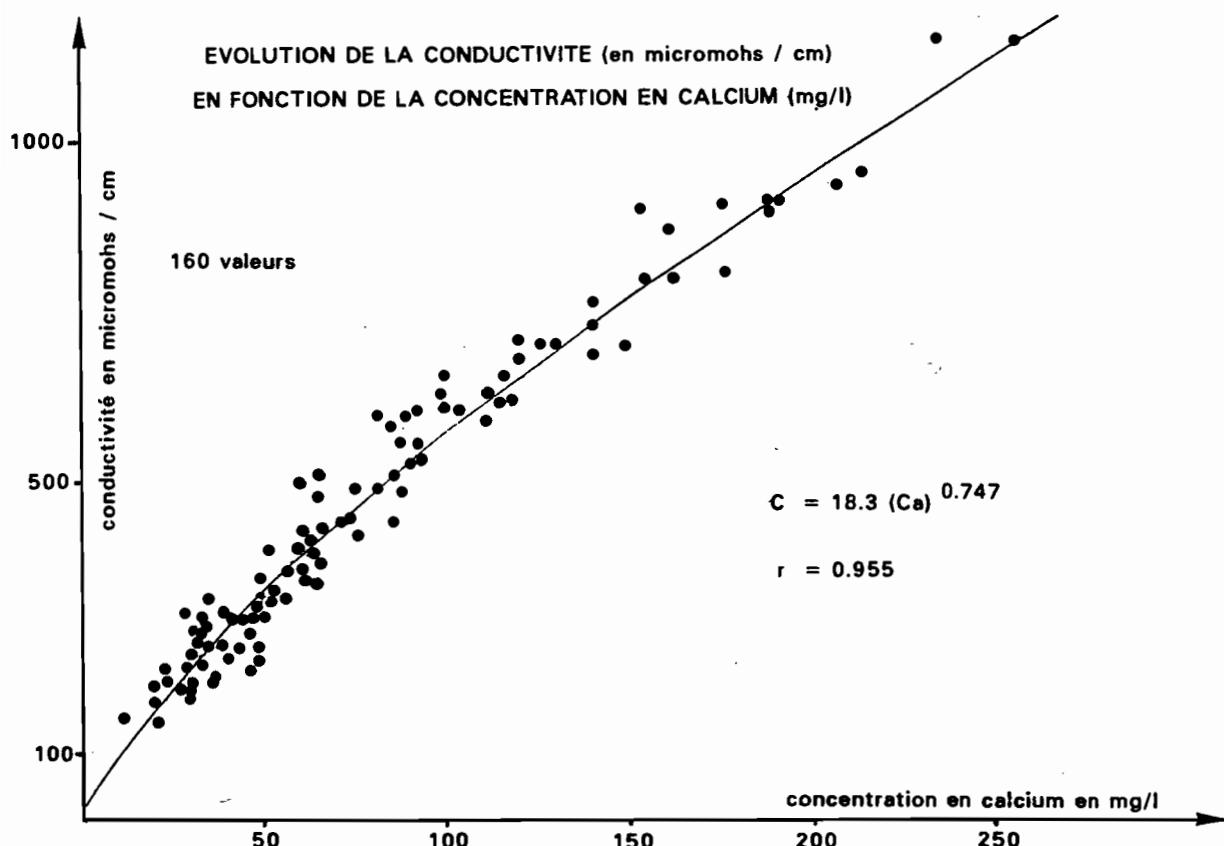


Fig-8-12 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 2

8.3.4 - Bilan de la période 1973-1978

Nous avons rassemblé dans le tableau ci-après les transports solides et en suspension observés à l'échelle annuelle entre les années hydrologiques 1973-1974 et 1977-1978.

ANNEE	V _f m ³	Hr mm	Pt Ms tonnes	P _s tonnes/ha	Ler mm
1973-1974	3279	232,6	25,7	18,2	1,21
1973-1974*	183	12,9	0,14	0,10	0,007
1974-1975	505	35,8	0,57	0,40	0,027
1975-1976	667	47,3	1,47	1,04	0,069
1976-1977	69	4,89	0,07	0,052	0,003
1977-1978	328	23,3	0,27	0,19	0,013
1973-1978	4768	343,8	28,1	19,9	1,33
1973-1978*	1672	124,3	2,5	1,79	0,12

* sans la crue du 12.12.73

8.4 - LE BASSIN DU ZITA III, DIT BASSIN DE LA "RAVINE"

8.4.1 - Résultats acquis durant la période d'observations

Nous possédons très peu de prélèvements et les résultats dont nous disposons sont très discontinus dans le temps. Nous avons cependant rassemblé dans le tableau ci-joint les valeurs obtenues pour les crues les mieux observées, mais pour obtenir ces valeurs, il nous a fallu le plus souvent passer par une relation $Ms = f(Q)$ dont la courbe représentative a été extrapolée jusqu'à un débit de 580 litres/seconde.

Il faut donc considérer que les valeurs de transports solides que nous donnons dans le tableau ci-après sont des valeurs approchées et cohérentes, et qu'elles permettent d'avoir une bonne estimation des transports sur la période d'observations.

8.4.2 - Les crues du 12 décembre 1973

Quelques prélèvements seulement concernent le début de la première crue, avant 8 h 30. Néanmoins, ils fournissent quelques indications intéressantes sur l'importance des transports.

- la turbidité varie de 1 à 24 g/l
- la salinité de 1,4 à 2,3 g/l

Le dernier prélèvement effectué, correspondant aux valeurs les plus élevées, se situe vers 600 l/s. Il est donc plus que probable que, en raison du relief et de la forte pente du lit de l'oued, les turbidités intéressant le maximum de débit soient supérieures à 50 g/l.

Les salinités atteignent des valeurs élevées après la crue, par suite du lessivage des berges gypseuses (5,0 g/l le 13/12/73), mais il est difficile d'avancer une valeur pour la cote maximale.

Le charriage est à la mesure de la pente du fond du lit de l'oued, creusé en grande partie dans la roche gypseuse et sur lequel des blocs compacts de plusieurs kilos, arrachés au sol, sont roulés.

Un amoncellement de matériaux charriés s'est déposé à l'amont de la station dans une zone à pente faible, ne représentant vraisemblablement qu'une partie du charriage total.

8.4.3 - La qualité chimique des eaux du Zita III

Nous disposons de 74 analyses complètes d'échantillons d'eau prélevés à la station du bassin du Zita III et répartis sur une période allant du 4 décembre 1973 au 13 février 1978.

BASSIN DU ZITA III

Analyse des transports solides - période 1973-78

ANNÉE	V _r m ³	Q l/s	M _s g/l	Pt M _s kg	pt M _s kg/ha
4.12.73	7,5	1,66	1,1	8,3	2,6
12.12.73	6270	290,3	26,4	165600	50953
26.12.73	8,1	3,0	1,7	13,8	4,24
15.10.74	262,8	230,5	19,2	5040	1551
6.03.75	59,7	30,1	7,2	432	132,9
22.03.75	52,0	5,42	0,5	27,6	8,49
18.06.75	680,0	629,6	26,5	18000	5538
9.01.76	179,4	11,0	8,7	1560	480
14.01.76	106,0	4,91	1,4	151	46,5
27.01.76	13,0	1,03	-	-	-
25 au 27.2.76	250,7	10,7	7,9	1968	605,5
10.03.76	16,5	1,53	0,6	9,6	2,95
26-27.3.76	104,6	6,27	2,8	294	90,5
15.05.76	12,8	4,74	3,0	38,4	11,8
8.09.77	27,4	10,1	4,6	127,2	39,1
15.02.77	51,4	18,6	1,8	94,2	29,0
26.09.77	3,3	1,1	-	185	56,9
17.10.77	152,7	72,7	17,3	2640	812,3
24-25.11.77	154	9,00	13,2	2040	627,6
13.02.78	39,7	3,78	2,2	88,8	27,3
6.05.78	1,44	0,65	-	-	-

* sans la crue du 12.12.73

Nous avons essayé les mêmes corrélations que pour les bassins précédents ; ceci nous donne :

- évolution de la conductivité en fonction de la teneur en sulfates avec $n = 61$ valeurs et $r = 0,927$ (fig. 8.14) ; nous obtenons

$$C = 1,51 [SO_4] + 215$$

- de même, la corrélation entre chlorures et sodium donne : pour $n = 57$ valeurs

$$Cl^- = 1,447 [Na^+] + 0,35 \text{ avec } r = 0,925$$

- l'évolution de la conductivité en fonction de la teneur en chlorures est également significative : pour 64 valeurs

$$C = 681 \times [Cl]^{0,266}$$

- du fait de la faible variabilité des concentrations, la corrélation entre la conductivité et la minéralisation globale S(en mg/l) :

$$C = 0,698 S + 656$$

ne nous donne qu'un coefficient de corrélation $r = 0,67$

- par contre, nous avons une bonne corrélation entre la teneur en sulfates et celle en calcium (63 valeurs) :

$$[SO_4] = 2,789 [Ca] - 49,9 \text{ } r = 0,941$$

Ce dernier ajustement confirme la caractéristique sulfatée calcique des eaux du Zita III.

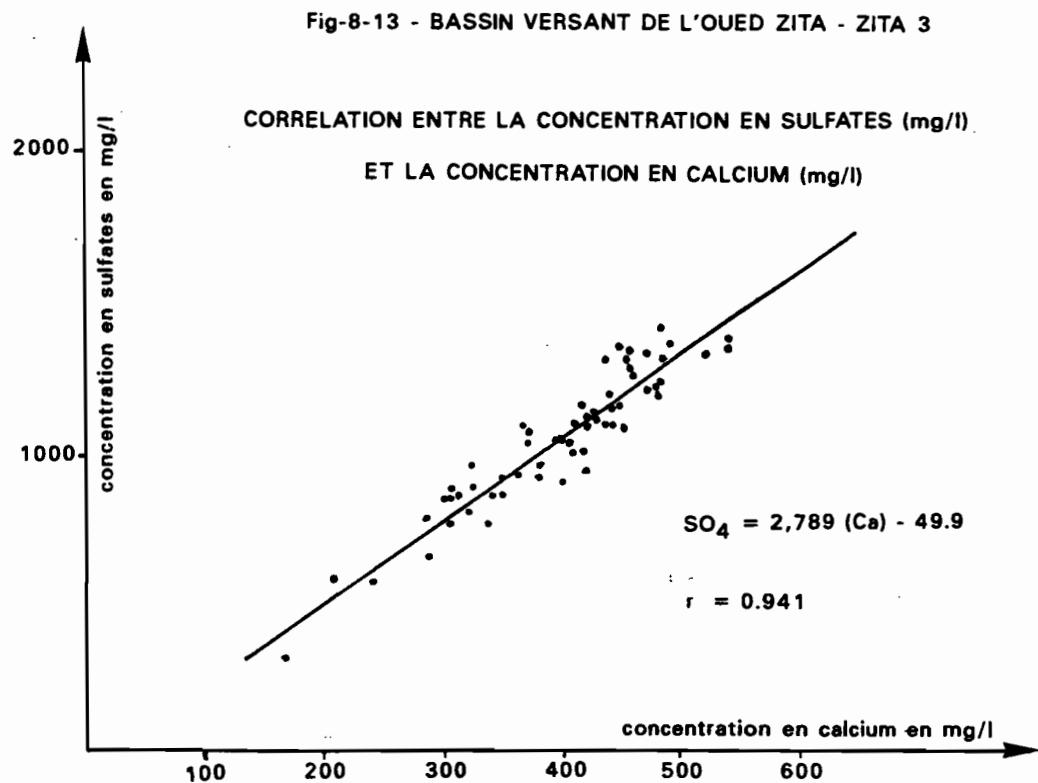
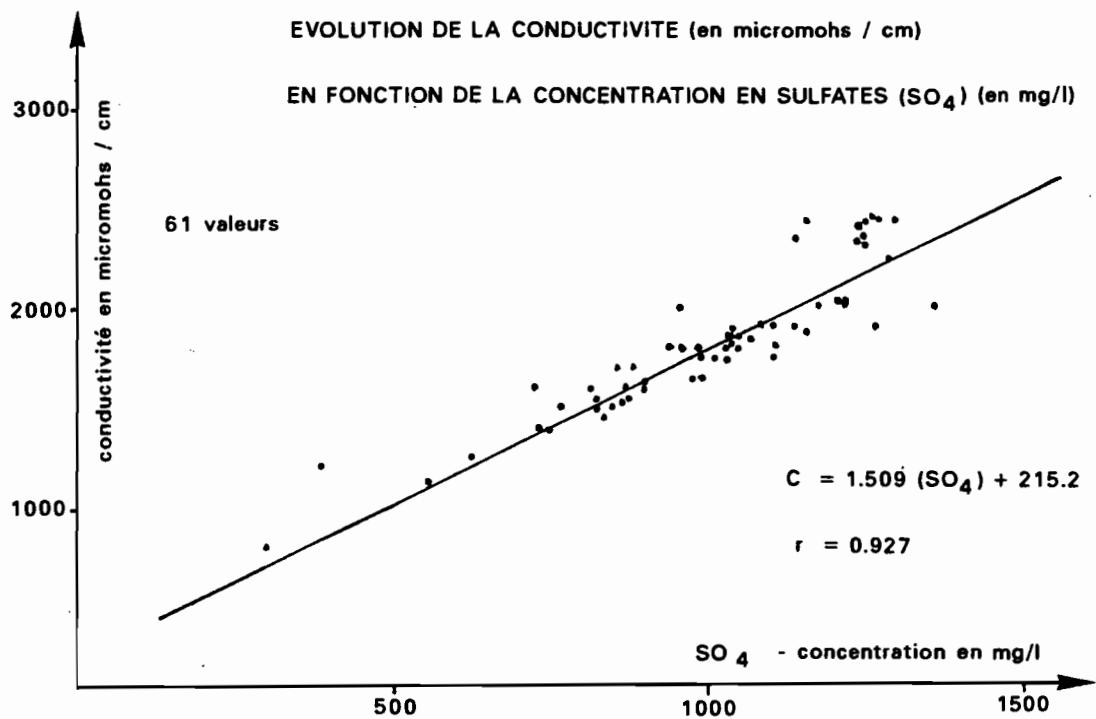


Fig-8-14 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 3

8.4.4 - Bilan de la période 1973-1978

Nous avons rassemblé dans le tableau ci-dessous les valeurs annuelles de transports solides estimés dans la station du Zita III pendant la période 1973-1978.

ANNEE	Vr m ³	Hr mm	Pt Ms Tonnes	ps t/ha	Ler mm
1973-1974	6290	179,5	165,0	47,1	3,14
1973-1974*	15,6	0,48	0,22	0,006	0,004
1974-1975	1055	30,1	2,35	0,67	0,04
1975-1976	683	19,5	4,02	1,15	0,08
1976-1977	79	2,26	0,22	0,063	0,004
1977-1978	351	10,0	4,77	1,36	0,09
1973-1978	8460	241,0	198,0	56,6	3,77
1973-1978*	2180	62,4	32,5	9,28	0,62

* sans la crue du 12.12.73

Pour ce bassin versant, on peut également remarquer que :

- le volume des sédiments transportés (ce sont des estimations, rappelons-le...) est de 198 tonnes pour la période 1973-1978, si l'on tient compte des apports du 12 décembre 1973 et de 32 tonnes seulement (6 fois moins environ), si l'on n'en tient pas compte,
- la crue exceptionnelle apporte à elle seule 83,3 % du volume total des sédiments transportés,
- le volume spécifique est de 47,3 tonnes/hectares en 1973-74 et seulement de 0,007 t/ha sans la crue du 12 décembre,
- la lame fictive érodée est de 3,14 mm en 1973-1974 contre 0,68 mm/an en moyenne sur la période observée.

Comme pour les autres bassins de l'oued Zita, on ne peut que constater l'importance et le rôle de cette crue exceptionnelle sur le total des sédiments transportés. Le pourcentage est cependant légèrement plus faible (88,1 % pour le Zita I et 91,5 % pour le Zita II).

Notons par contre, qu'en raison de la pente importante du lit de l'oued, le poids spécifique des transports solides est de loin le plus élevé.

8.5 - LES BASSINS DU ZITA IV ET DU ZITA V

Nous ne disposons que de très peu de mesures à ces deux stations, mais il nous a semblé intéressant de rappeler très succinctement ici, le dispositif de mesure de prélèvement automatique qui avait été expérimenté sur le bassin de Zita IV, ainsi que les résultats obtenus (BOURGES, 1978).

8.5.1 - Bassin du Zita IV

8.5.1.1 - Dispositif de mesures

Sur le plan purement hydrométrique, les dispositif mis en place est constitué par un déversoir en mince paroi triangulaire, ouvert à 100°, d'épaisseur 5 millimètres, et biseauté à 30° C sur les côtés du triangle.

De façon à améliorer les conditions de fonctionnement de ce déversoir et à contrôler les valeurs du débit qui en sont tirées, on a complété le dispositif par un brise-vitesse placé en amont du déversoir et constitué d'une lame métallique découpée et perforée, qui "casse" la vitesse d'arrivée de l'eau dans la fosse.

Les prises de débit du préleveur, au nombre de cinq, sont placées contre la lame, à distance suffisante du bord pour ne pas être dans la zone de remous.

Elles sont situées à 5, 15, 30, 45 et 60 cm au-dessus de la cote HQ_0 , cote du sommet du triangle. Un prélèvement effectué dans la fosse après la crue fournit une estimation des concentrations en fin de décrue. On possède ainsi les concentrations moyennes dans les intervalles 0-5, 5-15, 15-30, 30-45, 45-60 et au-delà de 60 cm au-dessus de HQ_0 . Afin d'améliorer la définition des petites crues on a choisi comme niveau de prélèvement 5, 10, 15, 30 et 45 cm au-dessus de HQ_0 , à partir du 1.12.1977.

Le tube utilisé est un tube en cuivre sans soudure, de diamètre intérieur 6 mm. Pour éviter le colmatage des tubes et augmenter les volumes prélevés, un diamètre supérieur (8 mm), indisponible au moment de la première installation, a été mis en place à partir du 1.12.1977.

De façon à éviter une obturation par les débris organiques flottant à la surface de l'eau, l'extrémité des tubes est recourbée vers le bas sur une hauteur de 3 cm environ, créant ainsi un siphon qui ne s'amorce que lorsque le niveau de l'eau a dépassé l'orifice d'entrée de cette hauteur. Ainsi, les débris organiques flottants ne sont pas entraînés par l'aspiration du tube. Le léger décalage de hauteur ne nuit pas à l'interprétation des résultats, étant donné la rapidité de la montée de la crue considérant que le niveau de prélèvement est, à la crue comme à la décrue, le niveau de la section d'entrée du tube.

Protégés par une console métallique, ces tubes débouchent dans une fosse divisée en compartiments, calculés de façon à pouvoir recevoir les crues exceptionnelles. Les petites crues sont collectées dans des récipients en plastique de 50 litres, afin de faciliter les vidanges et de supprimer la dissolution dans l'eau de prélèvements de certains matériaux composant les parois en maçonnerie (carbonates).

8.5.1.2 - Résultats obtenus

Entre la mise en service du dispositif le 15 février 1976, et son arrêt le 30 octobre 1977, on ne dénombre que cinq périodes pluvieuses suivies de crues sur cette station.

- 26 et 27 février 1976,
série de 4 crues, mais des défauts de montage et l'obturation partielle du 2ème tube par des débris organiques rendent les résultats inexploitables ;
- 9 mars 1976,
crue simple, on a recueilli 9,64 l d'eau et les concentrations moyennes sont : $Ms = 0,36 \text{ g/l}$ et $Rs = 1,85 \text{ g/l}$ le prélèvement de fin de crue dans la fosse a fourni : $Ms = \text{traces}$, résidu sec = 1,40 g/l ;
- 26 mars 1976,
cote < à celle du 2ème tube. Concentrations moyennes des 50 l d'eau prélevés : $Ms = 0,79 \text{ g/l}$ et $Rs = 1,40 \text{ g/l}$ le prélèvement dans la fosse a donné $Ms = \text{traces}$ et $Rs = 1,30 \text{ g/l}$;
- 15 février 1977
les orifices des tubes ont été obstrués par des déchets de matières organiques particulièrement importants par suite de la forte production végétale de l'année précédente $Ms = 3,0 \text{ g/l}$ et $Rs = 2,7 \text{ g/l}$;
- 17 octobre 1977
le dispositif semble avoir correctement fonctionné, et nous avons obtenu, selon le niveau de prélèvement :

	Volume recueilli (litres)	MS g/l	RS g/l
1er tube	20,5	1,51	1,80
2ème tube	9,64	2,35	1,92
3ème tube	2,76	3,36	2,16

En conclusion, sur les cinq crues observées, deux parmi les plus importantes ne peuvent être exploitées par suite du fonctionnement défectueux du dispositif.

Pour les deux autres crues observées, on obtient :

Crues du 9 mars 1976**Niveau 1 (1er tube) Matières solides**

$$C_1 = 0,38 \text{ g/l}$$

$$C'_1 = 1,85 \text{ g/l}$$

$$V_1 = 9,64 \text{ l}$$

La cote de l'eau n'ayant pas atteint le niveau 2, la concentration C_1 est la concentration moyenne au-dessus du niveau 1 ($V_2 = 0$ et $P_2 = 0$). Entre le niveau 0 (HQ_0) et le niveau 1, la concentration moyenne peut être prise égale à celle du prélèvement fait dans la fosse, après la fin de la crue.

En lissant les valeurs moyennes, on obtient une estimation correcte de la courbe de variation de la concentration (fig. 8.15) qui permet d'évaluer les poids de sel ou de matières solides transportés au cours de la crue (fig. 8.16).

Crue du 17 Octobre 1977**Niveau 3 : Matières solides**

$$C_3 = 3,36 \text{ g/l} \text{ d'où } P_3 = 9,274 \text{ g}$$

Résidu sec

$$C'_3 = 2,16 \text{ g/l} \text{ d'où } P'_3 = 5,962 \text{ g}$$

$$V_3 = 2,76 \text{ l}$$

Niveau 2 : Matières solides

$$C_2 = 2,35 \text{ g/l} \text{ d'où } P_2 = 22,654 \text{ g}$$

Résidu sec

$$C'_2 = 1,92 \text{ g/l} \text{ d'où } P'_2 = 18,509 \text{ g}$$

$$V_2 = 9,64 \text{ l}$$

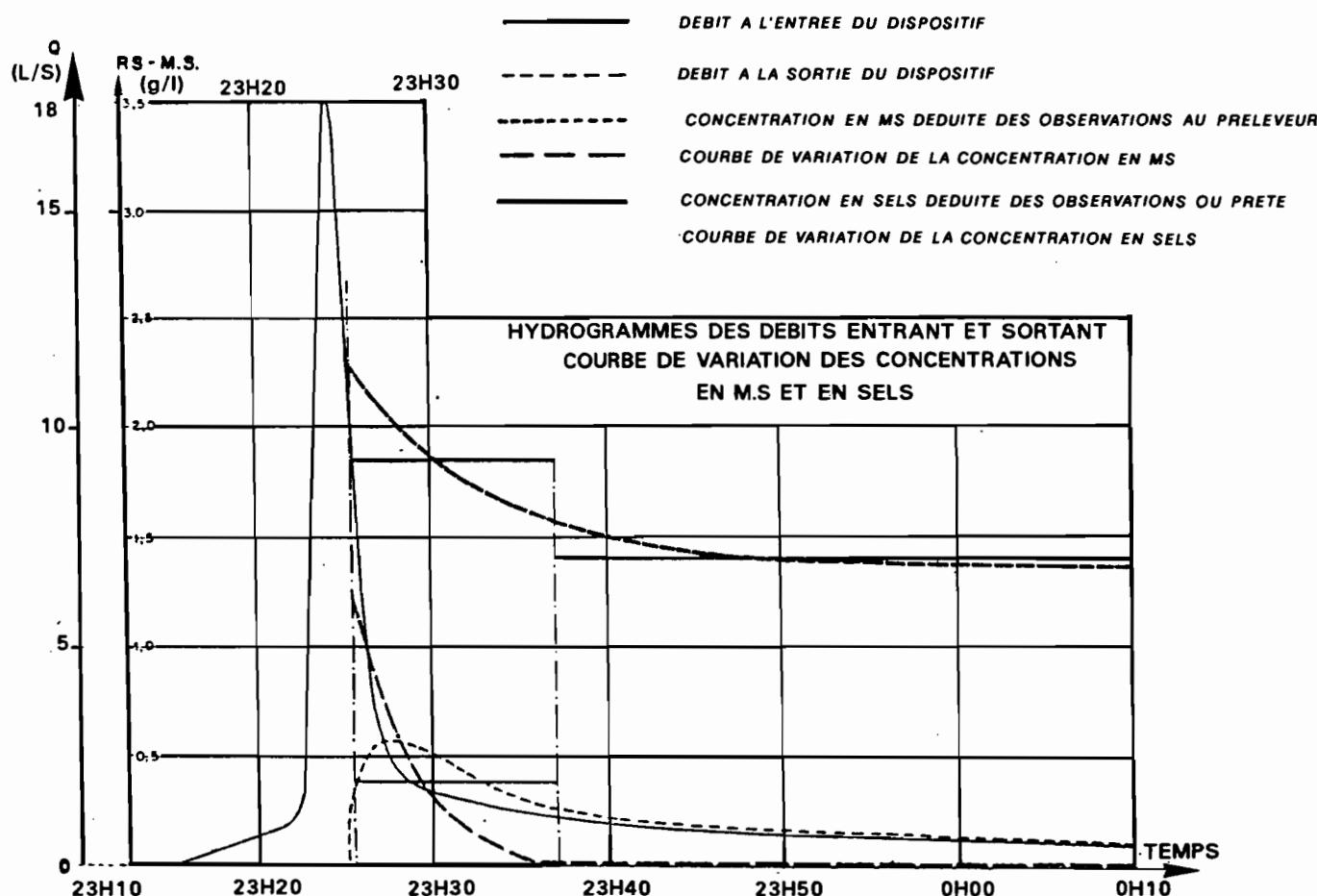
CRUE DU 9 MARS 1976 (n°2)

Fig-8-15 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 4

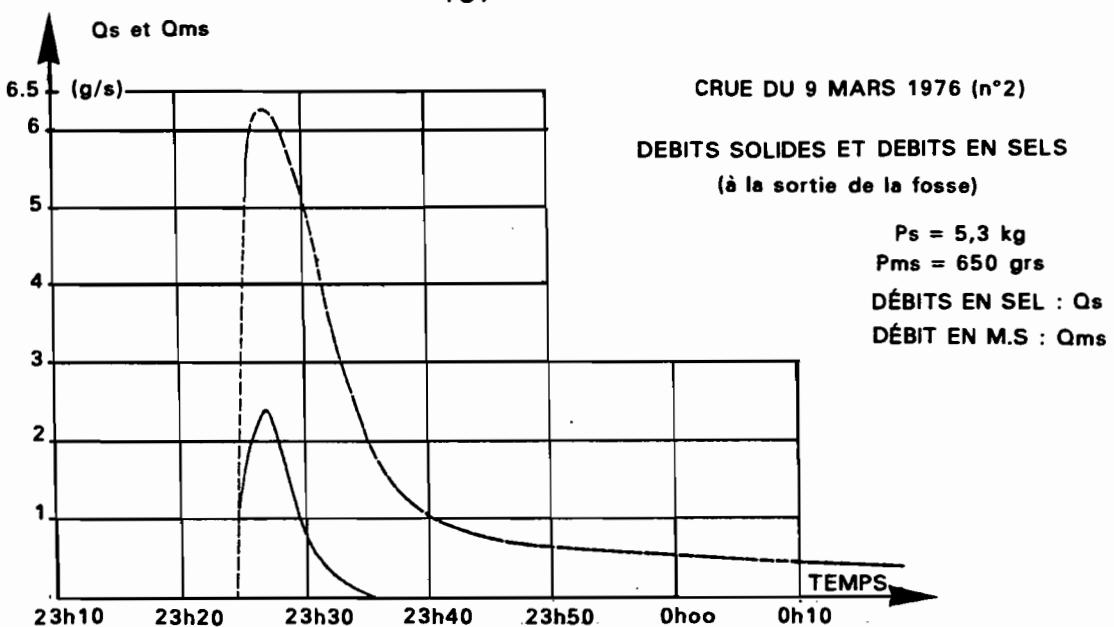
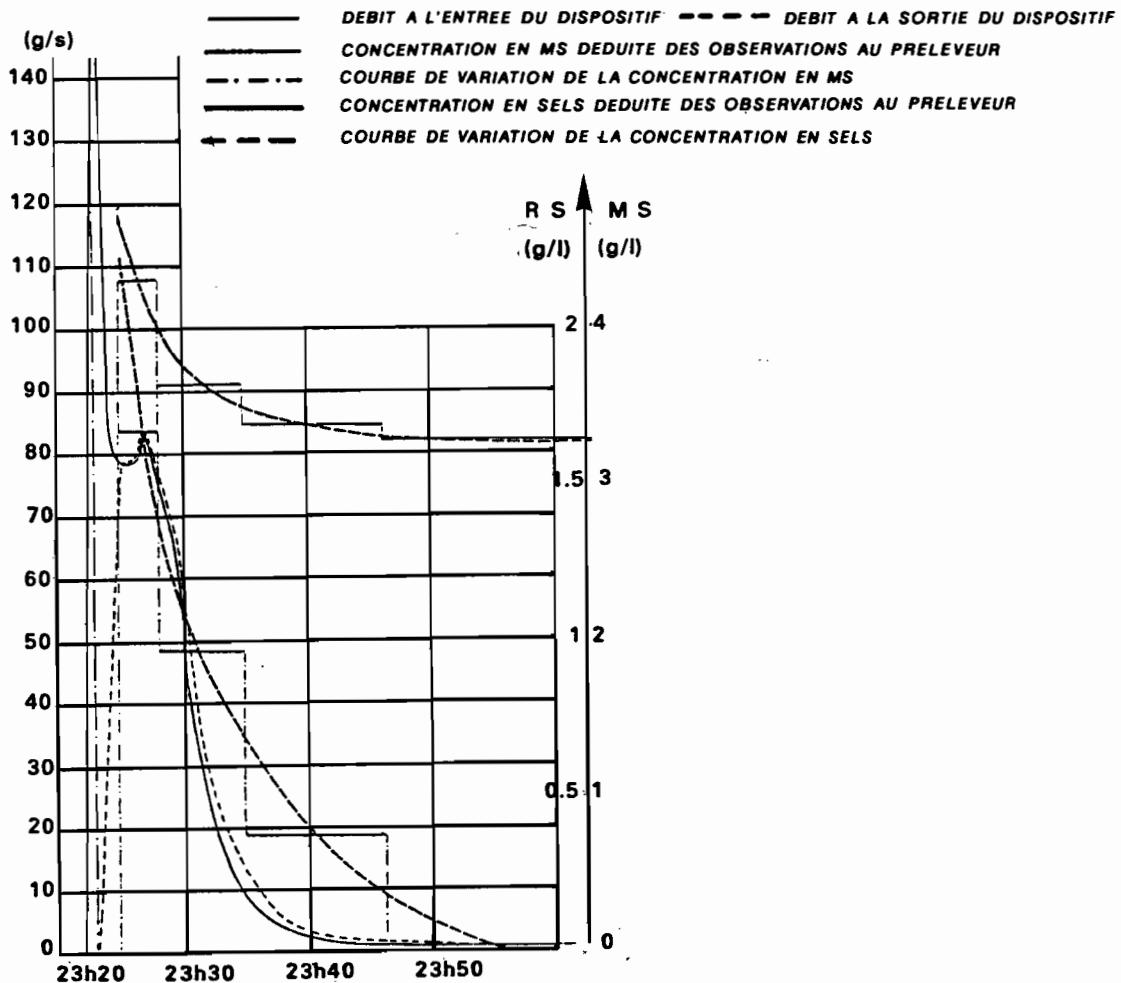


Fig-8-16 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 4



CRUE DU 17 OCTOBRE 1977

Fig-8-17 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 4

Niveau 1 : Matières solides

Résidu sec

$$C_1 = 1,51 \text{ g/l} \quad \text{d'où} \quad P_1 = 30,955 \text{ g}$$

$$C'_1 = 1,80 \text{ g/l}$$

$$P'_1 = 36,900 \text{ g}$$

$$V_1 = 20,5 \text{ l}$$

et donc :

Niveau 3 : C_3 et C'_3 sont inchangés

Niveau 2 : $C_{2-3} = (P_2 - P_3) / (V_2 - V_3) = 1,945 \text{ g/l}$

$$C'_{2-3} = 1,834 \text{ g/l}$$

Niveau 1 : $C_{1-2} = 0,764 \text{ g/l}$

$$C'_{1-2} = 1,693 \text{ g/l}$$

Comme pour la crue précédente, en lissant la courbe en escalier, on obtient la variation de la concentration dans le temps (fig. 8.17) d'où on déduit une bonne approximation des courbes de variation du débit solide et des sels à la sortie du dispositif (fig. 8.18) qui permettent d'évaluer le poids des éléments arrachés au bassin.

$$P_{MS} = 137 \text{ kg}$$

$$P_{sel} = 46 \text{ kg}$$

Il est bon de préciser que toutes les concentrations en matières solides et en sel sont celles mesurées au laboratoire après un ou plusieurs jours de stockage, et qu'il est très probable qu'une partie de ces matières solides, d'origine gypseuse, se dissolve, durant ce temps, dans l'eau et augmente le résidu sec.

Critique du dispositif

Il est évident que le premier dispositif mis en place présente le grave inconvénient de ne pas séparer la crue de la décrue et de fournir une valeur moyenne qui, aussi bien pour les matières en suspension que pour le résidu sec, sous-estime les concentrations de la crue et surestime légèrement celles de la décrue. La sélection de la crue et de la décrue dans le dispositif perfectionné permet d'éliminer cette imprécision.

Le principal inconvénient de ce dispositif tient plus au type de station et, en particulier, du déversoir qu'à la méthode en elle-même. A son passage à travers la fosse à sédiments, la crue subit une déformation d'autant plus grande que la crue est rapide.

Les concentrations obtenues sont les concentrations à la sortie du dispositif. Elles permettent de connaître les poids de l'élément choisi, transporté par la crue, à partir de l'hydrogramme des débits évacués par le déversoir. Connaissant les caractéristiques des eaux stockées dans la fosse, il est alors possible de faire le bilan global. Mais on ne peut en déduire les valeurs instantanées des concentrations à l'entrée du dispositif, correspondant aux débits fournis par le bassin à son exutoire.

Ces deux grandeurs, débit et concentration, subissent une distorsion à leur passage à travers le dispositif et, en particulier, toutes les variations rapides sont laminées par l'influence de la fosse :

- celle du débit, à cause des variations du volume d'eau emmagasiné dans la fosse. Si Q est le débit à l'exutoire du bassin, et q_s le débit sortant du dispositif, on a : $Q = S dh/dt + q_s$, h étant la cote à l'échelle,
- celle de la concentration, par homogénéisation de la concentration des premiers écoulements en phase de remplissage de la fosse (5 m^3) et ensuite par dilution de ces concentrations à la traversée de la fosse en phase de débordement. Son influence est d'autant plus importante que les crues sont faibles. A la limite, pour une crue inférieure à 5 m^3 , on ne possède plus que la valeur moyenne.

En cas de crue complexe, ou de crues successives ne pouvant être relevées séparément, le préleveur ne fournit que la valeur moyenne de l'ensemble. Si C^i_1 et V^i_1 sont la concentration moyenne et le volume des eaux prélevées au niveau 1, pour la crue i , on peut écrire :

$$V^i_1 C^i_1 = V_1 C_1$$

CRUE DU 17 OCTOBRE 1977

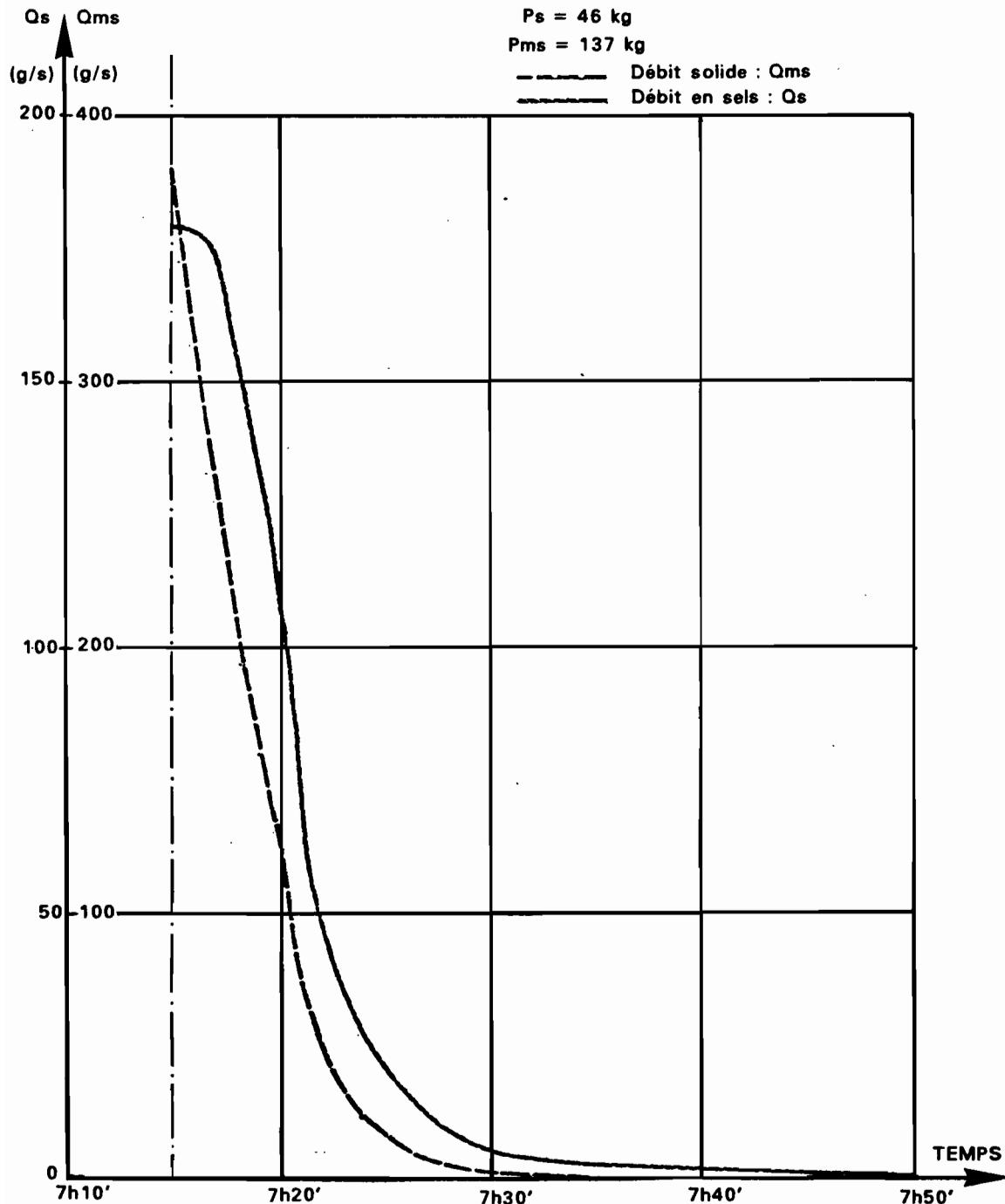
DÉBITS SOLIDES ET DÉBITS EN SELS
(à la sortie de la fosse)

Fig-8-18 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 4

Ainsi, pour les trois crues du 26 mars 1976, on ne connaît que les valeurs moyennes :

0,79 g/l de matières solides en suspension et
1,40 g/l de résidu sec.

On peut calculer les volumes d'après le temps de prélèvement, la cote étant sensiblement la même pendant les trois crues. On en déduit :

$$21 \times C_1 + 12,5 \times C_2 + 16,5 \times C_3 = 50 \times 0,79$$

mais on ne peut en tirer les valeurs respectives de ces concentrations qui, de toute évidence, ne sont pas les mêmes et décroissent au fur et à mesure des crues.

Enfin, sur le plan du fonctionnement lui-même, il faut signaler que le siphon, destiné à éviter le colmatage des orifices au cours de la montée de crue, n'a pas produit tout son effet à cause du batillage, et que, depuis une date récente, nous avons adjoint une protection en grillage à mailles serrées de 5 mm pour filtrer les plus gros éléments.

8.5.1.3 - Qualité chimique des eaux du Zita IV

Nous disposons de 83 analyses d'eau équilibrées, réparties entre les mois de juin 1975 et de février 1978.

La gamme de concentration est faiblement étendue et nous n'avons pu établir que les deux ajustements satisfaisants suivants :

- évolution de la conductivité en fonction de la teneur en sulfates (fig. 8.19) :

$$C = 1,099 [SO_4] + 545,12 \text{ avec } r = 0,864$$

- corrélation entre les concentrations en sulfates et en calcium (fig. 8.20) :

$$[SO_4] = 2,17 [Ca] + 198,6 \text{ avec coefficient de corrélation égal à } r = 0,934$$

Ces eaux sulfatées calciques sont chimiquement assez semblables à celles du Zita III quoique un peu moins concentrées en chlorures.

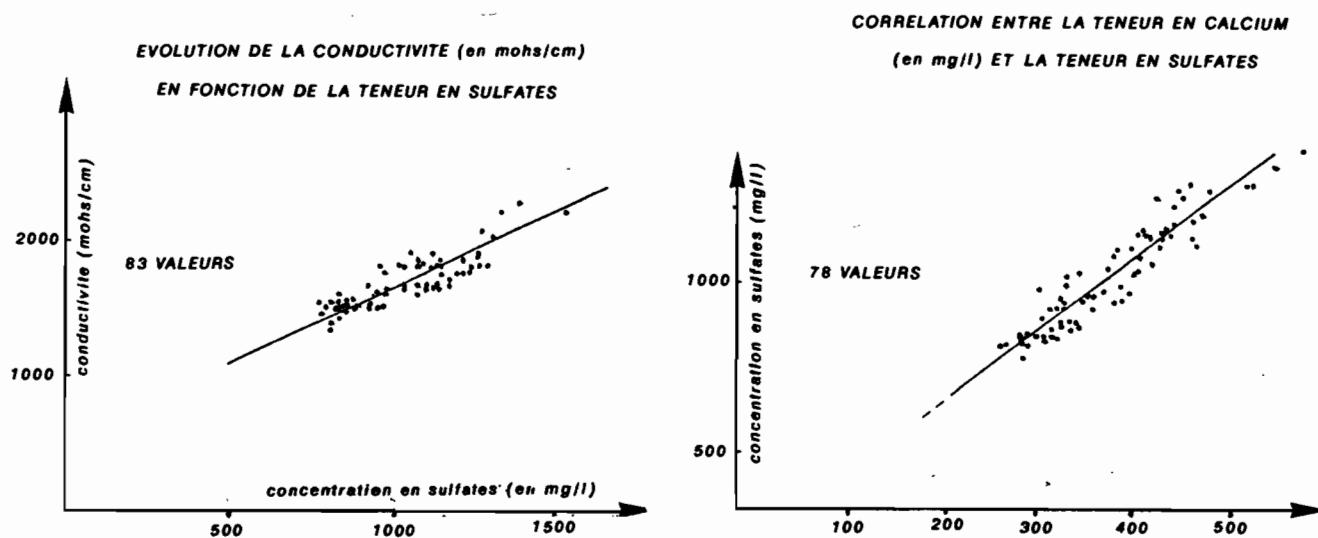


Fig-8-19 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 4

Fig-8-20 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 4

8.5.2 - Qualité chimique des eaux du Zita V

Réparties sur la même période que pour le Zita IV, nous ne disposons que de 17 analyses d'eaux. La représentativité des corrélations essayées est donc beaucoup plus aléatoire.

Nous avons retenu les ajustements suivants :

- entre les chlorures et le sodium (fig. 8.21) :

$$Cl = 2,69 Na - 55,0 \text{ avec } r = 0,994$$

- l'évolution de la conductivité en fonction de la teneur en chlorures

$$C = 208,8 Cl^{0,465}$$

et enfin l'évolution de la conductivité en fonction de la minéralisation totale exprimée en mg/l (fig. 8.22) :

$$C = 1,237 S + 16,59 \text{ avec } r = 0,974$$

Ces eaux sont également sulfatées calciques et très minéralisées. Elles contiennent toutefois une assez forte teneur en chlorures (jusqu'à 2 g/l) essentiellement pendant les 2 premières années de la période.

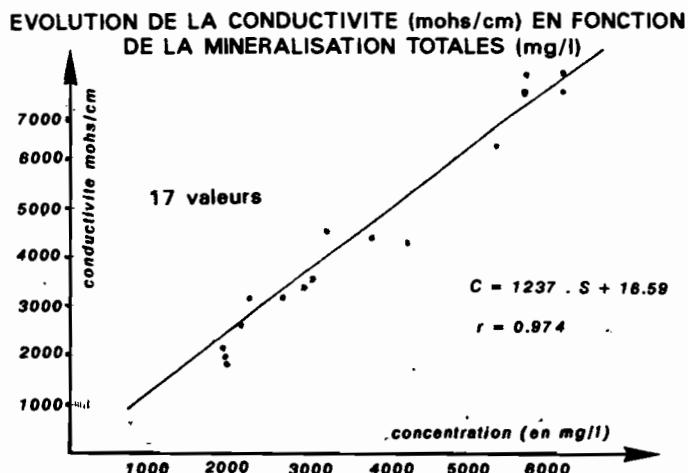


Fig-8-20 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 5
CORRELATION ENTRE LA TENEUR EN CHLORURES ET LA TENEUR EN SODIUM

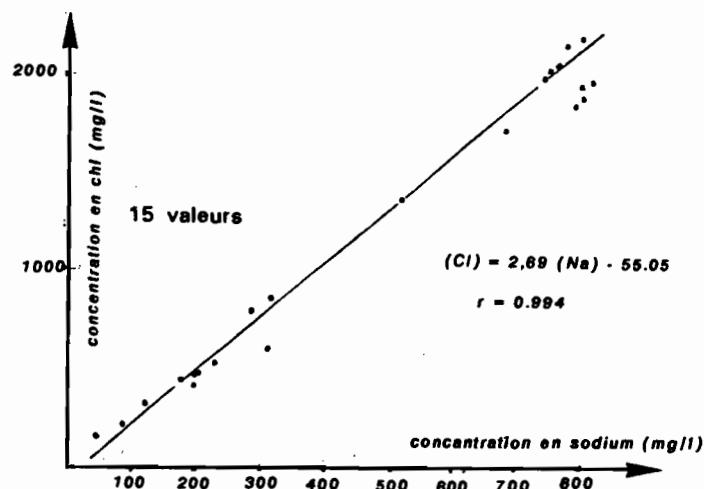


Fig-8-21 -BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA -ZITA 5

Résultats de quelques analyses d'eau aux différentes stations de l'oued Zita.

Bassin versant de Zita 1

Date	C μS/cm	CATIONS mg/l				Total mg/l	ANIONS mg/l			Total mg/l
		Ca	Mg	Na	K		SO ₄	Cl	CO ₃ H	
04.12.72	3300	448	68	285	19	41,3	1507	284	48	40,2
06.12.72	8200	660	218	1202	78	105,3	2579	1633	66	100,8
26.03.73	5325	500	121	708	25	66,4	2080	710	54	64,3
12.12.73	2000	440	36	64	8	28,0	1178	710	79	27,8
15.10.74	4200	564	80	437	17	54,2	1779	550	67	53,6
21.06.75	10500	716	382	1610	12	137,9	3219	2485	85	138,5
09.01.76	3000	420	122	237	20	42,0	1512	287	73	40,8
12.01.76	9600	408	590	1817	59	150,1	3360	2716	98	148,1
16.02.76	15000	624	686	2932	88	218,2	3920	4295	112	204,1
02.04.76	13500	624	586	2242	107	180,2	3780	3408	107	176,5

Bassin versant de Zita 2

Date	C μS/cm	CATIONS mg/l				Total mg/l	ANIONS mg/l			Total mg/l
		Ca	Mg	Na	K		SO ₄	Cl	CO ₃ H	
04.12.73	610	100	20	10	50	10,0	130	17	54	5,3
06.12.73	200	28	2	4	3	1,9	57	18	55	2,5
12.12.73	490	76	8	13	7	5,3	140	21	61	4,5
12.12.73	1050	202	12	20	7	12,2	469	35	54	11,6
29.09.74	800	154	6	16	5	9,0	288	22	85	8,2
18.02.75	330	48	4	7	2	3,1	98	17	48	3,3
05.11.75	490	88	2	5	0	4,8	193	9	46	5,0
15.01.76	150	20	5	1	1	1,5	48	4	30	1,6
27.02.76	380	52	10	7	1	3,7	149	12	37	4,1
15.02.78	300	44	5	5	2	2,9	77	10	72	3,1

Bassin versant de Zita 3

Date	C μS/cm	CATIONS mg/l				Total mg/l	ANIONS mg/l			Total mg/l
		Ca	Mg	Na	K		SO ₄	Cl	CO ₃ H	
12.12.73	800	166	0	5	5	8,8	321	21	48	8,0
12.03.74	1600	378	6	15	4	20,1	931	35	61	21,4
09.01.76	1250	288	10	5	4	15,5	660	8	73	15,2
08.09.76	2400	448	92	57	19	33,2	1368	62	171	33,3
26.09.77	1700	416	22	21	8	23,7	941	22	159	22,8

Bassin versant de Zita 4

Date	C μS/cm	CATIONS mg/l				Total mg/l	ANIONS mg/l			Total mg/l
		Ca	Mg	Na	K		SO ₄	Cl	CO ₃ H	
21.06.75	2050	528	14	25	20	29,2	1284	16	58	28,1
05.11.75	1750	352	19	30	29	21,2	960	42	55	22,1
09.01.76	1650	400	26	26	4	23,4	1104	33	43	24,6
14.01.76	1500	268	57	36	2	19,8	816	12	48	18,1
27.02.76	1350	276	31	8	2	16,8	816	10	49	18,1
13.03.76	1600	312	34	13	8	19,2	840	20	55	19,0
27.03.76	1400	292	36	11	5	18,2	815	11	49	19,1
15.02.77	1900	432	34	10	6	25,0	1128	14	70	25,0
26.11.77	2600	568	91	46	20	38,5	1536	119	146	37,7
14.02.78	1500	356	31	9	3	20,9	960	8	46	20,9

Bassin versant de Zita 5

Date	C μS/cm	CATIONS mg/l				Total mg/l	ANIONS mg/l			Total mg/l
		Ca	Mg	Na	K		SO ₄	Cl	CO ₃ H	
22.06.75	4300	676	151	315	20	60,6	2160	593	110	63,7
07.03.76	7750	800	379	782	23	105,6	1949	2130	137	102,9
28.03.76	6000	712	249	518	15	79,3	1878	1349	122	79,1
17.02.77	4500	592	128	321	12	54,7	1260	852	73	51,4
17.10.77	2100	464	62	43	3	30,4	1181	153	64	30,0

8.6 - LES SOURCES DU BASSIN DE L'OUED ZITA

Parallèlement à l'étude des transports solides et en suspension, qui était faite aux trois principales stations de l'oued Zita, quelques prélèvements d'eau à des fins d'analyse chimique étaient réalisés sur des sources du bassin.

Les débits de ces sources sont en général très faibles, la plupart du temps inférieur à 0,5 litre par seconde. Sept sources ont été reconnues le long de l'oued Zita et de ses affluents. Elles ont été dénommées S1 à S7. Elles sont situées dans les lits d'oueds, le long des berges.

S1 est la source située la plus en aval. Elle se trouve non loin de la station principale. S2, S4, S5 et S6 sont situées plus en amont, dans la zone centrale du bassin principal; S2 et S7 se trouvent dans les lits de 2 affluents rive gauche de l'oued principal. (fig. 8.23).

8.6.1 - MESURES ET OBSERVATIONS

Pour l'ensemble des sources figurant sur le graphique, nous disposons de résultats de séries d'analyses chimiques, le plus souvent complètes, et généralement couplées avec des mesures de débits, malheureusement peu exploitables. La périodicité des mesures était variable selon les sources et les périodes de l'année. Nous possédons quelques mesures quotidiennes sur une période d'un mois, des mesures hebdomadaires, voire même mensuelles.

L'ensemble des analyses que nous avons recensé couvre la période 1973 à avril 1978. Certes, les résultats obtenus sont très hétérogènes, et la qualité des analyses chimiques n'est pas toujours satisfaisante ; ceci étant dû, soit au stockage des prélèvements dans des locaux sur le terrain, avant d'être acheminées au laboratoire de la DRES à Gabès, soit à la qualité du prélèvement (bouteille mal rincée, prélèvement mal fait, etc.).

Cependant, malgré toutes ces imperfections, il nous est apparu intéressant de faire figurer les résultats acquis, et de donner un aperçu de la qualité des eaux de ces sources. Nous avons effectué un tri parmi les analyses en ne conservant pour cette étude que celles dont la balance ionique était équilibrée avec un δ inférieur à 4 % (δ = différence entre anions et cations sur total anions + cations exprimée en % du total).

8.6.2 - RESULTATS ACQUIS

Nous avons porté dans le tableau 8.3 les résultats des analyses d'eau effectuées à quelques unes des sources de l'oued Zita. Sur les graphiques des pages 165 et 166, nous avons fait figurer, à titre d'exemple, les corrélations entre la conductivité et les teneurs en sulfates, en magnésium, en sodium et en chlorures, pour les sources S₁ et S₅.

8.6.2.1 - Source S1

Cette source est la plus aval du bassin. Nous ne possédons qu'une vingtaine d'analyses d'eau effectuées entre décembre 1972 et octobre 1977. Les corrélations obtenues sont les suivantes :

$$\begin{aligned} C &= 3,906 [SO_4] - 790 \quad \text{avec } r = 0,916 \\ \text{et} \\ C &= 3,116 [Cl] + 2839 \quad \text{avec } r = 0,984 \end{aligned}$$

Les corrélations entre la conductivité et les teneurs en sulfates et chlorures sont bonnes. Il en est de même pour les corrélations entre sulfates et magnésium comme pour celles liant les chlorures et le sodium. Nous obtenons les droites d'équation suivantes :

$$\begin{aligned} SO_4 &= 3,36 [Mg] + 1688 \quad \text{avec } r = 0,954 \\ \text{et} \\ Cl &= 1,349 [Na] + 447 \quad \text{avec } r = 0,939 \end{aligned}$$

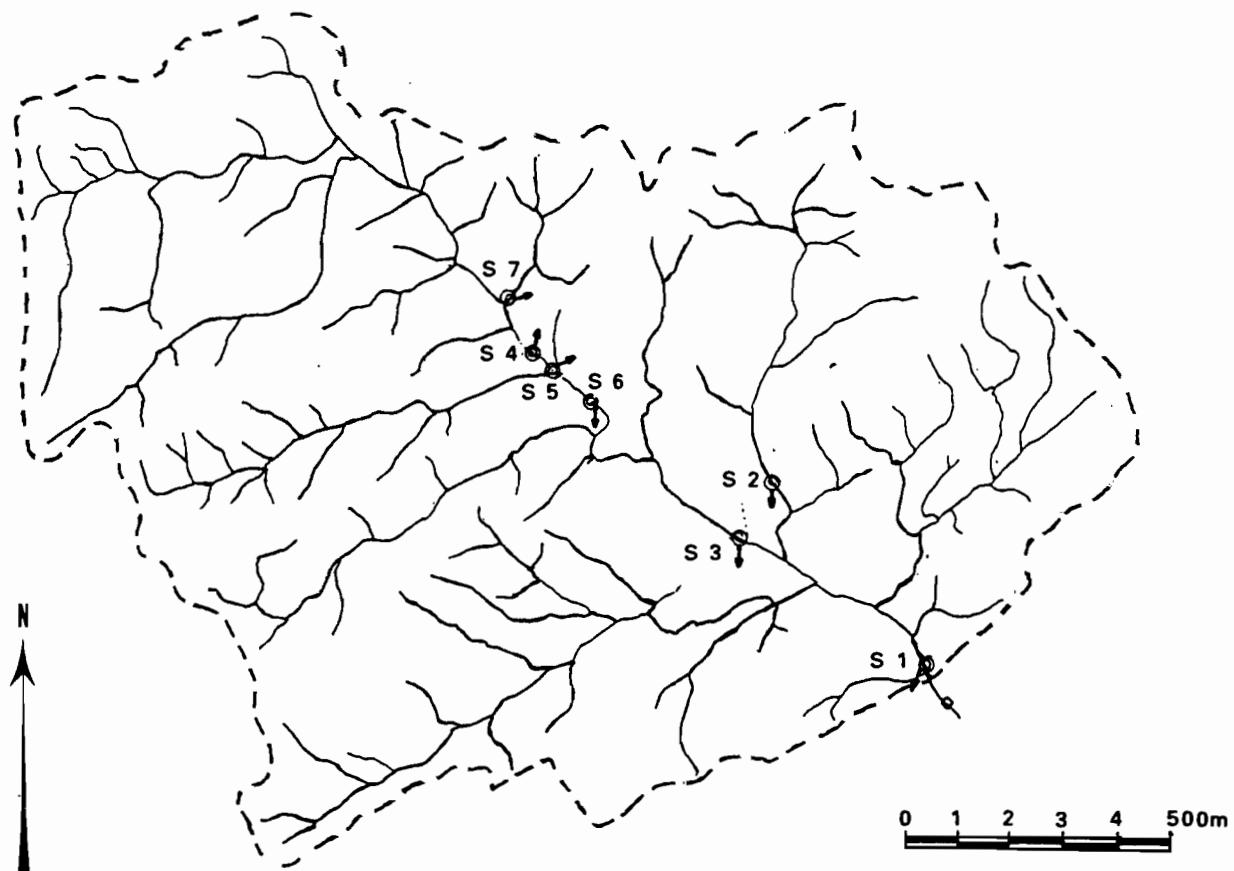


Fig-8-22 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 5

8.6.2.2 - Source S2

Elle est située sur un des affluents rive gauche de l'oued Zita. Nous possédonns un peu plus de 70 analyses complètes sur la période décembre 1972 à juillet 1977.

Comme pour la source précédente, nous avons reporté dans le tableau 8.3 quelques unes des valeurs les plus significatives des analyses d'eau.

Les résultats de l'évolution de la conductivité en fonction des teneurs en sulfates et en chlorures sont les suivants :

$$C = 3,810 [\text{SO}_4] - 1091 \quad \text{avec } r = 0,982 \quad (63 \text{ valeurs})$$

et

$$C = 3,21 [\text{Cl}] + 2285 \quad \text{avec } r = 0,986 \quad (65 \text{ valeurs})$$

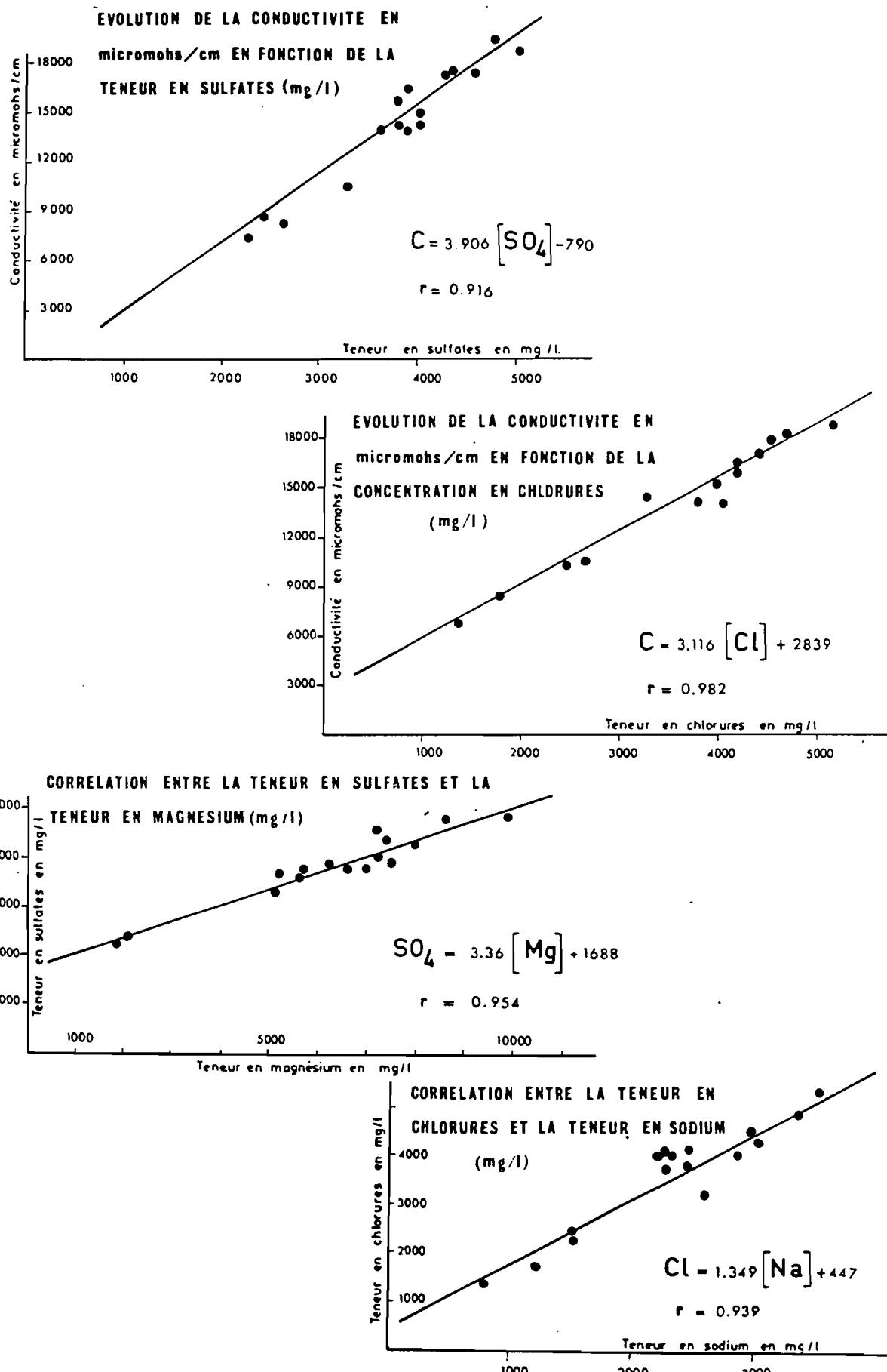


Fig-8-23 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - SOURCE 1

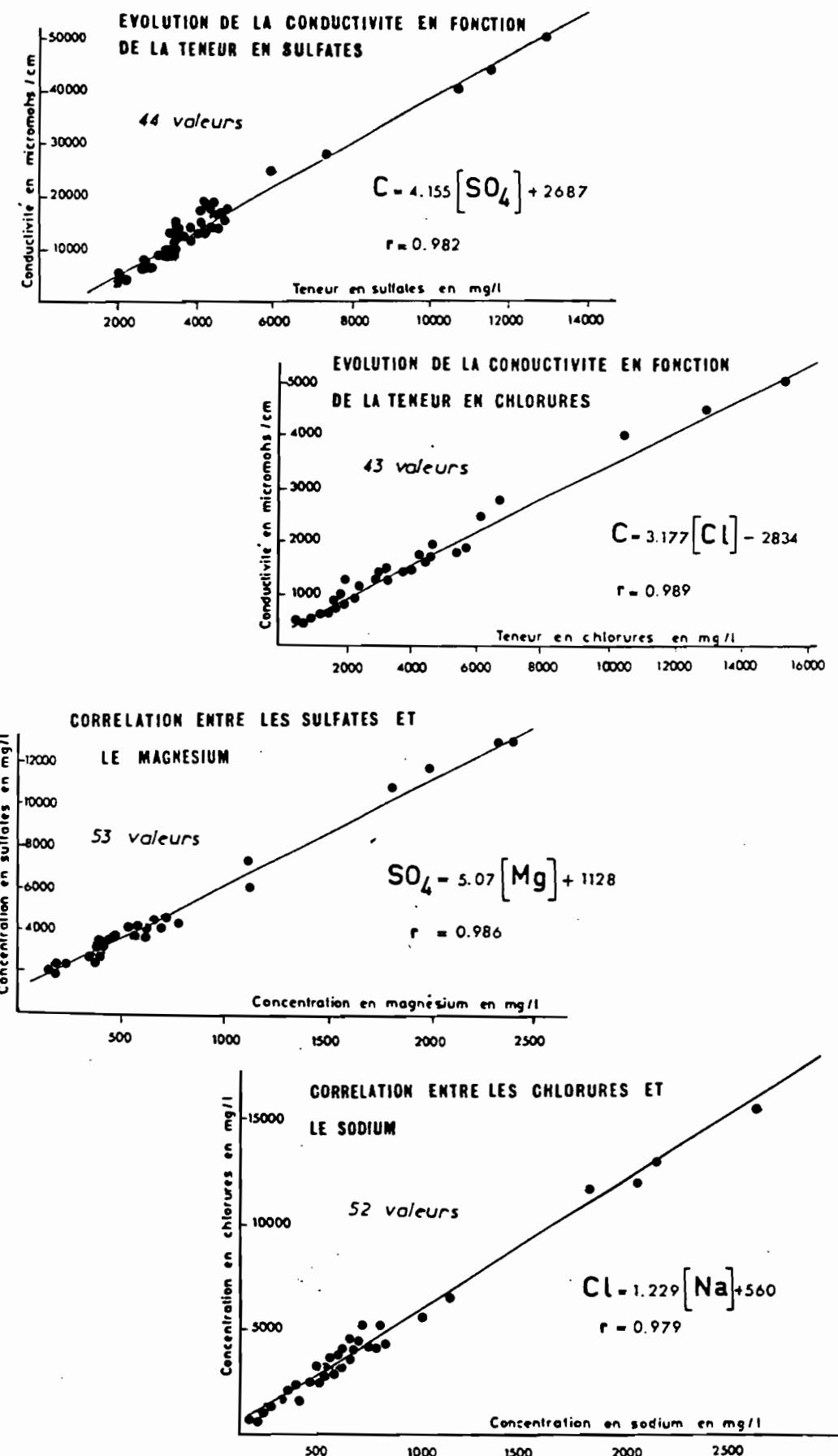


Fig-8-24 - BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - SOURCE 5

De même, les relations entre les teneurs en sulfates et celles en magnésium, ainsi que celles des chlorures et du sodium sont bonnes :

on obtient les corrélations suivantes :

et

$$\text{SO}_4 = 5,94 [\text{Mg}] + 92 \quad \text{avec } r = 0,977 \text{ (66 valeurs)}$$

$$\text{Cl} = 1,068 [\text{Na}] + 1662 \quad \text{avec } r = 0,976 \text{ (73 valeurs)}$$

8.6.2.3 - Source S3

Cette source se situe en amont du premier confluent important des oueds de rive droite.

67 analyses d'assez bonne qualité, réparties sur une période de 5 années, permettent d'avoir une bonne image de la qualité chimique des eaux. Notons que la composition chimique de l'eau de cette source semble plus constante dans le temps que les deux précédentes ; elle est également nettement moins minéralisée.

A partir d'un échantillon de 66 analyses, nous avons pu déduire les relations entre conductivité-sulfates et chlorures, et les relations liant les teneurs en sulfates aux teneurs en magnésium et celles des chlorures à celles du sodium. Les équations des droites de corrélation sont respectivement les suivantes :

$$C + 5,43 [\text{SO}_4] - 6104 \quad \text{avec } r = 0,897 \text{ (65 valeurs)}$$

$$C = 2,81 [\text{Cl}] + 3850 \quad \text{avec } r = 0,966 \text{ (64 valeurs)}$$

$$[\text{SO}_4] = 2,77 [\text{Mg}] \quad \text{avec } r = 0,935 \text{ (41 valeurs)}$$

$$[\text{Cl}] = 1,588 [\text{Na}] - 169 \quad \text{avec } r = 0,938 \text{ (64 valeurs)}$$

8.6.2.4 - Source S4

Située très en amont du bassin, nous possédons une quarantaine de résultats d'analyses d'eau sur la période 1973 - avril 1978. Notons la variation de la concentration globale au cours de l'année hydrologique, confirmée par la variation (dans le même sens) de la conductivité (de 2100 à 21000 micromohs/cm).

et

$$C = 4,062 [\text{SO}_4] - 3674 \quad \text{avec } r = 0,962 \text{ (36 valeurs)}$$

$$C = 3,02 [\text{Cl}] + 2847 \quad \text{avec } r = 0,994 \text{ (21 valeurs)}$$

Les relations entre chlorures et sodium et sulfates et magnésium sont les suivantes :

$$\text{SO}_4 = 3,83 [\text{Mg}] + 1401 \quad \text{avec } r = 0,979 \text{ (40 valeurs)}$$

$$\text{Cl} = 1,596 [\text{Na}] - 70 \quad \text{avec } r = 0,982 \text{ (40 valeurs)}$$

8.6.2.5 - Source S5

L'eau de cette source a une minéralisation variable comprise entre un maximum de 46 g par litre en mai 1973 à 3,8 g/l en juin 1976.

L'évolution de la conductivité en fonction respectivement des sulfates et des chlorures a donné les relations suivantes :

et

$$C = 4,155 [\text{SO}_4] - 2627 \quad \text{avec } r = 0,982 \text{ (44 valeurs)}$$

$$C = 3,177 [\text{Cl}] - 2834 \quad \text{avec } r = 0,989 \text{ (43 valeurs)}$$

Pour les relations entre sulfates et magnésium et chlorures et sodium, elles peuvent s'écrire comme suit :

$$\text{SO}_4 = 5,07 [\text{Mg}] + 1128 \quad \text{avec } r = 0,986 \text{ (53 valeurs)}$$

et

$$Cl = 1,229 [Na] + 560 \quad \text{avec } r = 0,979 \quad (52 \text{ valeurs})$$

8.6.2.6 - Source S6

Elle est située dans la partie médiane du bassin principal et son eau est assez minéralisée; la variation selon les périodes de l'année va de 37 g/l environ (15 mars 1973) à 5,6 g/l en janvier 1966.

Les relations conductivité-sulfates et conductivité-chlorures, ainsi que celles qui lient les teneurs en sulfates au magnésium, et les teneurs en chlorures au sodium sont respectivement :

$$C = 4,02 [SO_4] + 1670 \quad \text{avec } r = 0,950 \quad (42 \text{ valeurs})$$

$$C = 3,095 [Cl] + 3041 \quad \text{avec } r = 0,967 \quad (43 \text{ valeurs})$$

et

$$SO_4 = 5,186 [Mg] + 1001 \quad \text{avec } r = 0,956 \quad (40 \text{ valeurs})$$

$$Cl = 1,21 [Na] + 532 \quad \text{avec } r = 0,974 \quad (44 \text{ valeurs})$$

En règle générale, nous pouvons donc dire que, en ce qui concerne la qualité chimique des eaux, celles-ci sont assez chargées et présentent des valeurs de conductivité toujours supérieures à 1500 micro-siemens par centimètre (sauf sur le Zita II). La forte teneur en sulfates (supérieure à 400 mg/l) n'autorise pas l'utilisation de ces eaux à des fins d'irrigation.

Seules les eaux du bassin du Zita II peuvent être considérées chimiquement comme acceptables quoique très proches des valeurs limites prescrites par les organismes internationaux (O.M.S., 1972).

Tableau 8.3 - Résultats d'analyses d'eau de quelques sources de l'oued Zita.

Date	Cond	RS	CATIONS mg/l				ANIONS mg/l		
			Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H
Source S₁									
12.12.72	17500	15,0	700	709	3486	-	4573	4792	100
31.12.72	7000	5,98	640	182	982	31	2224	1349	79
03.01.73	8200	6,90	660	206	1221	43	2406	1739	91
17.12.73	15500	13,5	640	656	2217	67	3693	4082	115
25.12.73	17500	14,5	680	729	3036	80	4334	4366	140
06.03.74	16300	16,3	620	887	3671		4779	5289	183
12.04.74	14200	13,5	580	717	2875	70	3996	4047	97
29.03.75	13000	11,6	600	620	2410	66	3839	3443	146
20.10.75	10500	9,42	588	506	1518	3	3300	2378	128
17.12.75	8000	9,56	592	516	1813	2	3720	2520	357
21.01.77	11000	9,34	588	487	810	98	2909	2946	137
05.10.77	4000	3,68	656	91	316	16	1752	497	95
31.12.72	8200	6,98	660	206	1221	43	2406	1739	91
25.12.73	17500	14,4	680	729	3036	80	4334	4366	140
20.10.75	10500	9,56	588	506	1518	3	3300	2378	128
05.10.77	4000	3,68	656	91	316	16	1752	497	95

Tableau 8.3 (suite) - Résultats d'analyses d'eau de quelques sources de l'oued Zita.

	Date	Cond	RS	CATIONS mg/l				ANIONS mg/l		
				Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H
Source S ₂	26.01.73	34500	31,1	540	1520	7831	1	9553	9017	359
	23.02.73	16000	12,6	740	692	2771	2	3955	4082	128
	22.03.73	40000	35,5	640	1762	9200	18	10670	11890	348
	13.05.73	54000	51,7	620	2638	14144	270	14354	17572	353
	17.12.73	12000	9,94	680	547	1826	1	3353	2698	140
	19.02.76	21500	20,5	632	1114	4600	144	6504	6461	134
Source S ₃	01.01.73	9400	7,80	600	304	1557	37	2875	1917	107
	12.01.73	12000	9,78	600	413	1849	43	3263	2733	103
	14.02.73	16300	13,7	680	704	3243	1	4153	4792	146
	08.04.74	17200	14,9	660	851	2610	0	4309	4721	232
	16.01.76	7000	6,68	452	384	1127	40	2700	1579	106
	20.02.77	19000	15,5	552	979	2990	82	4560	4970	177
Source S ₄	06.01.73	3550	3,30	552	98	211	11	1788	248	134
	26.01.73	13000	10,2	640	425	2070	55	3254	2991	107
	11.01.76	3150	3,18	520	158	163	16	1950	263	91
	18.10.77	21000	18,6	880	1296	3372	78	6144	6390	335
Source S ₅	21.02.73	13000	10,3	660	450	2171	0	3477	2911	268
	28.02.73	18300	14,1	700	669	2879	1	4235	4544	183
	01.05.73	5000	46,3	620	2334	11776	107	13043	15300	305
	12.03.75	9600	8,48	660	376	1620	50	3007	2130	152
	11.01.76	4800	4,86	600	162	589	31	2400	937	100
	18.07.77	14200	11,3	560	576	2254	55	4200	3053	159
Source S ₆	01.03.73	14000	11,0	680	486	2484	38	3361	3443	189
	15.03.73	43000	38,4	600	1896	10166	218	11272	12425	366
	17.03.75	9400	8,44	620	377	1460	78	3480	2165	168
	28.01.76	7150	6,90	472	444	588	35	3060	1562	165
	18.10.77	11000	9,26	504	518	1495	31	3384	2464	171

CONCLUSIONS

Cette étude nous a permis de constater que la pluie dans cette région de Tunisie est soumise à de grandes variations inter-annuelles,

- au point de vue quantité d'eau tombée (de 78 à 378 mm/an, soit dans le rapport de 1 à 5, allant de 1 à 14 au poste de Gabes S.M, avec 533.6 mm (1976-77) et 36.4 mm (1943-44)),

- au niveau des intensités. Le nombre de jours de pluie est relativement faible (25 à 40 annuellement), avec plus de 60 % des pluies inférieures à 10,0 mm.

Les pluies journalières sont très rarement le fait d'une seule averse, mais plus souvent d'une série d'averses, étalées dans la journée. L'averse unique, à pointes multiples s'observe le plus souvent en hiver ou au début du printemps (printemps et automne étant souvent très courts). En dehors de ces deux périodes, on observe des averses en général de courte durée, d'intensité variable pouvant aller de 30 à 40 mm/h. Les averses de forte à très forte intensité ne surviennent qu'en période d'orages (mai-juin ou encore septembre-octobre). Il n'est pas rare alors d'observer des valeurs en 5' dépassant les 100 voire 150 mm/h et plus dans les cas exceptionnels.

L'impact de l'intensité dans ces cas là est fonction de l'état de surface des sols et des périodes de l'année. Chacun sait que la même pluie, même très forte, n'a pas le même effet sur un sol labouré ou sur un sol saturé. La végétation étant quasi absente à l'arrivée des premières pluies, rien ne s'oppose au ruissellement. Les pentes étant le plus souvent très fortes, l'eau circule librement et très rapidement sur la surface des sols, se chargeant de fines particules au fur et à mesure qu'elle se dirige vers l'aval. L'érosion se fait à tous les niveaux : griffes, saignées dans les couches meubles, éboulement des petits thalwegs... On peut imaginer l'importance que peut prendre le travail du sol dans les zones agricoles de piémont susceptibles de recevoir ce ruissellement en nappe.

L'examen des différents transferts d'eau sur les bassins de l'oued Zita à l'échelle de l'année, regroupés dans les tableaux ci-après amène aux constatations suivantes:

* Sous le terme écoulement global sont pris en compte ruissellement pur et retardé, sans aucun débit de base. Autrement dit ruissellement et écoulement sont confondus. L'écoulement en année "normale" ne représente :

- sur le Zita 1, que 0.7 à 15.1 % des apports pluviométriques (61.3 % si l'on prend en compte la crue du 12.12.1973).
- sur le Zita 2, que 7.2 à 21.3 % (58.6 % avec la crue du 12.12.1973)
- sur le Zita 3, que 0.3 à 16.3 % (49.3 % avec la crue du 12.12.1973).
- sur le Zita 4 et Zita 5, sur des périodes plus courtes (3 années), respectivement de 3.3 à 7.0 % pour le Zita 4 et 0.0 à 6.1 % pour le Zita 5.

A l'échelle de la crue, le coefficient d'écoulement (ou de ruissellement) maximum observé est dû aux pluies d'orages (K_r compris entre 30 et 80 %). Ces averses violentes sont peu abondantes quant à la quantité d'eau précipitée (entre 17 et 25 mm). Un autre élément important de l'analyse des pluies tient dans le fait qu'elles sont rarement homogènes à l'échelle spatiale, à l'exception peut-être de la période "hivernale". La

pluie du 12 décembre 1973 est exceptionnelle à plus d'un titre : fortes hauteurs d'eau précipitées, événement double, bien distinct, présentant des valeurs maximales d'intensités très voisines, valeurs élevées en 5' (entre 110 et 150 mm/h pour la première averse, de 150 à 180 mm/h pour le deuxième épisode) et restant comprises entre 80 et 110 mm/h en 15'. Il est évident qu'un tel événement pluvieux ne pouvait donner naissance qu'à deux crues exceptionnelles par leurs volumes, leurs débits et surtout leurs transports solides." Une pluie annonçant la fin du monde, nous ont dit les observateurs présents sur place".

* A l'exception de la crue du 12 décembre 1973, et de quelques grosses crues, la part la plus importante des apports (de 78 à 98% en fonction des années et selon les bassins versants) est retenue par le milieu naturel, absorbée soit par l'évapotranspiration dans les lits d'oueds, soit surtout par les infiltrations profondes qui représentent certainement une part très importante de la consommation du bassin.

Les différentes tentatives de reconstitution des crues du 12 décembre, montre qu'un événement de cet ordre ne réagit pas classiquement. Nous avons vu que le temps de réponse du bassin n'est pas une constante et dépend de l'état physique du sol par sa réaction au ruissellement et tend à diminuer jusqu'à un seuil minimal. Avec deux maximum d'intensité, ou une intensité forte et régulière, cela se traduit par une vitesse de propagation des dernières précipitations supérieure aux premières. Il peut en résulter un rattrapage successif, à plusieurs niveaux de débits, d'un front de crue par un autre, pouvant provoquer, par superposition un débit supérieur aux débits maxima pris séparément. C'est un peu cela que nous avons tenté de "modéliser" à partir de différents hydrogrammes intervenant à des seuils de débits divers. C'est de cette manière que l'on a obtenu les meilleurs résultats.

♦ - BASSIN VERSANT DE ZITA I.

ANNEE	P _M	V _E	H _E	D _E	K _E	K _{EF}	P _{TS}
1972-73	157.6	30.6	11.4	146.2	7.3	92.7	0.7
1973-74	121.6	4.6	14.3	107.3	11.8	88.2	61.0
1973-74*	378.1	743.2	231.7	146.4	61.3	38.7	0.03
1974-75	180.6	87.1	27.2	153.4	15.1	84.9	3.6
1975-76	320.4	107.3	33.5	286.9	10.5	89.5	1.5
1976-77	78.4	8.8	2.8	75.7	3.5	96.5	0.2
1977-78	178.5	57.2	19.6	158.9	11.0	89.0	2.1
1978-79	103.6	2.4	0.8	102.8	0.7	99.2	-
1979-80	142.9	14.3	4.5	138.5	3.1	97.5	-
MOY.1	160.4	39.0	14.3	146.2	8.93	91.1	1.35
MOY.2*	192.5	131.3	41.4	151.1	21.5	78.5	11.2

Les trois premiers tableaux ont la légende suivante :

P_M, Pluie moyenne annuelle en mm; V_E, volume écoulé en 10³ m³; H_E, lame écoulée en mm; D_E, Déficit d'écoulement; K_E, Coefficient d'écoulement; K_{EF} = D_E/P_M, coefficient d'efficacité des pluies; P_{TS}, poids de transports solides en milliers de tonnes.

MOY 2* - moyenne inter-annuelle prenant en compte la crue du 12 décembre 1973.

Pour les bassins du Zita IV et V, aucune mesure de transports solides n'a été faite.

◆ - BASSIN VERSANT DE ZITA II

ANNEE	P _M	V _E	H _E	D _E	K _E	K _{EF}	T _S
1973-74	149.1	0.9	12.8	136.3	8.6	91.4	0.1
1973-74*	396.7	4.0	232.4	164.3	58.6	41.4	25.7
1974-75	167.8	0.5	35.7	131.3	21.3	78.2	0.6
1975-76	321.5	0.3	49.6	272.0	15.4	84.6	1.5
1976-77	69.8	0.4	5.0	64.8	7.2	92.8	0.07
1977-78	166.2	0.4	23.4	142.7	14.5	85.9	0.2
MOY.1	174.9	0.5	25.3	149.4	13.4	85.4	0.49
MOY.2*	194.6	1.12	69.2	155.0	23.4	79.6	5.61

MOY 2* - moyenne inter-annuelle prenant en compte la crue du 12 décembre 1973.

◆ - BASSIN VERSANT DE ZITA III

ANNEE	P _M	V _E	H _E	D _E	K _E	K _{EF}	T _{S*}
1973-74	128.7	0.02	0.4	128.3	0.3	99.7	0.02
1973-74*	363.9	6.3	179.5	184.4	49.3	50.7	165.0
1974-75	184.8	1.05	30.1	154.7	16.3	83.7	2.3
1975-76	309.0	0.7	19.5	289.5	6.3	93.7	4.0
1976-77	69.8	0.08	5.0	64.8	7.2	92.3	0.2
1977-78	166.2	0.3	23.4	142.8	14.1	85.9	4.8
MOY.1	171.7	0.4	12.5	156.0	9.1	90.8	6.5
MOY.2*	218.7	1.7	48.2	167.2	23.5	76.4	39.6

T_{S*} = valeurs exprimées en tonnes.

MOY 2* - moyenne inter-annuelle prenant en compte la crue du 12 décembre 1973.

♦ - BASSIN VERSANT DE ZITA IV.

ANNEE	P _M	V _E	H _E	D _E	K _E	K _{EF}
1975-76	320.2	0.30	22.5	297.7	7.0	92.9
1976-77	76.7	0.03	2.6	74.2	3.3	96.7
1977-78	172.5	0.13	9.2	163.3	5.3	94.7
MOY.	189.8	0.15	11.4	178.4	6.0	94.0

♦ - BASSIN VERSANT DE ZITA V.

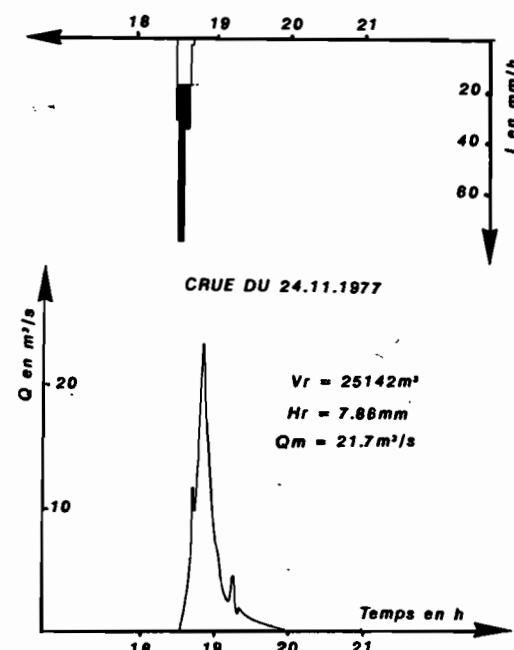
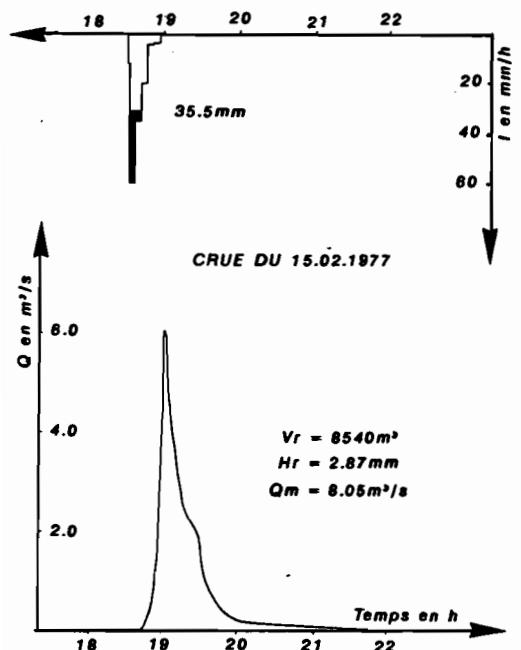
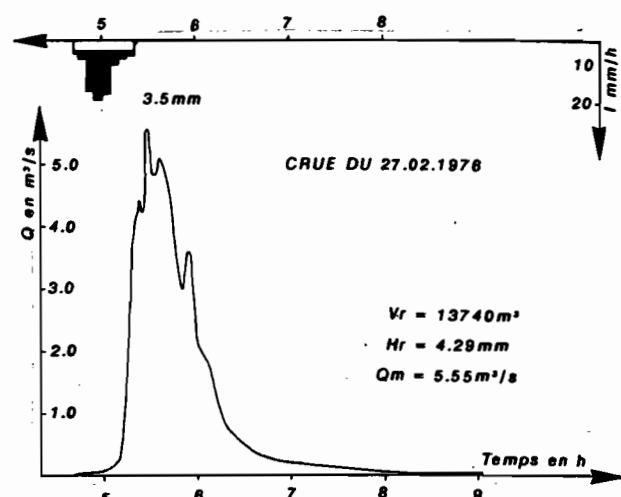
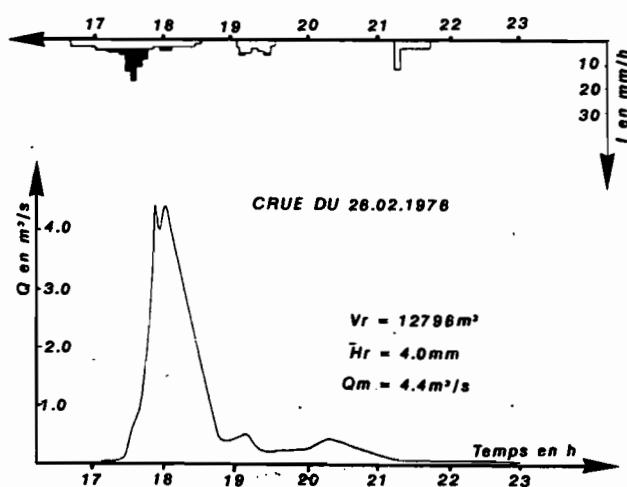
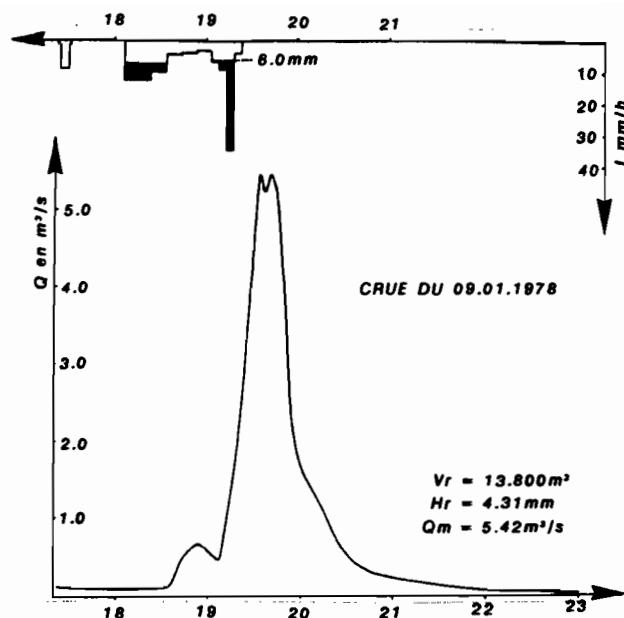
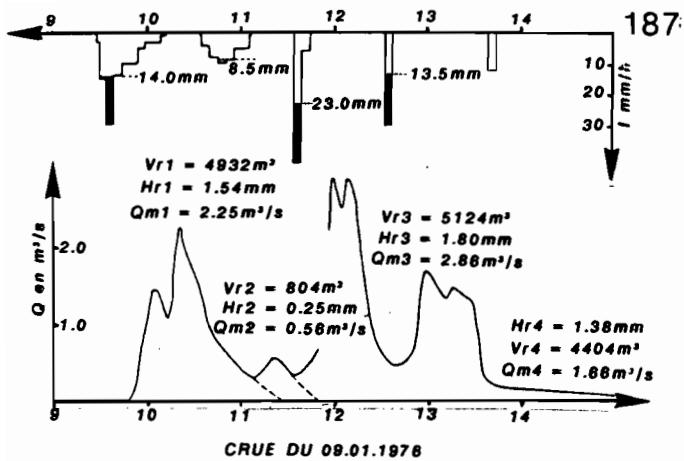
ANNEE	P _M	V _E	H _E	D _E	K _E	K _{EF}
1975-76	318.8	8.52	19.4	299.4	6.1	93.9
1976-77	81.5	0.30	0.0	81.5	0.0	100.0
1977-78	179.4	4.86	10.4	169.0	5.8	94.2
MOY.	193.2	4.6	9.9	183.3	5.1	94.9

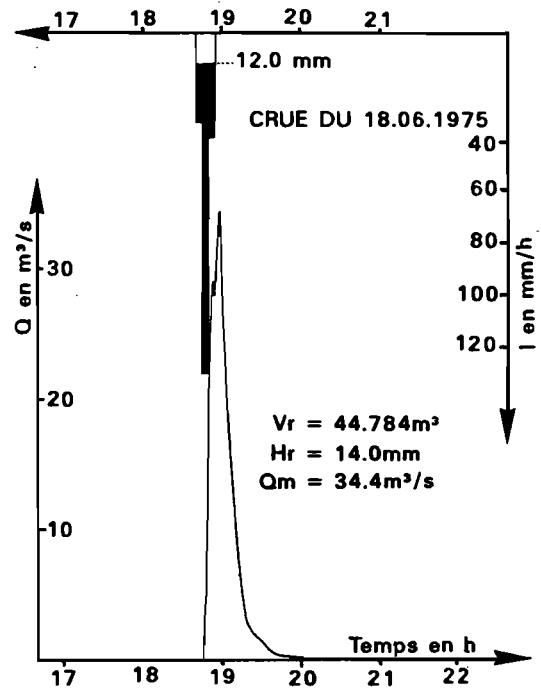
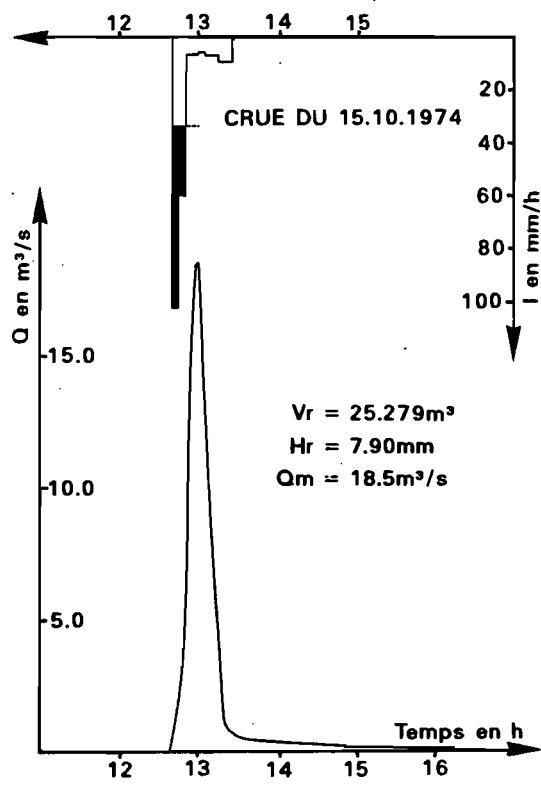
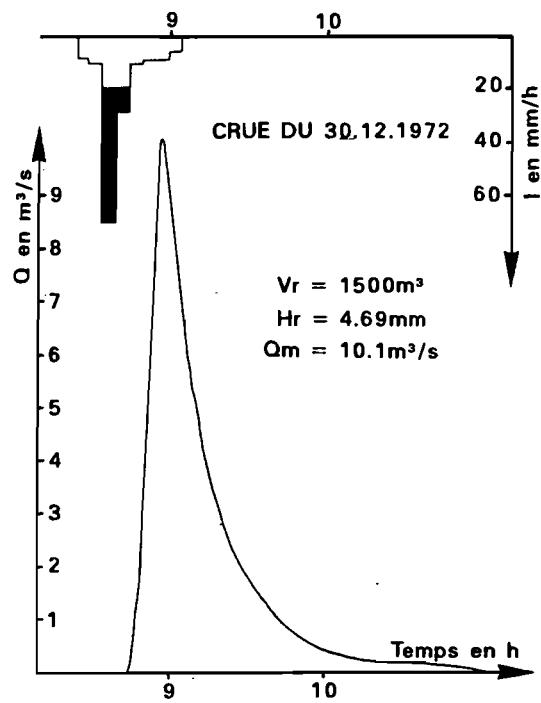
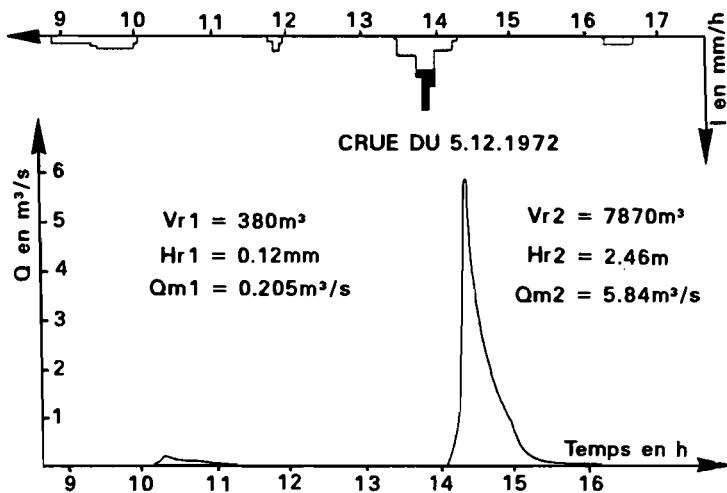
L'examen des tableaux permet également de se rendre compte à quel point l'impact des transports solides est lié aux événements exceptionnels. Sur les 6 années d'observations effectuées sur le ZITA I, on voit très bien que la valeur globale de la période représente peu de chose, si l'on considère les apports du 12 décembre 1973 qui à eux seuls, représentent plus de 90 % du transport solide global. On passe ainsi d'une moyenne inter-annuelle de 11,4 à $1,35 \cdot 10^3$ t/an, soit de 3,6 à $0,4 \cdot 10^3$ t/ha/an.

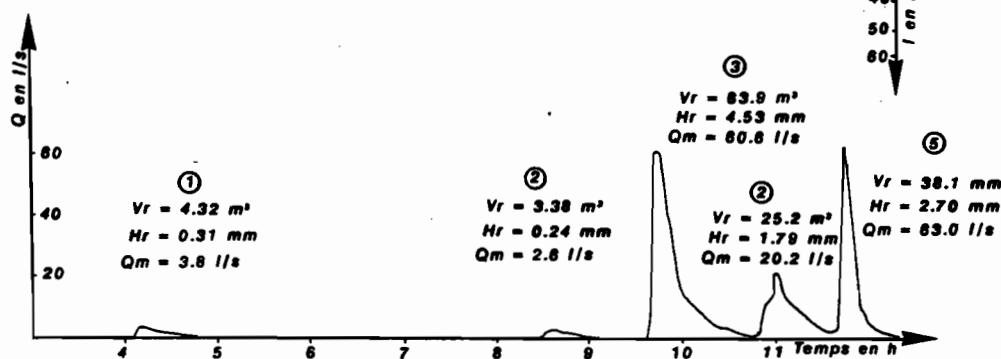
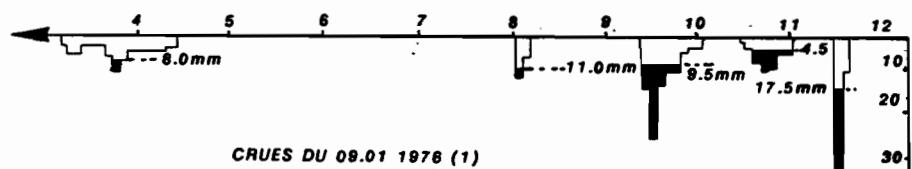
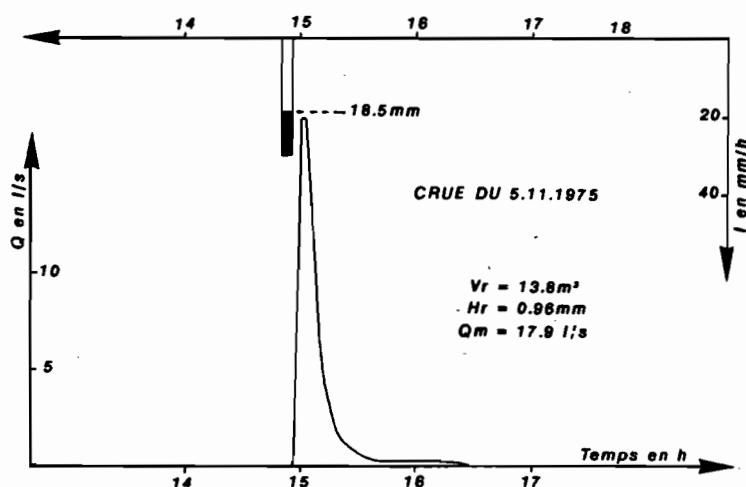
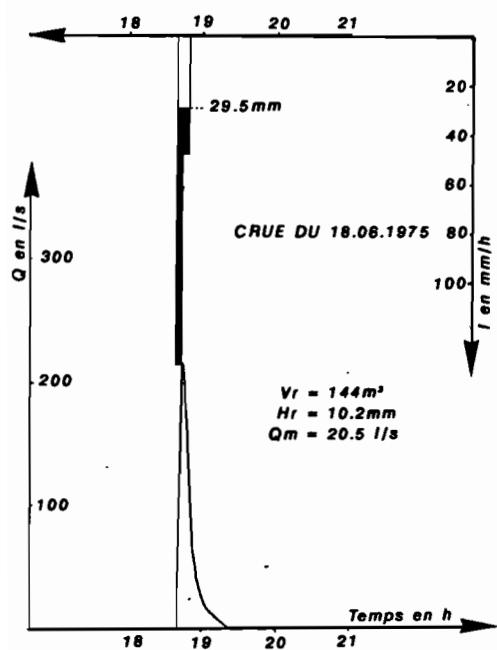
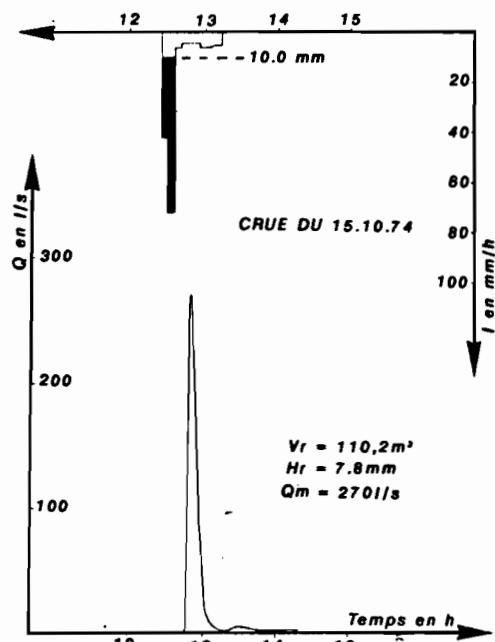
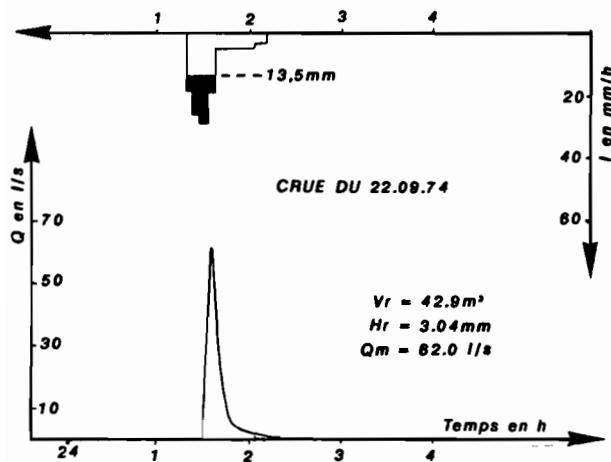
Le problème est identique sur le bassin versant du Zita II où l'on voit que la valeur moyenne annuelle sur la période passe de 5,6 à $0,5 \cdot 10^3$ t/an, soit de 3,9 à $0,3 \cdot 10^3$ t/ha/an et sur le Zita III, de 7,9 à 1,3 t/an, soit de 2,25 à 0,4 t/ha/an.

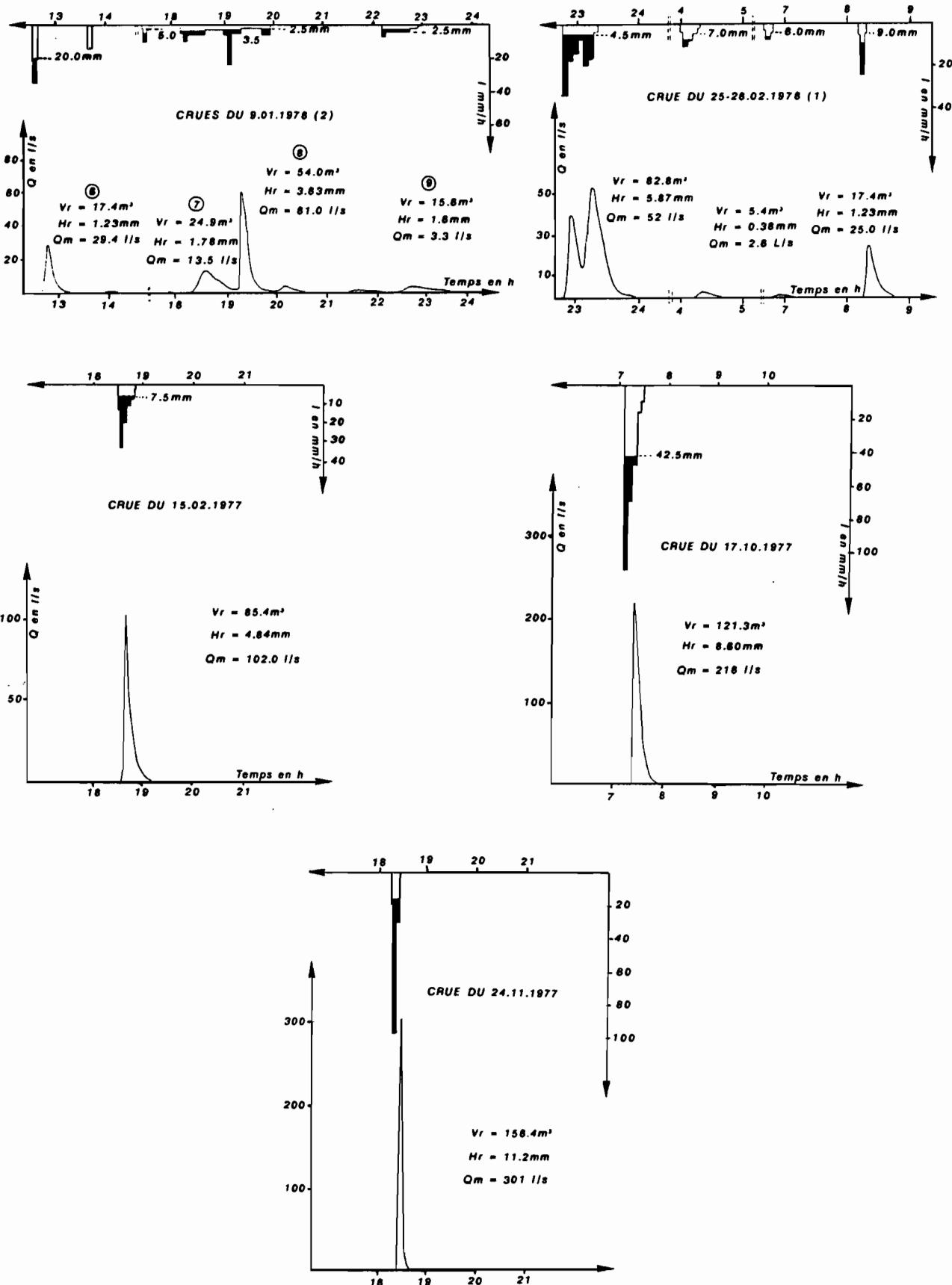
On peut donc en conclure que le transport solide est observé chaque année dans des proportions déjà fortes. Il peut être réduit de moitié, voire plus par des travaux anti-érosifs appropriés (voir les résultats significatifs obtenus sur bassins versants expérimentaux en Tunisie centrale). Par contre face aux événements exceptionnels, l'homme est impuissant pour réduire l'impact de l'érosion. C'est également à la faveur de ces événements exceptionnels que sont dégradées les berges des lits d'oueds, que sont refaçonnés certains versants et que peut être modifié, de manière impressionnante, le lit de certains oueds. C'est le cas de l'oued Hathab (branche nord de l'oued Zeroud) dont une partie des eaux des crues de 1969, après avoir traversé la plaine de Sidi Bouzid, a creusé un lit très ancien vers la Sebkha Naouel.

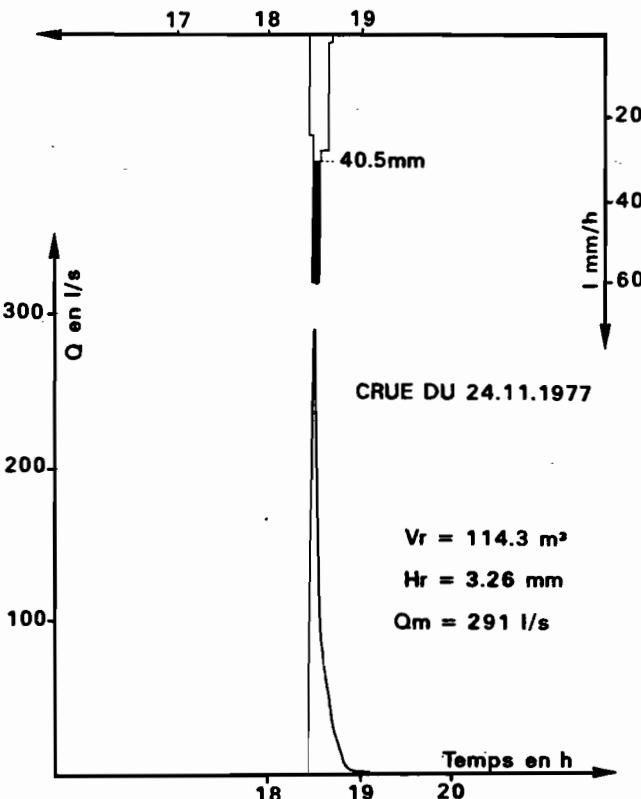
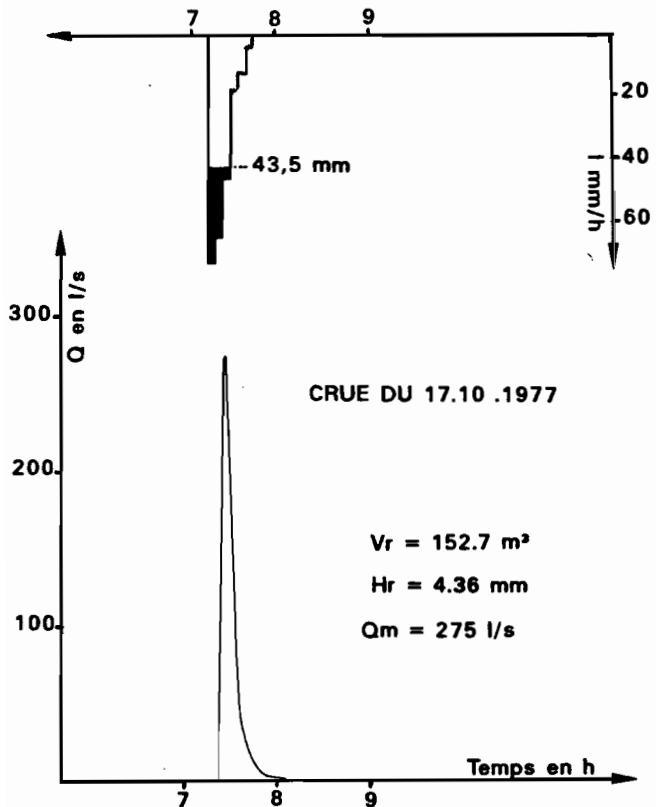
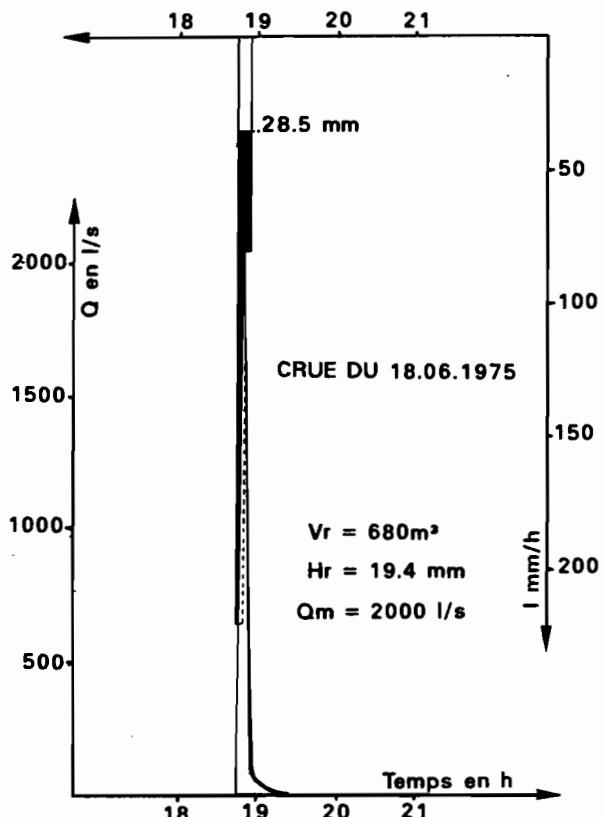
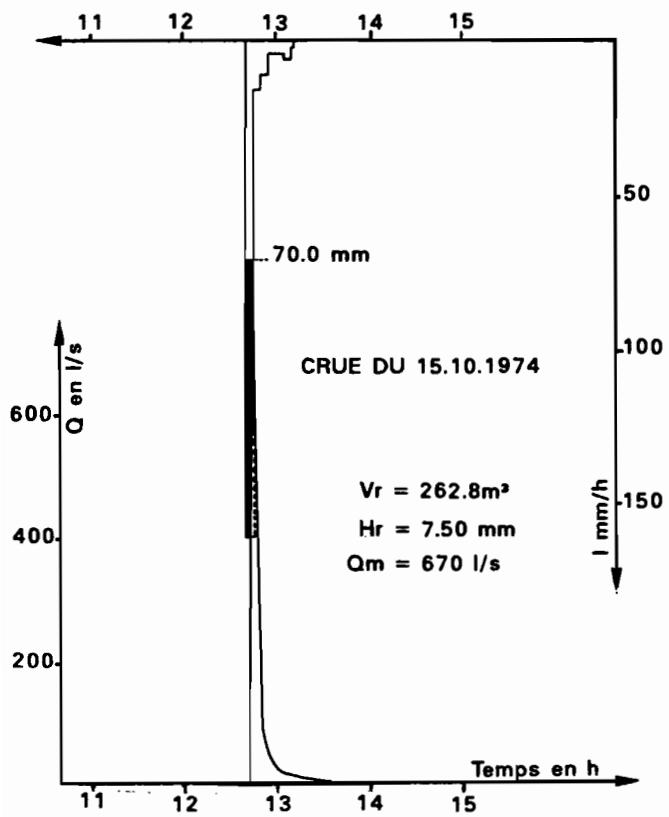
Enfin en ce qui concerne la qualité des eaux, elle est en général dominante chlorurée-sodique ou chlorurée-calcique comme beaucoup d'eau dans la région. Leur utilisation à des fins agricoles ne doit pas poser de graves problèmes, surtout si l'on peut récupérer l'eau des crues par les seguias au profit de cultures de piémont. La construction d'un petit ouvrage en aval (quelques milliers de m³), pour stocker temporairement les apports des crues est une solution transitoire qui peut apporter un plus dans cette région où l'eau est rare.

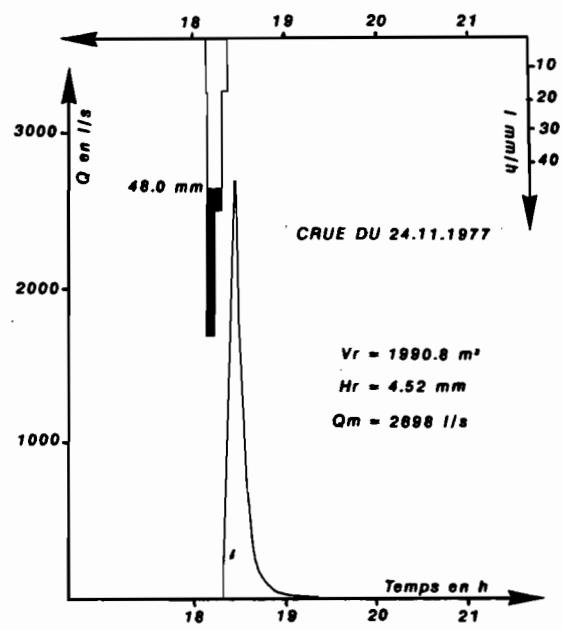
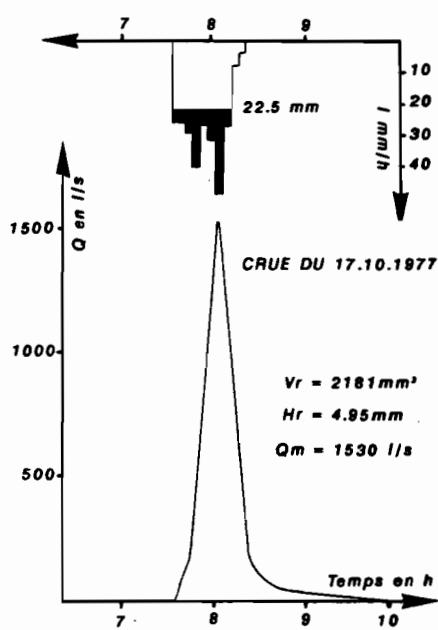
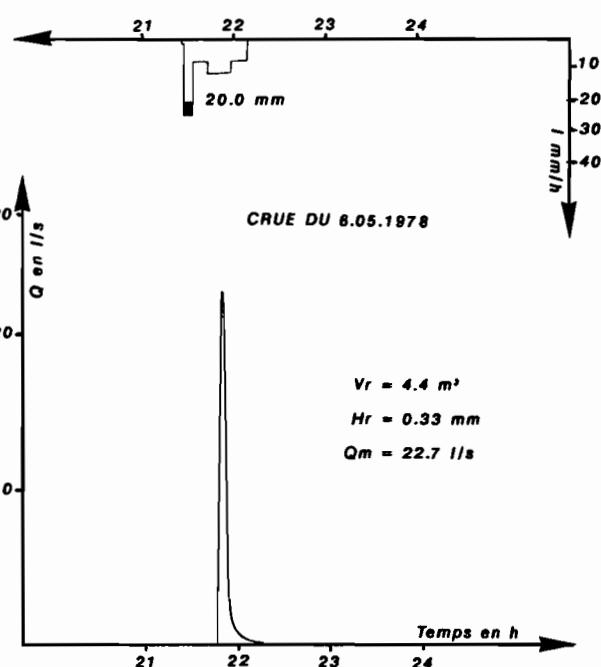
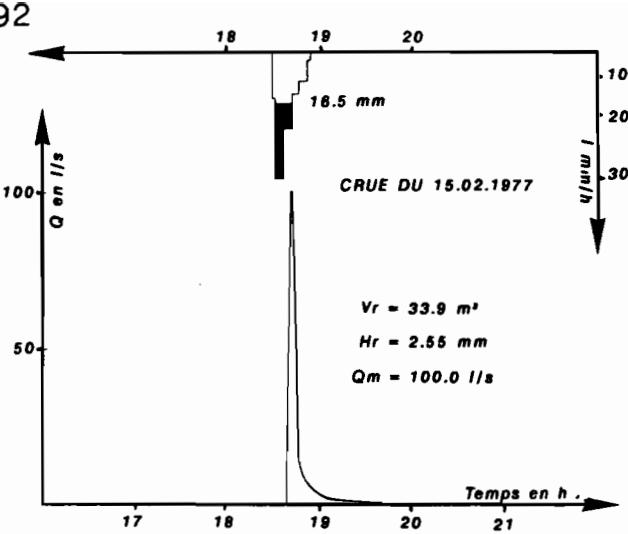
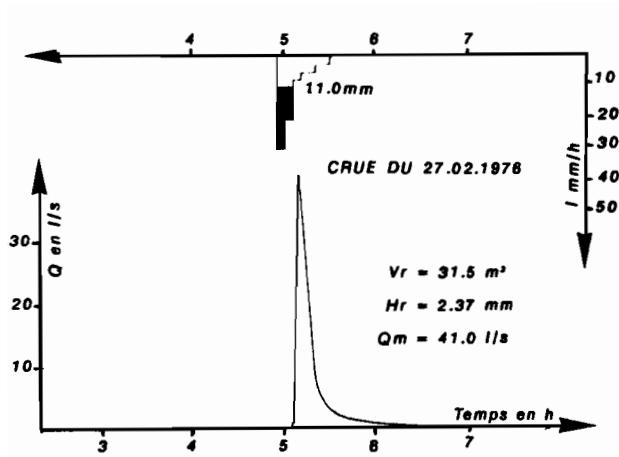




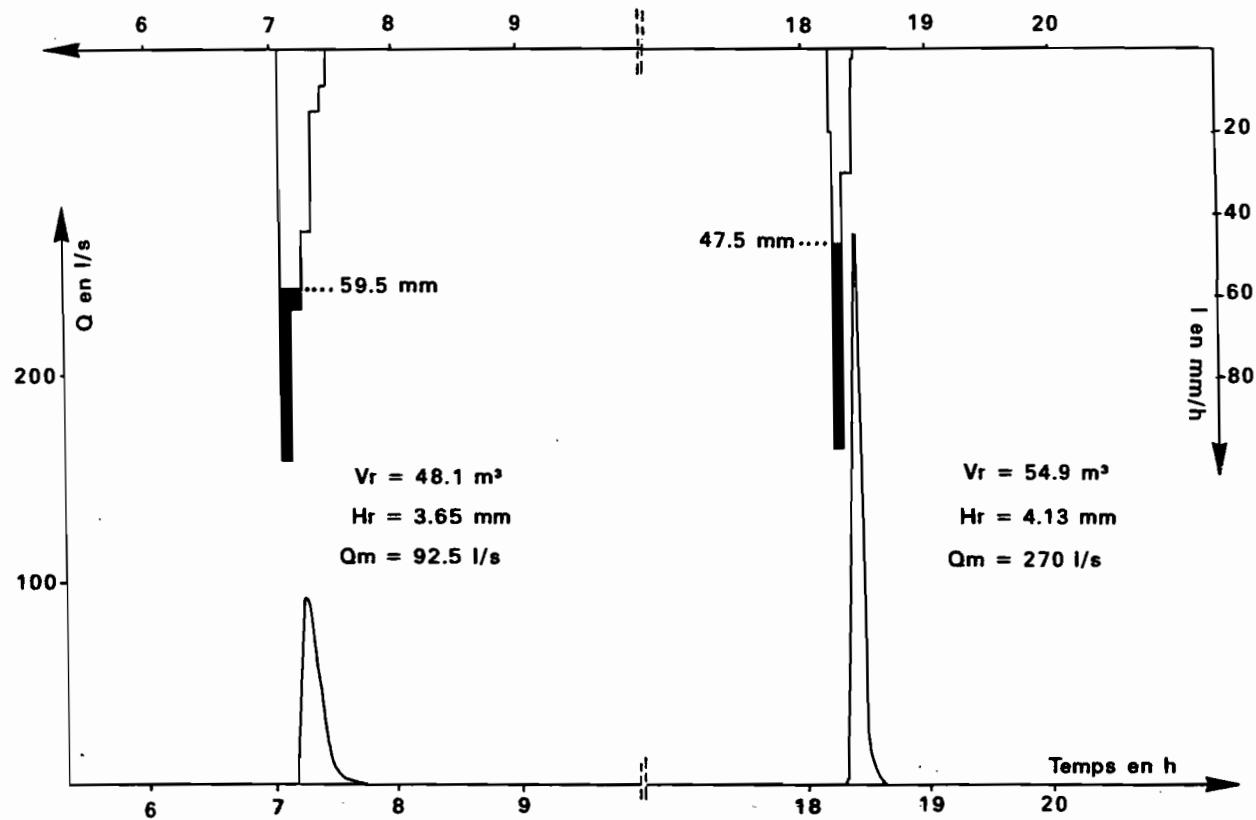








CRUE DU 17.10.1977



BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA - ZITA 5