

RÉPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DES SOLS

DIRECTION DES RESSOURCES
EN EAU

INSTITUT DES RÉGIONS ARIDES

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT
EN COOPÉRATION
(ORSTOM)

Mission en Tunisie

CENTRE D'ÉTUDES PHYTOSOCIOLOGIQUES
ET ÉCOLOGIQUES
Louis Emberger
CNRS Montpellier

DYNAMIQUE DE L'EAU SUR UN GLACIS DU SUD TUNISIEN (Type Segui)

Rapport de Synthèse concernant la période 1972-1977

par : J. BOURGES, hydrologue ORSTOM
C. FLORET, écologue CNRS / CEPE
G. GIRARD, hydrologue ORSTOM
R. PONTANIER, pédologue ORSTOM

SOMMAIRE

Avant propos

1. Présentation de la citerne Telmam - Méthodologie

- 1.1. *Localisation*
- 1.2. *Le climat régional*
- 1.3. *Le contexte édaphique*
- 1.4. *La végétation du bassin versant*
- 1.5. *Le dispositif et les principes des mesures*

2. Synthèse des résultats pour la période 1972-1977

- 2.1. *Caractéristiques climatiques*
- 2.2. *Pluviosité*
- 2.3. *Le ruissellement*
- 2.4. *L'état hydrique des sols de l'impluvium ;
l'évapotranspiration réelle*
- 2.5. *Le bilan d'eau*
- 2.6. *L'érosion*
- 2.7. *L'évolution du recouvrement de la végétation
de l'impluvium*

3. Facteurs du ruissellement et de l'érosion

- 3.1. *Facteurs conditionnels du ruissellement*
- 3.2. *Facteurs conditionnels de l'érosion*
- 3.3. *Analyse des facteurs du ruissellement*
- 3.4. *Modélisation*
- 3.5. *Analyse des facteurs de l'érosion*

4. Conclusions

Bibliographie

Annexes

AVANT PROPOS

Cette étude s'inscrit dans un programme de recherches pluridisciplinaires, entreprises en régions arides, concernant la caractérisation des milieux agro-pastoraux (climat, sol, végétation), le cycle de l'eau, et les mécanismes du ruissellement et de l'érosion hydrique, à des fins d'aménagement rural (lutte contre la désertisation, amélioration de l'efficacité de l'eau pour l'agriculture).

Dans le cadre de sa convention avec la Direction des Ressources en Eau et en Sol de Tunisie, et d'un accord passé avec le Centre d'Etudes Phyto-Ecologiques Louis Emberger-CNRS de Montpellier, la mission ORSTOM de Tunisie a implanté dans le Sud Tunisien durant le printemps et l'été 1972 un ensemble de stations de mesures complémentaires appelé "Citerne Telmam-Oued Zita".

Le présent rapport concerne uniquement la synthèse et l'interprétation de cinq années d'études et d'observations sur la citerne Telmam représentative du milieu "Segui".

Les objectifs de l'étude étant les suivants :

- caractériser le climat de la région (il n'existe aucune station météorologique à l'intérieur du triangle KEBILI-GABES-GAFSA (1) ;
- définir les caractères physiques et chimiques des sols et suivre l'évolution de leur état hydrique au cours de l'année hydrologique ;
- définir les caractères de la végétation, et suivre l'évolution de son recouvrement, au cours des cinq années de mise en défense de l'impluvium de la citerne ;
- étudier les mécanismes de l'érosion et son origine ;
- déterminer l'influence du climat, des sols et de la végétation, sur le ruissellement et l'érosion ;
- établir un bilan hydrique (ruissellement, infiltration, évaporation, etc...) sur une unité type de ce système ;
- dégager les premières conclusions sur les possibilités de l'utilisation agricole de l'eau dans le système "Segui", permettant le démarrage d'un programme de recherche en agronomie (programme DGRST/IRA/ORSTOM).

Les mesures concernant le climat, le sol, le bilan d'eau ont été effectuées par l'ORSTOM, alors que le CEPE/CNRS, dans le cadre de son accord, avec l'INRAT* puis l'IRA**, a assuré les suivis concernant la végétation.

(1) Note à l'intention du lecteur :

La station météorologique servant de référence à la fois au bassin versant de l'Oued Zita et à la Citerne Telmam, près de laquelle elle a été implantée fait l'objet d'une publication en cours (J. BOURGES, J. CAMUS 1979)

Le présent rapport a pour but de présenter les principaux résultats concernant le bilan d'eau au cours de cinq années d'observations (1972-1977) et d'offrir au praticien une base en vue de l'aménagement hydraulique des terres de Segui. Le premier chapitre situe le site de mesures dans le contexte régional, le deuxième est consacré à la synthèse des résultats, le troisième est un essai d'explication et de généralisation des observations ; enfin nous essayons de conclure par certains conseils en vue de l'aménagement.

Nous remercions vivement MM. A. BEN SALAH et A. MAMOU successivement, Chefs de l'arrondissement DRES à GABES, M. FERSI Chef de la section hydrologique de GABES, ainsi que tous les techniciens du laboratoire de GABES qui nous ont beaucoup aidé dans la réalisation de ce travail.

Nous insisterons sur le dévouement et la compétence de M. BEN YOUNES qui, par sa présence permanente sur les sites de mesures, et par sa grande activité lors des phases de dépouillement, a justifié la confiance que nous lui avons accordé. MM. KHALLADI, SASSI et YOUSSEF techniciens de l'IRA, ont effectué avec conscience les mesures concernant la végétation.

La présence pendant tout l'été 1972 de M. René GUALDE (Hydrologue ORSTOM) a été déterminante lors de la phase d'installation, ainsi que la participation de M. P. ZANTE (Pédologue ORSTOM) lors des mesures.

Les dessins et graphiques ont été réalisés par M. DUPUY, dessinateur de la Mission CEPE-CNRS de GABES.

Nos remerciements vont également à MM. DELHUMEAU et LONG qui ont bien voulu relire le manuscrit et nous conseiller, et à MM. GUISCAFRE et DOSSEURS, hydrologues à l'ORSTOM, MM. FRANQUIN, HUYNH VAN NHAM, agronomes à l'ORSTOM et M. ROMANE, écologue au CEPE-CNRS, qui ont bien voulu effectuer une partie du traitement informatique.

Voir page précédente :

✻ INRAT Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie. Ariana Tunis

✻ ✻ IRA Institut des Régions Arides El Fjé. Medenine Tunisie

1. PRESENTATION DE LA CITERNE TELMAM - METHODOLOGIE

1.1. *Localisation*

Située par $34^{\circ}01'28''$ de lat. N. et $7^{\circ}30'11''$ de long. E., à 30 km au Nord-ouest de GABES et à 20 km à l'Ouest de la mer, la citerne TELMAM est mise sur la bordure Nord de la gouttière de l'Oued TELMAM qui draine vers l'Ouest les eaux des djebels TEBAGA-FATNASSA, ZEMLET EL BEIDA, et du DRAA OUDREF en direction de la SEKHRA-EL HAMMA, prolongation du chott FEDJADJ, Fig. 1.

Cette zone appartient à la région naturelle des BASSES PLAINES MERIDIONALES ORIENTALES (LE HOUEYOU).

Elle est représentative de la partie moyenne des "Seguis", très répandus dans les régions de Gafsa, El Guettar, Ouled Sidi Mansour et El Hamma.

Ceux-ci se développent sur les zones de piémonts et les glacis recevant un apport d'eau par ruissellement à partir des reliefs avoisinants, et faisant l'objet d'aménagements de petite hydraulique pour l'agriculture.

1.2. *Le climat régional*

Nous indiquons dans le tableau N° 1 les traits principaux du climat de la région de GABES (station la plus proche du Telmam).

.../...

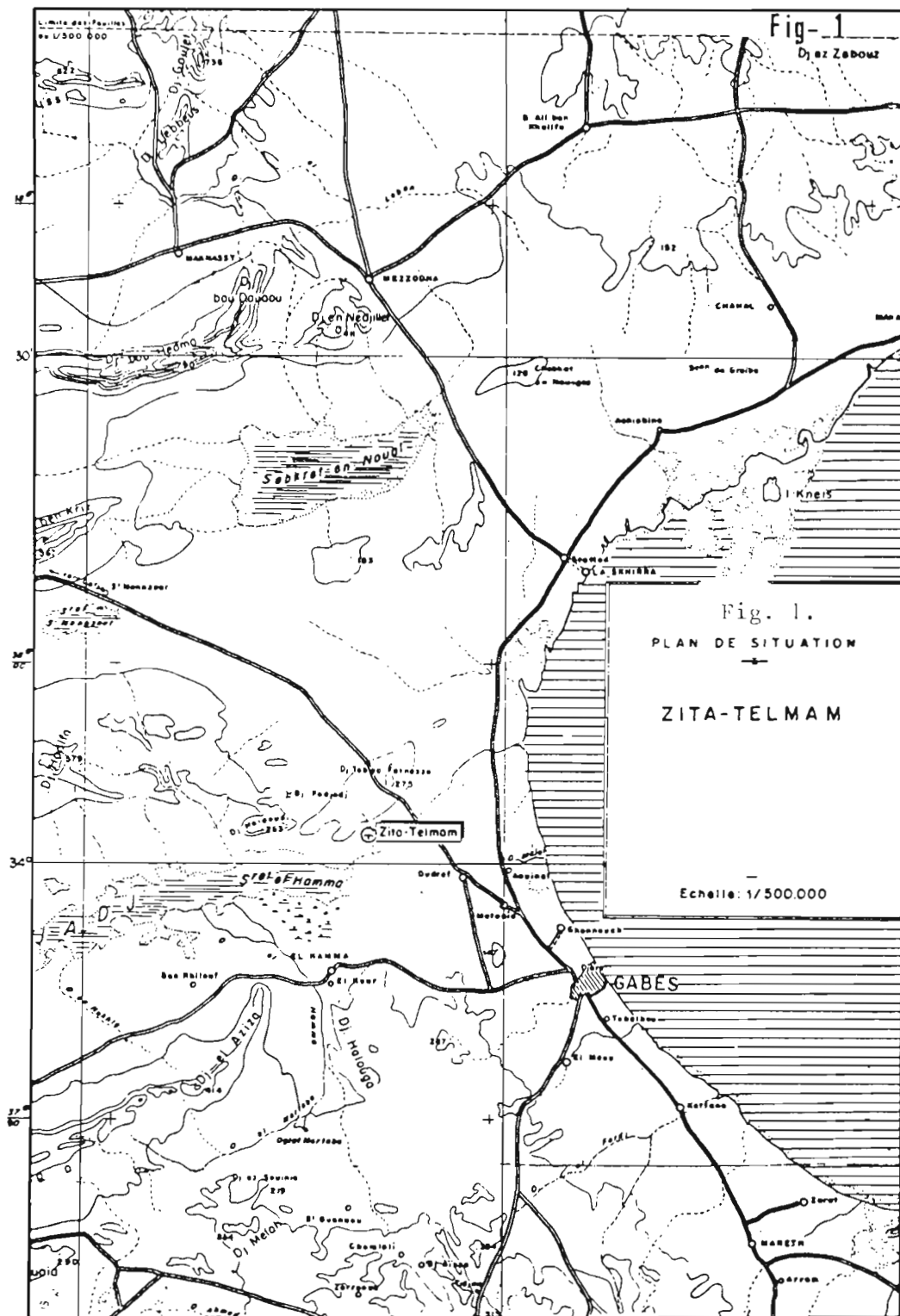


Tableau N° 1 : Caractéristiques principales du climat de Gabès.

Station GABES	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Evaporation PICHE (mm)	192	158	132	133	133	132	167	141	186	189	229	229	2022
ETP(TURC) (mm)	142	102	74	56	57	74	105	127	151	169	185	175	1417
ETP "Kikuyu" (mm)	129	101	76	57	63	56	97	128	164	170	203	187	1431
Pluie (mm)	17	35	30	16	20	18	21	15	8	1	0	1	183
Déficit (mm) théorique	125	67	44	40	37	56	84	112	143	168	185	186	1234
Température moyenne (°C)	26	22	17	12	11	12	15	18	21	24	27	27	19
Humidité relative de l'air (%)	70	71	65	66	65	63	63	71	71	70	68	68	68

Compte tenu d'une certaine continentalité par rapport à Gabès, le climat de la zone du Telmam se caractérise par :

- un coefficient pluviothermique d'Emberger Q (1) voisin de 20 (méditerranéen aride inférieur)
- un été très chaud et sec
- un hiver relativement doux
- une pluviosité très variable, généralement faible et irrégulièrement répartie sur 8 mois de l'année, (pluviosité moyenne annuelle comprise entre 160 et 170 mm)

$$(1) Q = \frac{2000 \bar{P}}{M^2 - m^2} \quad \text{où } \bar{P} = \text{moyenne interannuelle des précipitations en mm}$$

M = moyenne des maxima des températures du mois le plus chaud en ° Kelvin

m = moyenne des minima des températures du mois le plus froid en ° Kelvin

.../...

- un régime de vents réguliers et peu violents en général de secteur Est durant l'été, et plus irrégulier de secteur Ouest à Sud-Ouest durant l'hiver

- un bilan d'eau très déficitaire (déficit théorique voisin de 1 300 mm).

Cette aridité globale est renforcée par les traits suivants :

- les pluies tombent pendant la saison froide, et sont donc peu efficaces pour la végétation qui pousse essentiellement au printemps ;

- les pluies ont souvent un caractère orageux favorisant le ruissellement et l'érosion, accentuant ainsi encore le déficit hydrique général de la région ;

- la variabilité de la pluviosité engendrant des cycles d'années sèches ou humides ;

- la prédominance des vents desséchants SW, W et NW durant la saison de végétation.

1.3. *Le contexte édaphique*

La région étudiée est représentative d'un système écographique que l'on trouve fréquemment en Tunisie méridionale : "les Seguis"; il est constitué d'une chaîne de montagnes au relief escarpé (Dj. TEBAGA-FATNASSA) servant de "château d'eau" à des glacis aux pentes relativement faibles, et aux plaines alluviales situées à l'aval des piémonts. A la sortie des reliefs, les eaux de cet ensemble sont drainées par un système mal structuré, vers des zones semi-endoréiques (cuvette TELMAM), souvent très salées (Sebkha EL HAMMA).

A partir du Dj. TEBAGA 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 orogénèse post-villafranchienne (cf. Fig. N° 2).

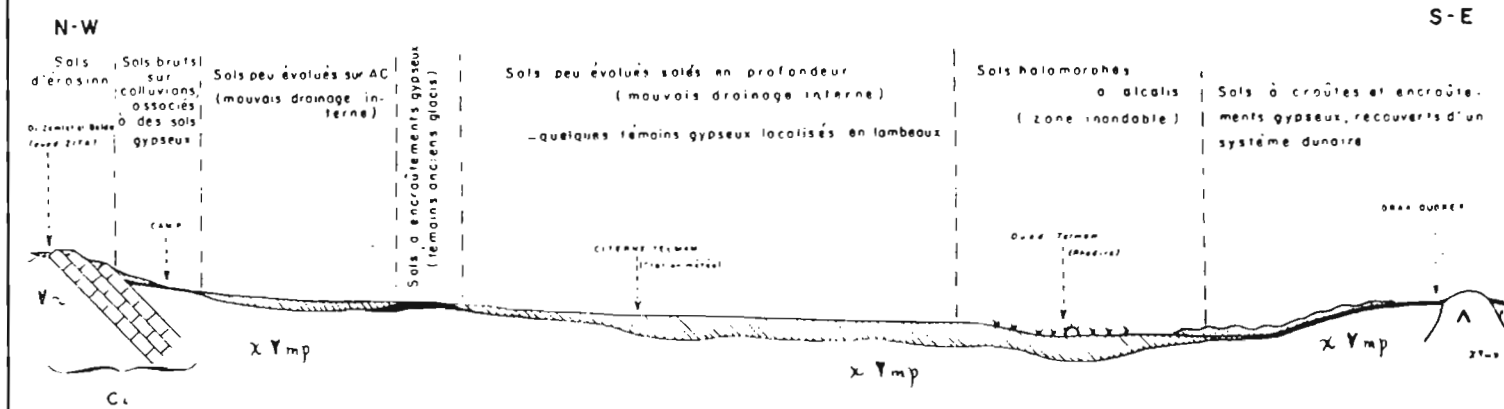
Actuellement, la zone des piémonts est constituée par :

- une ancienne surface couronnée de croûtes et d'encroûtements gypseux fortement entaillée par les oueds (AMOR, ZITA, etc ...) descendant du Djebel 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.

.../...

COUPE SCHEMATIQUE MONTRANT LA DISPOSITION DES MATERIAUX ET DES SOLS
 dans la Zone "Oued Zita" - "Citerne Telmam" - "Oued Telmam"



LEGENDE

- | | | | |
|-------|---|--|---|
| Y ~ | Marnes à bancs de gypse (facies Wealdien) | | Croûtes et encroûtements gypseux |
| A | Grès du Barrenien (facies continental) | | Colluviums calcareux |
| | Alternance de calcaires et de marno-calcaires | | Matériau alluvio-colluvial de texture LS à LA avec passées calcareuses. |
| Ct | Crétacé inférieur | | Système dunaire |
| X Ymp | Argiles sableuses gypseuses du miocène | | Nebkhas |
| | | | Y Y Y — Végétation halophile |

Fig-2

Les sols de la région, soumis sans cesse à des phases érosives, ou d'accumulation, donc fréquemment remaniés, sont peu différenciés ; on observe essentiellement des sols gypseux à encroûtement localisés principalement sur les piémonts et sur quelques témoins (10 % de la surface), ainsi que des sols alluviaux limono-sableux, très battants, légèrement gypseux, présentant des caractères de salure en profondeur, dans toute la partie moyenne

A proximité de l'Oued TELMAM et de la Sebkha EL HAMMA, ces derniers laissent la place à des sols halomorphes salins ou à alcalis.

- Les sols de l'impluvium de la citerne

Une prospection pédologique nous a permis de dresser une carte des sols du bassin versant de la citerne TELMAM (cf. Fig N°3) et de mettre en évidence un matériau complexe correspondant à trois phases de mise en place :

- en profondeur au-delà de 0,90 à 1,50 m nous retrouvons le niveau miopliocène sablo-argileux à trame gypseuse cristalline ;

- sur celui-ci nous avons un matériau ancien d'origine alluvio-colluviale à faciès détritique constitué d'éléments gypseux cristallins, de cailloutis et de graviers pris dans une gangue à texture équilibrée et gypseuse, cet horizon est omniprésent sur l'ensemble de la citerne et est situé à des profondeurs variables ;

- au-dessus, lors d'une phase d'alluvionnement, s'est mis en place un matériau de texture lourde (limono-argileux), de couleur plus sombre et caractérisé par la présence de nombreux amas gypseux ; localement, en position haute, il est absent ; son épaisseur varie de 0 à 50 cm ;

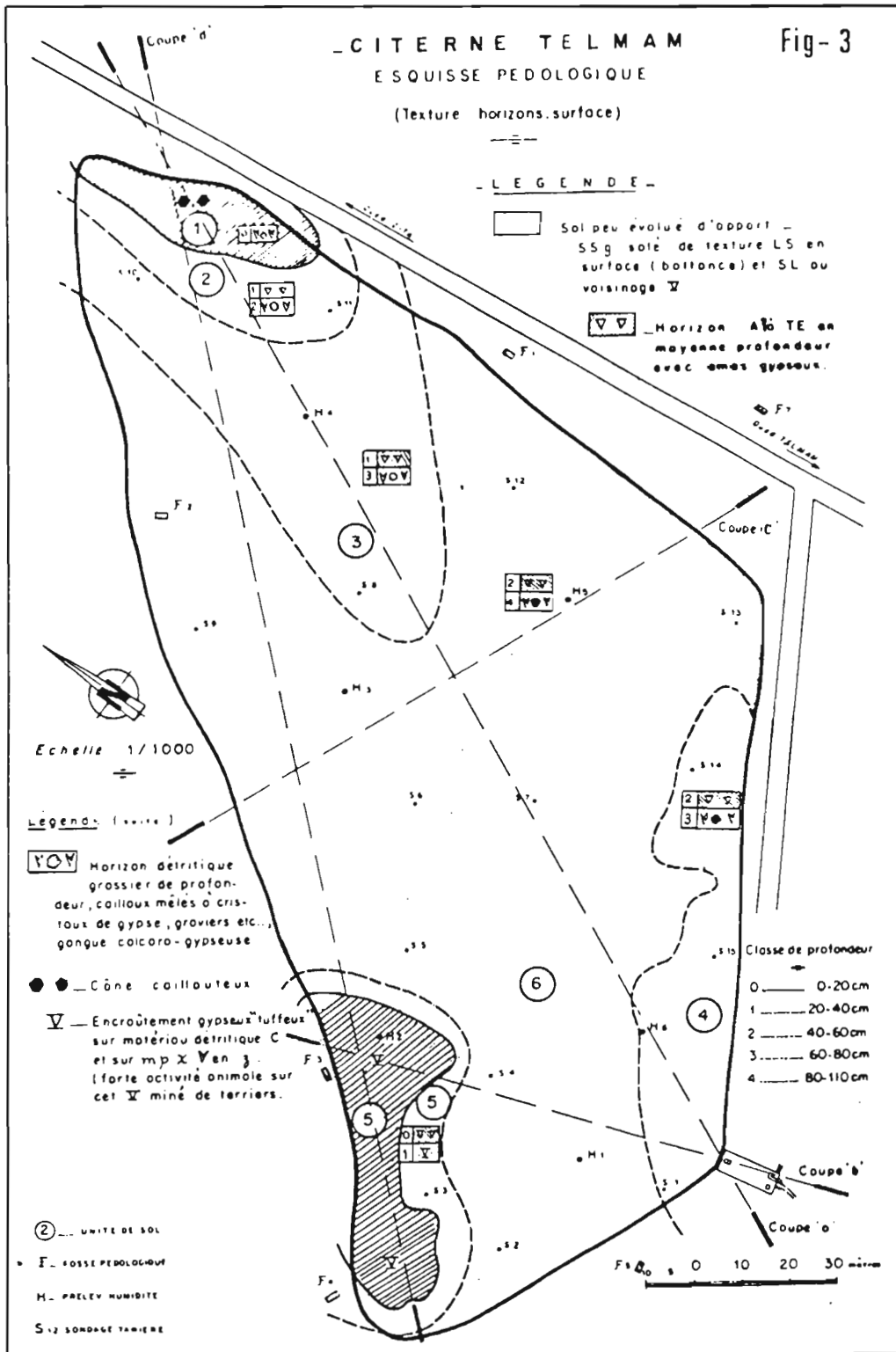
- enfin en surface la dernière phase d'accumulation est caractérisée par un recouvrement de texture limono-sableuses ayant pu être remanié sur 15 cm par les cultures ; son épaisseur varie de 0 à 50 cm.

Si nous considérons que le Miopliocène gypseux trop profond ne participe que très peu à la pédogenèse actuelle, nous avons sur le bassin versant de la citerne principalement deux types de sols :

- des sols à encroûtements gypseux subaffleurants se développant sur le matériau détritique gypseux, avec l'absence des deux derniers recouvrements ; ils représentent environ 5 % de la surface dans la partie Nord-Ouest :

- des sols peu évolués d'apport de texture limono-sableuse à limono-argileuse calcaire sans cesse remaniés par les phases d'érosion ou d'apport et présentant des caractères d'halomorphie et de remise en mouvement du gypse en profondeur ;

.../...



- des sols peu évolués d'apport caillouteux (2,5 % de la surface).

- Définition d'unités homogènes de sols sur le bassin versant de la citerne - Répartition.

Suivant la présence ou l'absence et les différences d'épaisseur des trois matériaux présentés ci-dessus, nous avons défini cinq unités de sols peu évolués, en vue de l'établissement du bilan hydrique (cf. tableau N°2) et une unité de sols gypseux.

Nous voyons sur ce tableau que les unités 3, 4 et 6, très voisines les unes des autres, représentent 85,7 % de la surface totale, l'hétérogénéité du bassin étant essentiellement due au cône caillouteux (1), à l'encroûtement gypseux (5) et à leurs bordures (2) (14,3 % de la surface).

- Aptitude des sols de l'impluvium de la citerne au ruissellement.

Les aptitudes des différents sols au ruissellement dépendant en partie de leurs facultés à absorber l'eau, donc de leurs propriétés physiques (texture, structure, porosité) que l'on a pu apprécier globalement par des tests d'infiltration classiques.

Ainsi entre le 21.11.1972 et le 28.9.1973, nous avons effectué sur un certain nombre de sites cinq campagnes d'essais de perméabilité par les méthodes de MUNTZ et de PORCHET, dont les résultats sont donnés dans le tableau N°3. De ce tableau, il ressort que :

- le coefficient de DARCY (méthode MUNTZ) sur I_1 (représentant environ 85 % de la surface du bassin), varie peu au cours de l'année et ceci quel que soit l'état initial d'humectation du sol et se situe dans un intervalle compris entre 12 et 16. 10^{-6} m/s (soit 43,2 à 57,6 mm/h). Cette faible perméabilité de la surface du sol s'explique par une texture assez lourde. Une structure pratiquement inexistante, et une pellicule de battance généralisée. Notons que la méthode MUNTZ surestime sensiblement la perméabilité réelle, car lors de la mise en place de l'appareil la destruction partielle de la pellicule de battance favorise l'infiltration et augmente la vitesse. A l'inverse, l'utilisation d'eau salée pour les essais (3,0 g/l avec environ 1,3 g de NaCl), peut disperser les argiles déjà légèrement sodiques, diminuant ainsi la porosité. Nous sommes cependant amenés à admettre que malgré la compensation de ces deux effets nous surestimons cette perméabilité.

- le coefficient de DARCY mesuré par la méthode PORCHET en I_1 est identique à celui de la méthode MUNTZ (15-16. 10^{-6} m/s) (soit 54 à 57,6 mm/h); par contre sur I_2 (croûte gypseuse), il en diffère profondément, ceci étant dû à un horizon détritique très poreux situé sous la croûte ;

.../...

TABLEAU N° 2 - Définition et superficie des différentes unités de sols de la citerne TELMAM.

Unité de sols		Matériau limono-sableux	Matériau limono-argileux	Matériau détritique	Miopliocène	Surface en m ²	Surface en %	Localisation Observations
Cône caillouteux	1	présent en surface	absent	0-90 cm	> 90 cm	560	2,5	cône déjection au NE
sols peu évolués salés	2	0-20 cm	20-40 cm	40-110 cm	> 110 cm	790	3,6	partie amont NE
	3	0-40 cm	40-80 cm	80-150 cm	> 150 cm	2 970	13,5	-
	4	0-50 cm	50-70 cm	70-140 cm	> 140 cm	1 520	6,9	partie aval Tabia Est (dépression)
	5	0-10 cm	10-20 cm	20- 90 cm	> 90 cm	720	3,3	encroûtement gypseux entre 20 et 50 cm
	6	0-50 cm	50-120 cm	120-150 cm	> 150 cm	4 360	65,3	-
Encroûtement gypseux	5	absent	absent	100-135 cm	> 135 cm	1 080	4,9	partie Nord-Ouest de la citerne

Tableau 3 : Résultats des essais d'infiltration effectués sur la citerne TELHAM
 Valeur du coefficient de DARCY : $K (10^{-6} \text{ m/s})$

Site	I ₁ (unité 3 et 6)				I ₂ (croûte gypseuse - unité 5)								I ₃ (unité 4)								I ₄ (parcelle biomasse jachère I 00) (hors de l'implantation)												
	Muntz				Porchet				Muntz				Porchet				Muntz				Porchet				Muntz				Porchet				
	A	B	C	\bar{m}	1°	2°	3°	A	B	C	\bar{m}	1°	2°	3°	A	B	C	\bar{m}	1°	2°	3°	A	B	C	\bar{m}	1°	2°	3°					
21-22/11/1972 sol sec	12	16	13	14	23	18	15					55	36	32					25	17	22	21	15	14	14								
25/11/1972 sol sec	15	15	14	15																													
12-13-14/12/1972 sol humide en surface et sur 40 cm	16	16	15	16	18	19	15	13	13		13	50	38	30	19	19	21	20	14	13	13	18	20	19	19	20	16	16					
19/3/1973 sol sec en surface et humide en profondeur	16	13	13	14																													
27-28/9/1973 sol sec	13	15	15	14	25	20	16	10	12		11				23	22	21	22					23	23	22	23	22	10	16				

R.B. A, B, C, pour la méthode Muntz correspondent à 3 essais sur des sites différents très voisins (distants de 1 ou 2 m)

1°, 2°, 3°, pour la méthode Porchet correspondent à 3 remplissages successifs sur le même site (il peut y avoir 2 ou 3 répétitions)

- le coefficient de DARCY est plus fort en I₃ (zone de dépôt d'alluvions plus grossières) et en I₄ (ancien horizon de labour datant de 16 mois).

En conclusion, nous voyons que mis à part les unités 1, 2 et 5 (15 % de l'impluvium), les aptitudes intrinsèques des sols de l'impluvium au ruissellement sont identiques : pellicule de battance généralisée, faible couvert végétal, porosité moyenne, faible pouvoir d'infiltration, donc fortement aptes au ruissellement malgré des pentes faibles (1 %).

1.4. La végétation du bassin versant

1.4.1. Ecologie et composition floristique

La végétation de l'impluvium de la citerne TELMAM est représentée par les faciès post-cultureux d'une steppe originelle à Armoise blanche (association à *Artemisia herba-alba* et *Arthrophytum scoparium*, définie par LE HOUEROU, 1969). La présence de sulfates et la tendance à la salure entraînent la présence d'une sous-association de la précédente à *Erodium glaucophyllum*, dont nous donnons ci-dessous la composition floristique essentielle par groupes écologiques :

A) groupe écologique des sols à texture moyenne limoneuse de l'étage aride :

<i>Artemisia herba-alba</i>	<i>Arthrophytum scoparium</i>
<i>Stipa retorta</i>	<i>Asteriscus pygmaeus</i>
<i>Diploaxis harra</i>	<i>Vella annua</i>
<i>Plantago ovata</i>	
<i>Ajuga iva</i> ssp. <i>pseudo-iva</i>	
<i>Salvia aegyptiaca</i>	

B) groupe écologique d'espèces sub-sahariennes :

<i>Centaurea furfuracea</i>	<i>Matricaria pubescens</i>
<i>Astragalus gyzensis</i>	<i>Linaria laxiflora</i>

C) groupe écologique des croûtes

Atractylis serratuloides *Herniaria Fontanesi*
Helianthemum kahiricum

D) groupe écologique gypsophile :

<i>Erodium glaucophyllum</i>	<i>Lygeum spartum</i>
<i>Moricandia arvensis</i> ssp. <i>suffruticosa</i>	<i>Nasturtiopsis coronopifolia</i>
<i>Launaea angustifolia</i>	<i>Traganum nudatum</i> (halocline)

.../...

E) groupe écologique halocline :*Suaeda mollis**Salsola vermiculata*
*var. villosa*F) groupe écologique des sols à texture moyenne (limoneuse)
n'apparaissant que pendant les années humides (ou dans
les petites dépressions)*Hedysarum carnosum**Coronilla scorpioïdes**Enarthrocarpus clavatus**Fumaria parviflora**Calendula aegyptiaca**Vicia monantha ssp.**cinerea**Diploaxis erucoïdes**Chrysanthemum cornarium**Trigonella anguina**Trigonella stellata**Launaea nudicaulis**Scandix pecten-veneris*G) groupe des psammophiles arides :*Linaria aegyptiaca**Echium ~~parviflorum~~ ssp.*
*humile**Plantago albicans**Schismus barbatus ssp.**calycinus**Polygonum equisetiforme**Artemisia campestris*

La sous-association décrite ci-dessus montre l'appartenance de cette végétation à l'étage bio-climatique aride, sous-étage inférieur (groupes écologiques A, B, G), sur des sols à texture moyenne.

Dans les endroits les plus sableux (où les plus récemment ameublis par la culture), le groupe G est représenté. C'est une différence avec l'association typique des seguis à *Peganum harmala* et *Hedysarum carnosum*, qui comporte presque uniquement des espèces des sols à texture fine.

Pour le reste, la sous-association à *Erodium glaucophyllum* et l'association des "Seguis" ont beaucoup de points communs : présence d'espèces liées aux zones d'accumulation en eau par ruissellement (groupe F), végétation pérenne très dégradée en raison de la culture (terres à céréales), végétation annuelle très liée aux conditions pluviométriques de l'année.

1.4.2. Les unités de végétation cartographiées :

La sous-association type décrite ci-dessus est présente sur la citerne sous la forme de deux faciès post-cultureux qui ont été subdivisés en 4 unités de cartographie selon la nature et la quantité des plantes pérennes et des plantes annuelles (cf. légende Fig. N°4). La végétation pérenne est rare sur la presque totalité de la surface sauf dans l'unité 4.

.../...

CARTE PHYTO-ÉCOLOGIQUE

Fig- 4

CITERNE TELMAM

Echelle: 1/1000



LEGENDE

ASSOCIATION A ARTEMISIA
HERBA ALBA ET ARTHROPHYTUM
SCOPARIUM

FACIES A ARTHROPHYTUM SCOPARIUM.
MORICANDIA ARVENSIS ssp. SUFFRUTICOSA ET
SUAEDA MOELIS. (Stage post-culturai)

Recouvrement: des plantes pérennes: 3,6 %
(profonc, limono-sablieux, gypseux, un peu sale)

- ① Vegetation annuelle rare. Sol presque nu entre les plantes pérennes. Pellicule de battance s'opposant à la germination.
- ② Vegetation annuelle moyenne (*Stipa retorta* et *Plantago ovata* principalement). Pellicule de battance s'opposant moins à la germination.
- ③ *Cynodon dactylon* et végétation annuelle abondante (*Trigonello* spp. *Hedysarum carnosum* etc...) Zone d'accumulation d'eau.

FACIES A MORICANDIA ARVENSIS Ssp.
SUFFRUTICOSA ET HELIANTHEMUM KAHIRICUM.

Recouvrement des plantes pérennes: 14 %
(encroûte, gypseux, plus ou moins meuble)

- ④ Vegetation pérenne et annuelle assez abondante. Conditions de germination moyennes.

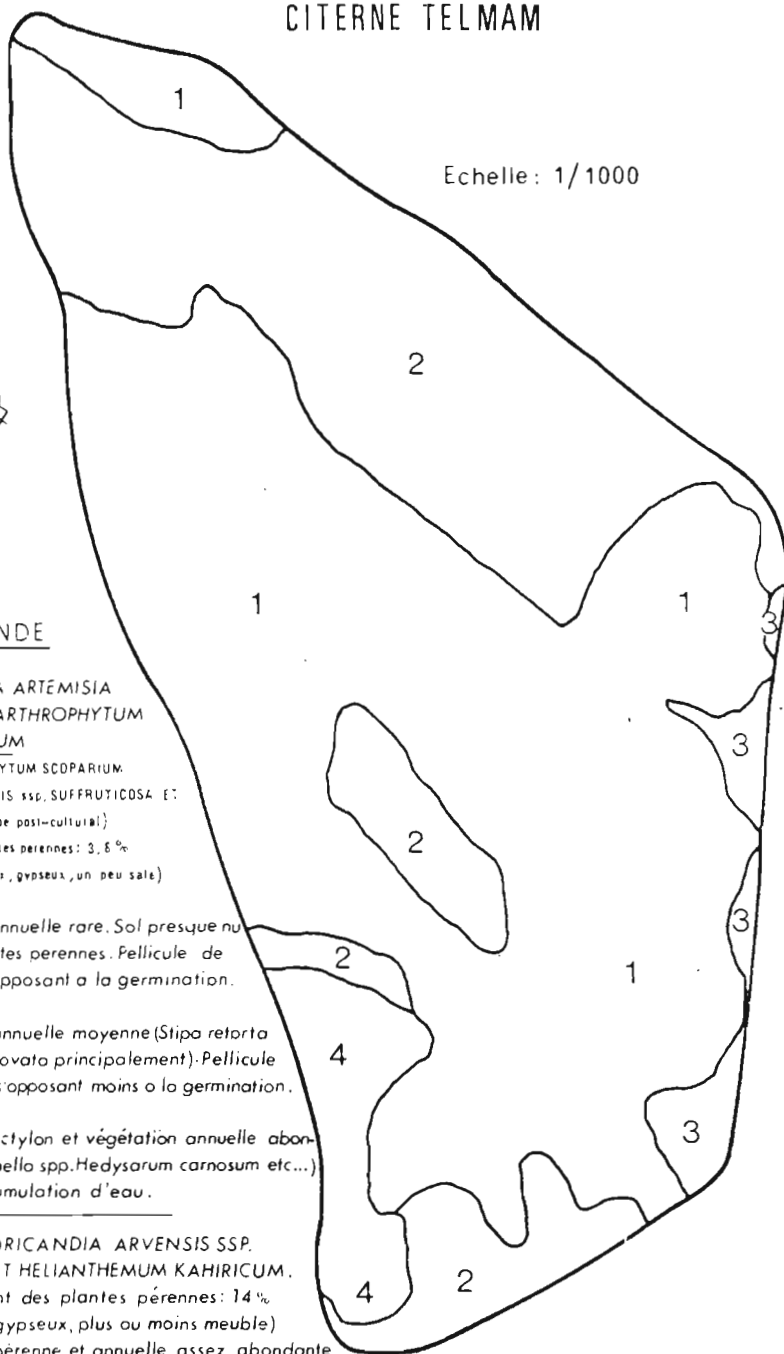


TABLEAU N°4 : Citerne Telmam - Unités de végétation
(couvert et phytomasse)

	Unités 1.2.3. (95% de la surface du bassin)	Unité 4 (5% de la surface du bassin)
Recouvrement des espèces pérennes en mars 1974	3,8 %	14 %
Phytomasse aérienne des espèces pérennes en août 1972	140 kg de matière sèche/ha	non mesurée

La végétation annuelle qui pousse après les pluies est rare dans l'unité 1 alors qu'elle est relativement abondante dans les 3 autres unités, où elle peut atteindre 1500 à 2000 Kg de matière sèche/ha en année favorable (printemps 1976).

C'est la raison pour laquelle ont été installées des lignes permanentes pour suivre l'évolution annuelle et inter-annuelle du recouvrement de la végétation 2 dans les unités 1 et 2 qui représentent respectivement 60 % et 33 % de la surface du bassin versant.

1.5. Le dispositif et les principes de mesures

Sur le glacis, à mi-chemin entre les Djebels et l'Oued TELMAM, les Services de l'agriculture avaient construit en 1958 une citerne d'environ 160 m³, pour l'approvisionnement en eau des populations et des troupeaux. Cette citerne recueillait le ruissellement d'une vaste zone de glacis, non labourée, mais pâturée, et sans limite artificielle à l'amont. Aussi, lors des fortes pluies de l'automne 1969, l'ouvrage fut gravement endommagé et pratiquement rendu inutilisable. En mai 1972, la citerne a été remise en état, équipée d'un système hydrométrique, et son bassin versant a été limité à 2,2 ha.

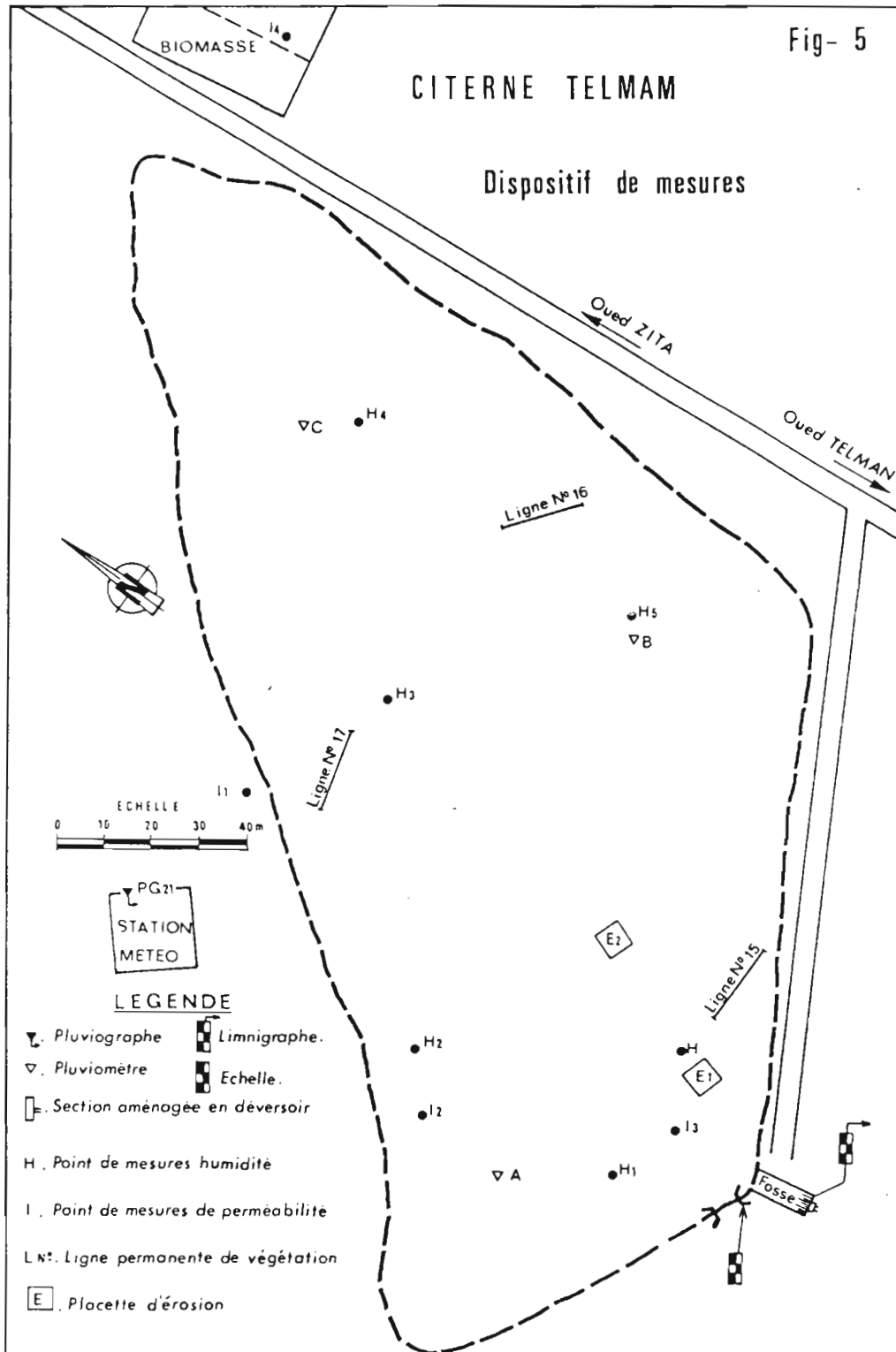
1.5.1 Caractéristiques du bassin versant :

Situé à 50 mètres d'altitude, dans une plaine très légèrement inclinée vers le Sud, le bassin de la citerne TELMAM a été limité artificiellement par des tabias, (petites levées de terre compactée) qui ceinturent la totalité du bassin.

Sa forme très allongée dans la direction Nord-Sud, lui confère une assez faible compacité. Sa pente faible très régulière ne laisse apparaître aucune cassure (cf. Fig N°5).

Bien que l'ancien sentier d'accès à la citerne ait créé une amorce de rigole, selon le plus grand axe du bassin, il serait exagéré de parler d'un réseau de drainage. Le ruissellement en nappe détourné par les tabias du convergent est dirigé vers l'exutoire.

.../...



Si on appelle q_e et q_s les débits entrant et sortant du réservoir principal, q_f le débit des fuites, et V le volume d'eau emmagasiné à un instant t , on peut écrire :

$$q_e = \frac{dV}{dt} + q_s + q_f$$

S étant la section horizontale de la citerne, on a :

$$\frac{dV}{dt} = S \frac{dh}{dt}$$

h étant la hauteur à l'échelle.

La séparation de la citerne en deux réservoirs présente l'inconvénient de soustraire à l'enregistrement le remplissage du dessableur. Ainsi, pour les quatre premières années, tous les débuts de crue sont tronqués et il est impossible de connaître le moment exact où les premiers écoulements atteignent le dispositif. Pour certaines crues, très faibles, entièrement contenues par le dessableur, nous n'avons aucun enregistrement (3).

D'une façon générale, nous estimons la partie de la crue non enregistrées, dont nous connaissons le volume ruisselé, en fonction du hyétogramme de l'averse, excepté pour les faibles crues où cette partie représente une part importante des volumes ruisselés.

- (1) Dès le 1er septembre 1974, l'échelle de réduction du limnigraphe a été réduite à 1/5. Les frottements sur les parties de renvoi annihilèrent le gain de précision dû à cette réduction, gain qui au dépouillement ne s'avérait pas nécessaire.
- (2) Afin d'éviter la mise en charge des écoulements à l'entrée de la fosse, en cas de débits liés importants comme ceux du 12.12.1973, il a été mis en place un déversoir rectangulaire en lame mince de 1,5 mètres, qui, dès la mise en charge de l'orifice d'entrée, commence à déverser dans le canal de sortie. Une échelle à maximum permet de calculer le débit maximum et à partir du limnigramme de la fosse il est possible de reconstituer le sommet de l'hydrogramme.
- (3) Rappelons que le remplissage du dégraveur-dessableur correspondant à une lame écoulée de 0,3 mm. La mise en communication par le fond du dégraveur-dessableur et de la fosse principale permet, à partir du 1.9.1976, l'enregistrement de la quasi-totalité des crues.

.../...

Hormis cette phase de la crue, nous pouvons admettre les orifices de communication étant sensiblement de la même dimension, que le débit Q , à l'exutoire du bassin, est égal à celui entrant dans le réservoir principal q_e donc :

$$Q = S \frac{dh}{dt} + q_s = q_e$$

- en phase de remplissage $q_s=0$, donc le débit est uniquement fonction de la vitesse de montée de l'eau, $\frac{dh}{dt}$, et des fuites éventuelles.
- en phase de débordement, le débit $S \frac{dh}{dt}$ vient s'ajouter ou se retrancher du débit sortant selon le sens de variation du niveau de l'eau
- Pour parer à l'impossibilité matérielle de pratiquer des jaugeages sur cette station par suite de son éloignement et de la simultanéité des crues sur l'ensemble des stations, la section de sortie est munie d'un déversoir rectangulaire fournissant le débit évacué au moyen de la formule de FRANCIS :

$$q = 1,83 (L - 0,2 h) h^{3/2}$$

h étant dans ce cas la hauteur au-dessus du seuil et L sa largeur (L et h en mètres)

Or ce seuil, ne remplissant pas toutes les conditions d'installation requises par suite de la topographie des lieux, a fonctionné pour les fortes crues en seuil noyé. Afin de lever les imprécisions sur les débits, il a été installé, à l'aval du déversoir, en mars 1974 un dispositif de contrôle constitué par un seuil épais du type ETRPIC assisté d'un limnigraphe.

1.5.3. Etude de l'état hydrique des sols

- Mesures sur l'impluvium

Six sites de prélèvements d'humidité du sol ont été choisis sur le bassin (cf. Fig N°5) permettant de suivre l'état hydrique des sols, et de quelques cinétiques de dessèchement, en vue de l'établissement du bilan hydrique et d'une estimation de l'ETR.

Ces sites, ont été choisis sur les différentes unités de sol et en fonction de la topographie. En raison de difficultés techniques, les états hydriques du cône caillouteux et du sol le bordant (6,1 % de la surface) ne font pas l'objet de mesures (nous admettons leur comportement identique à celui des sols gypseux).

Chaque prélèvement effectué avec deux ou trois répétitions à la tarière ; les échantillons sont séchés à l'étuve à 105°C ou sous vide à 50°C dans le cas des horizons gypseux.

.../...

Nous réalisons ainsi 20 à 26 séries de prélèvements au cours de l'année hydrologique, répartis en fonction des pluies et des saisons.

- Dépouillement des mesures

Les teneurs en eau de chaque tranche de sol pour chaque profil (2 à 3 répétitions) sont exprimés en humidité pondérale et mises sous formes de liste en vue de l'élaboration des profils hydriques. Celles-ci sont traduites en humidité volumique afin d'obtenir pour chaque point de mesure la valeur de la réserve en eau (S) de la tranche considérée, suivant la relation :

$$S \text{ (mm)} = Hvdz$$

où

$$Hv = Hp \text{ DA (humidité volumique)}$$

avec

$$Hp = \text{humidité pondérale}$$

$$dz = \text{épaisseur de la tranche de sol considérée}$$

$$DA = \text{densité apparente de la tranche de sol d'épaisseur dz}$$

Tous ces résultats sont mis sous forme de listes et de graphiques donnant leur évolution dans le temps.

Le tableau N°5 nous donne les caractéristiques physico-hydriques du sol permettant de calculer et de suivre le bilan d'eau sur chaque site de mesures.

1.5.4. Etude et mesures de l'érosion hydrique

Afin de mesurer l'érosion en place, nous avons installés deux placettes, sur deux zones différentes de l'impluvium (cf. Fig N°5) :

- E₁ près de l'entrée de la citerne dans une petite zone qui tend actuellement à s'alluvionner,
- E₂ plus en amont, sur une zone où l'érosion en nappe semble être représentative de la quasi totalité de l'impluvium

Ces placettes d'érosion de 16 m² sont piquetées d'aiguilles disposées tous les 50 cm et dépassant de 40 mm le niveau du sol en début d'expérimentation. Des mesures sur l'élément apparent de chaque aiguille sont effectuées après chaque pluie importante, afin d'obtenir spécifiquement la valeur de l'érosion, ou de l'alluvionnement.

.../...

Tableau N° 5 : Caractéristiques physico-hydriques des sites de mesures d'humidité du sol à la citerne TELMAM

Site n°	Unités de sol représentées	Surface m ²	Nature de l'horizon	Épaisseur (cm)	pF 2,7 (%)	pF 4,2 (%)	DA	profondeur prélevée en cm (1)
1	6	14 360	horizon labour/LS	10	18,0	6,4	1,45	110
			horizon/LS	40	20,1	8,0	1,52	
			horizon/LA à TE avec amas gypseux	60	24,3	8,9	1,54	
2	5	1 800	Recouvrement/LS à SL	5	16,2	5,8	1,36	70
			Encroûtement gypseux	20	20,5	7,2	1,26	
			horizon détritique	40	19,3	6,9	1,38	
3	6	14 360	horizon labour/LS	10	18,5	6,8	1,43	120
			horizon/LS	50	19,8	7,8	1,51	
			horizon/LA à TE avec amas gypseux	60	24,5	8,8	1,56	
4	3 et 2	3 760	horizon labour/LS	10	18,0	6,3	1,45	90
			horizon/LS	40	20,0	7,9	1,51	
			horizon/LA à TE	40	24,1	8,4	1,55	
5	6	14 360	horizon labour/LS	10	17,5	6,0	1,40	110
			horizon/LS	40	20,2	8,5	1,51	
			horizon/LA à TE avec amas gypseux	60	24,4	8,7	1,55	
6	4	1 520	horizon labour/LS	10	18,0	6,6	1,45	130
			horizon/LS	40	19,9	7,8	1,50	
			horizon/LA à TE avec amas gypseux	30	25,3	8,9	1,56	
			horizon détritique	50	19,0	6,4	1,37	
1		560	Cône caillouteux	Pas de prélèvements				

(1) profondeur permettant de contrôler l'horizon du sol ne subissant aucune variation d'humidité.

Conjointement à cette mesure de l'érosion en place sont effectuées des mesures de l'érosion globale par l'observation des transports, dont la quasi totalité est piégée par le dispositif du dessableur et du réservoir principal.

Les matériaux grossiers très rares sur cette parcelle sont collectés dans le dessableur où ils sont ramassés après chaque crue (1).

Les matériaux fins se retrouvent dans le réservoir principal où ils décantent lentement et sont ramassés en été après assèchement de la citerne (juillet-août). Lors des fortes crues une partie de ces matériaux peut être évacuée avec les eaux par le trop plein. Les matériaux les plus fins demeurent longtemps en suspension dans l'eau et sont évacués lors des prélèvements par les riverains (ou lors des débordements). Les matériaux prélevés sont séchés, pesés et analysés. Quelques prélèvements dans la citerne, ou au cours des débordements sur les eaux évacuées, permettent de connaître les quantités de sédiments ainsi soustraites à l'observation directe.

1.5.5. Etudes et mesures de la végétation et de la litière

La végétation de la station a été décrite et cartographiée. Les unités de végétation les plus importantes font l'objet d'études quantitatives non destructives et dynamiques : évolution de la partie aérienne de la végétation, mesures de recouvrement, à partir de la mise en défense réelle, qui a eu lieu le 1er septembre 1972.

On a effectué également quelques mesures de densité de végétation. La phénologie des espèces a été observée tout au long de l'année de végétation.

- mesures de recouvrement (fréquence spécifique)

Pour étudier l'évolution annuelle et interannuelle du recouvrement de la végétation, des "lignes permanentes" ont été installées dans les unités de cartographie N° 1 et 2. Cette méthode consiste en des mesures par points sur une ligne matérialisée sur le terrain par deux piquets scellés. Une fine aiguille est descendue dans la végétation tous les 5 cm le long d'un double décimètre tendu entre ces piquets. Toute plante ou morceau de litière touché par l'aiguille est noté.

Le principe de la mesure est basé sur le fait que, pour une espèce donnée, le recouvrement R est égal à la fréquence des contacts (fréquence spécifique F_s). Si n est le nombre de contacts d'une espèce et N le nombre de points échantillonnés, le recouvrement de cette espèce s'exprime en % et est donné par la formule :

$$F_s = R = \frac{n}{N} \times 100$$

(1) jusqu'au 1.9.1976

Notons que la somme des recouvrements (ou fréquences spécifiques) de toutes espèces n'est en général pas égale au recouvrement total de la végétation, elle lui est supérieure car il peut y avoir plusieurs espèces superposées au même point.

Au total 960 points sont échantillonnés à chaque date d'observation (640 dans l'unité 1 et 320 dans l'unité 2).

Les lignes n'ont pas été placées au hasard. Elles recourent un nombre maximum de touffes d'espèces pérennes, relativement rares sur la station, afin d'en suivre l'évolution. Le recouvrement mesuré des pérennes sur la ligne est donc nettement exagéré par rapport au recouvrement réel qu'elles occupent sur le bassin versant. Le recouvrement réel de ces pérennes a été mesuré une seule fois, en mars 1974, sur l'ensemble du bassin (avec 14 400 points échantillonnés) ; à cette date, il n'atteignait que 3,8 % pour les unités concernées (unités 1 et 2).

2. SYNTHESE DES RESULTATS POUR LA PERIODE 1972 - 1977

Dans ce chapitre, sont présentés essentiellement les résultats concernant le bilan de l'eau, l'érosion et les effets de la mise en défense de la végétation. L'étude de la production végétale et de ses facteurs a déjà été présentée dans un autre document (FLORET, PONTANIER 1978).

2.1. *Caractéristiques climatiques*

Les principales caractéristiques climatiques mesurées à la station météorologique équipant le bassin versant sont récapitulées en ce qui concerne leurs valeurs moyennes mensuelles dans le tableau n° 6.

\bar{T}_x , \bar{T}_n , $\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$ étant respectivement les moyennes mensuelles

1972-1977 des températures journalières maximales, minimales et moyennes en degré C.

$\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$ GABES étant celles mesurées pour la même période à la

station météorologique de GABES.

\bar{U} étant la moyenne mensuelle de l'humidité relative en %
Vent de 2 m étant la vitesse journalière moyenne en ms^{-1} du vent à la hauteur de 2 m.

E (Piche), l'évaporation mensuelle en mm mesurée sur appareil Piche.

E (Bac Colorado ORSTOM), l'évaporation mensuelle en mm mesurée sur un bac enterré de section un mètre carré.

E (Bac classé "A"), l'évaporation mensuelle en mm sur le bac standard

E l'évaporation journalière moyenne sur ce même bac (en mm/jour).

P la précipitation moyenne mensuelle en mm observée sur le bassin.

La comparaison des températures entre le poste de GABES et celui de la citerne indique bien une continentalité plus marquée au Telmam. Cette dernière est encore plus nette au niveau de l'évaporation mesurée au Piche.

.../...

Tableau n°6: Principales moyennes caractéristiques du climat à la citerne ILLMAN (Période d'observation 1972-1977)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
\bar{T}_x °C	31,4	26,2	20,5	16,7	15,9	17,4	19,8	22,5	27,2	30,3	34,1	33,7	24,6
\bar{T}_n °C	19,8	14,3	8,7	5,9	5,1	6,3	9,1	11,2	15,9	18,8	22,1	21,9	13,2
$\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$ °C	25,6	20,2	14,6	11,3	10,5	11,8	13,9	16,8	21,6	24,5	28,1	27,8	18,9
$\frac{\bar{T}_n - \bar{T}_n}{2}$ Gabès °C	25,7	21,2	15,6	12,8	11,9	12,2	14,5	17,0	20,9	24,0	26,7	27,1	19,2
\bar{U} %	78	77	88	88	86	76	76	72	74	79	79	78	79
Vent à 2 m	3,6	3,5	2,8	2,9	3,1	3,2	3,5	3,9	4,0	4,3	3,9	3,8	3,5
E (Piche) mm	268	263	175	150	135	167	219	245	264	264	340	320	2810
E Bac Colarodo ORSTOM (mm)	244	181	103	75	71	94	145	185	248	304	352	323	2325
E Bac classe A (mm)	263	202	115	85	84	116	168	213	277	326	373	342	2564
E (mm/j)	8,7	6,5	3,8	2,7	2,7	4,0	5,4	7,1	8,9	10,9	12,0	11,0	7,0
P (mm)	14,8	13,5	13,3	51,8	31,0	34,7	27,6	3,6	10,5	2,9	0	0,5	229

2.2. Pluviosité

L'analyse porte sur les hauteurs de précipitations moyennes sur le bassin.

2.2.1. Pluviosité annuelle

Les observations ont été effectuées pendant cinq années sur le bassin de septembre 1972 à août 1977.

Les hauteurs de précipitations sur l'année hydrologique observées sont les suivantes en mm :

1972/73	162,3
1973/74	370,3
1974/75	167,0
1975/76	354,0
1976/77	90,5

La valeur moyenne est de 229 mm sur ces cinq années. Pour la même période, la moyenne à la station de GABES est de 279 mm avec les valeurs suivantes :

1972/73	148,9
1973/74	311,4
1974/75	285,4
1975/76	533,6
1976/77	115,8

Le rapport de la moyenne des précipitations sur 5 années aux postes du bassin et de GABES est de 0,817.

L'étude de l'homogénéité des précipitations annuelles à GABES n'étant pas encore réalisée, nous n'utiliserons que les valeurs de 1911-12 à 1922-23 et de 1964-65 à 1975-76 des précipitations à GABES faites au poste "JARDIN DE GABES" et au poste "HER". La moyenne s'établit à 222,4 mm pour cette période totalisant 26 années.

La précipitation moyenne interannuelle sur le bassin du TELMAM s'établirait à $222,4 \text{ mm} \times 0,817 = 181,7 \text{ mm}$.

Les fréquences expérimentales F_G et F_B au dépassement des valeurs annuelles à GABES et au bassin pour la période d'étude du bassin sont de :

Année	F_{GABES}	$F_{\text{BASSIN TELMAM}}$
1972/73	0,60	0,53
1973/74	0,15	0,06
1974/75	0,20	0,52
1975/76	0,012	0,07
1976/77	0,79	0,86

en admettant les mêmes lois de distribution aux stations.

En première approximation, les pluviosités annuelles de 1972/73 et de 1974/75 s'observent une année sur deux, celles des années 1973/74 et 1975/76 s'observent une année sur quinze et celle de l'année 1976/77 une année sur sept.

Tableau n° 7 : Pluie annuelle (en mm) à GABES

:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
:	Période de	:	50	:	10	:	5	:	Médiane:	5	:	10: 50:	
:	retour en années	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
:	Pluie annuelle	:	50	:	81	:	108	:	176	:	272	:	334: 465:
:	mm	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	

2.2.2. Nombre de jours de pluie par an

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

Sur le bassin, il a été observé 27 jours de pluie par année en moyenne soit 40 % de moins qu'à GABES.

2.2.3. Répartition mensuelle des pluies à la citerne TELMAM

Pour la période septembre 1972 - décembre 1978, le tableau ci-après donne les valeurs extrêmes, moyennes et médianes des précipitations mensuelles.

Tableau n° 8 : Précipitations mensuelles à la citerne TELMAM

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Maximum	30,5	22,1	41,1	298,8	133,9	76,9	55,6	12,8	29,9	12,2	0	6,7
Moyenne	14,8	13,5	13,3	51,8	31,0	34,7	27,6	3,6	10,5	2,9	0	0
Médiane	15,2	14,0	9,8	1,3	10,5	27,0	14,5	1,8	5,4	1,2	0	0
Minimum	0	2,4	2,7	0	1,9	19,6	0	0	0	0	0	0

2.2.4. Précipitations journalières

Pour la période d'observation, les dix plus fortes précipitations journalières en 24 heures de Ji à Ji + 24h sont par ordre décroissant : 256,3 - 61,0 - 39,4 - 35,8 - 34,7 - 29,0 - 28,6 - 28,5 - 27,6 mm.

La moyenne interannuelle de la précipitation maximale journalière est de 35 mm. L'étude de la précipitation en 24 heures à GABES sur un échantillon de 72 valeurs maximales pour chaque année observée et de 2 204 valeurs non nulles sur les 72 années conduit aux résultats suivants (Fersi 1978).

.../...

Tableau n° 9 : Précipitation maximale à GABES en 24 heures pour différentes périodes de retour

1	Période de retour en années	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans	2 ans
2	Fréquence au dépassement	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
3	P(mm) observée			102,0	86,0	64,0	35,0
4	P(mm) calculée échantillon 72 val	130,0	115,0	96,0	82,0	65,0	35,0
5	P(mm) calculée (échantillon 2204 valeurs) Loi de GALTON	170,0	140,0	107,0	85,0	66,0	46,0
6	P(mm) calculée (échantillon 2204 valeurs) Loi de GOODRICH	165,0	138,0	105,0	84,0	66,0	46,0

Ainsi la précipitation de 256,3 mm observée en 24 heures sur le bassin à une période de retour de 540 années à l'aide de la formule donnée pour la ligne 4 du tableau. Cette période de retour est de plus de 1 000 années calculée à partir de la formule donnée pour la ligne 6.

Seule une étude régionalisée permettrait de mieux fixer la période de retour d'une telle précipitation en 24 heures. Indiquons que de nombreuses précipitations en 24 heures de l'ordre de 200 mm ont été observées en 1969 et en 1979 dans un rayon de 250 km autour de GABES.

La période de retour de la pluie de 61 mm observée sur le bassin est de 5 années.

2.2.5. Les intensités des précipitations

2.2.5.1. Sur le bassin versant

Les informations fournies par le pluviographe de 1972 à 1977 ont été saisies mécano-graphiquement sous forme de "Relevés Pluviographiques Intégraux" (R.P.I.).

Le traitement informatique des averses sélectionnées (critère de sélection : aucune précipitation d'intensité supérieure à 2 mm/h avant et après l'averse pendant une durée de 20 minutes) permet de déterminer les hauteurs de pluie classées en mm pour des durées de 5 à 180 minutes.

.../...

2.2.5.2. Régionales

A l'aide d'un groupement de 14 années d'observations pluviographiques (avancement du papier supérieur à 10 mm/h), et de 10 années d'observations au pluviographe hebdomadaire de GABES, nous avons déterminé les hauteurs de pluie suivantes expérimentales en mm pour diverses durées.

Tableau n° 10 : Intensités limites au non-dépassement GABES. (mm/h)

Fréquences au non-dépassement	5'	10'	15'	30'	45'	1h	1h30	2h	3h
0,04	144	114	104	86	75	65,0	47	37	29 mm
0,1	116	96	72	60	47	37,4	29	25	19 mm
0,2	70	60	44	31	30	26,7	23	19	13 mm
0,5	54	32	30	23	22	18,2	14	12	8 mm
Maximum observé sur le bassin	138	111	92	80	73	65,0	52	47	40
Second Maximum	138	96	88	79	56	65,0	48	37	24

La précipitation exceptionnelle de 256,3 mm en 24 heures du 12 décembre 1973 présente, pour la partie intense des deux principales averses, des caractéristiques proches de celles des averses de période de retour 25 années pour la gamme des durées de 5 minutes à 1 heure.

La période de retour de la hauteur de l'averse maximale en 3 heures pourrait être de l'ordre de 100 à 200 années.

Cette journée "exceptionnelle" groupe en fait deux averses à intensités très fortes.

Ces intensités remarquables du poste de GABES sont très utiles pour la détermination des débits de crue sur le bassin.

2.3. Le ruissellement

Avant d'aborder ce paragraphe, précisons que l'écoulement observé à l'exutoire du bassin est du exclusivement au ruissellement superficiel cheminant en nappe sur le sol du bassin versant.

La mesure du ruissellement au droit de la citerne est déduite des variations de hauteur d'eau dans celle-ci et éventuellement du calcul des débits déversés en cas de débordement de la citerne.

.../...

Compte tenu de la surface réduite du bassin et du faible temps de base des crues, nous choisissons de faire le plus souvent possible référence à l'averse telle que définie au précédent paragraphe.

2.3.1. Bilan annuel de ruissellement

Tableau n° 11 : Bilan annuel de ruissellement sur la citerne TELMAM

Année	1972/ 73	1973/74	1974/75	1975/76	1976/ 77	Moyenne générale	excep. 12.73
Pluie annuelle (mm)	163,7	371,2	167,2	356,3	96,4	231,1	179,9
Nombre de jours de pluie (1mm)	18	15	24	30	15	20,4	20,4
Hauteur annuelle de la lame ruisselée (en mm)	23,0	224,5	29,0	49,2	2,0	65,5	23,3
Coefficient de ruissellement (%)	14,0	60,4	17,4	13,8	2,1	28,6	13,1
Déficit d'écou- lement (mm)	140,7	146,7	138,4	311,2	94,4	166,7	157,3

Le coefficient annuel de ruissellement a varié de 2,1 à 60,4 % au cours de la période d'observation.

En éliminant la précipitation exceptionnelle du 12 décembre 1973, le coefficient moyen annuel du ruissellement atteindrait 12 % pour les 5 années d'observations. Nous observons une tendance à l'accroissement du coefficient de ruissellement annuel en fonction de la précipitation annuelle (Fig. n° 6).

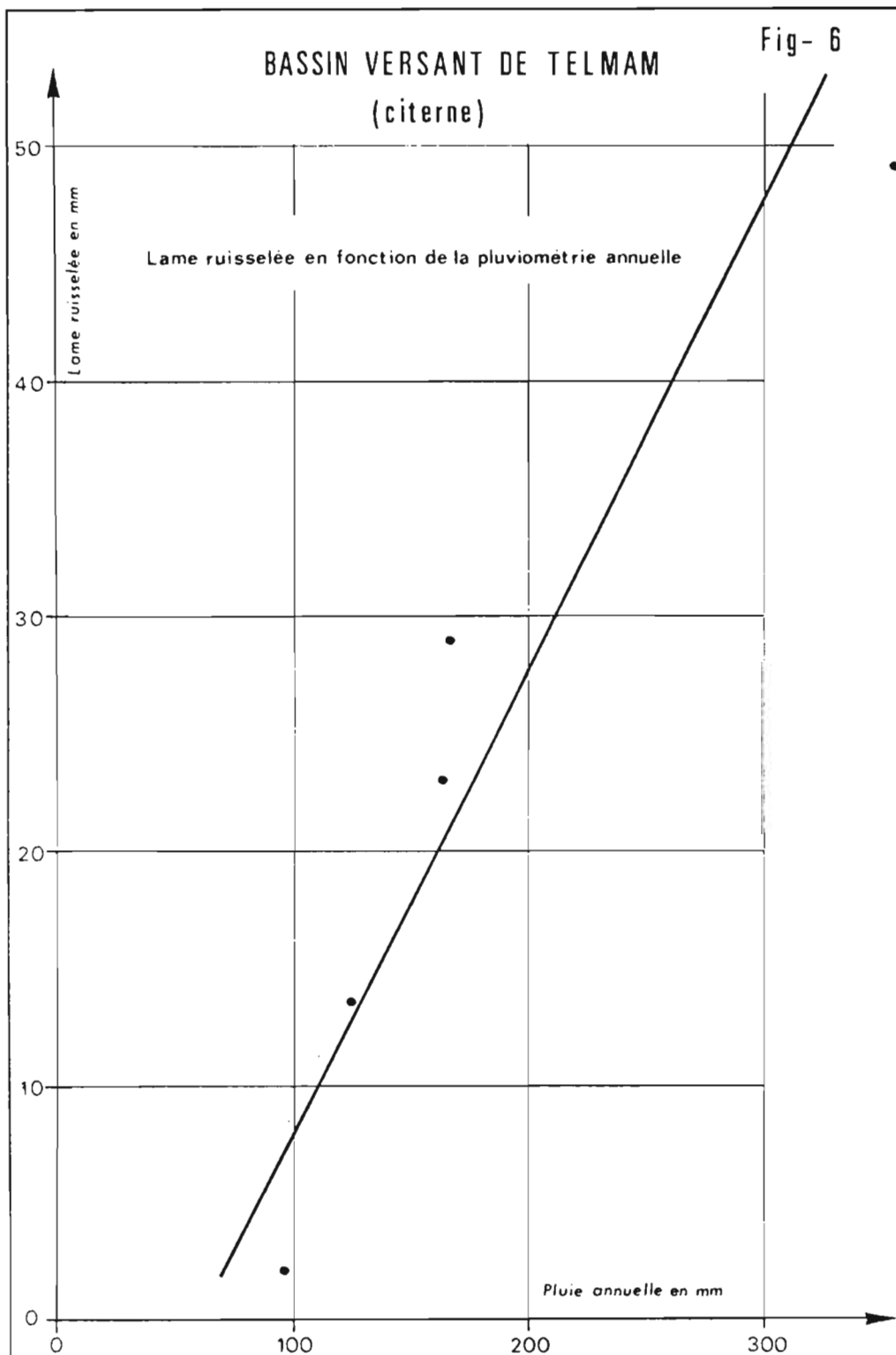
2.3.2. Caractéristiques des couples averses-crues

Les tableaux en annexe présentent les principales caractéristiques des crues et des averses génératrices de celles-ci.

Définition des paramètres utilisés :

- le n° fait référence à l'épisode pluvieux. Il peut se décomposer en plusieurs averses repérées par des lettres.
- P_{m150} Hauteur de pluie moyenne sur le bassin en mm mesurée aux pluviomètres à 1,50 m du sol.
- P_u Pluie utile en mm ; elle correspond à la hauteur de pluie mesurée au pluviographe pour laquelle l'intensité est supérieure à 5 mm/h, seuil au-delà duquel est susceptible de se produire un ruissellement. Lorsque l'écart entre la hauteur mesurée au pluviographe

.../...



et celles relevées aux pluviomètres du bassin est important, la pluie utile est corrigée par le coefficient K , tel que :

$$K = \frac{P_m}{\text{Hauteur au pluviographe}}$$

- I est l'intensité moyenne du corps principal de l'averse (en mm/h)
- I est l'intensité maximale sur une période minimale de 5 minutes (en mm/h).
- V_p, h_p sont les volumes de ruissellement et l'épaisseur de la lame ruisselée (respectivement en m^3 et en mm).
- K_p est le coefficient du ruissellement exprimé en pourcentage.
- D déficit d'écoulement en mm. Il représente la hauteur de pluie interceptée par la végétation et infiltrée dans le sol.
- C_{am} est la capacité apparente d'absorption moyenne en mm/h elle représente l'intensité maximale de pluie que le sol peut absorber sans ruisseler dans son état d'humectation initial.
- Q_{max} et q_{max} : sont les débits maximum et le débit spécifique maximum à l'entrée du dispositif de mesures (en $10^{-3} m^3/s$ et en $m^3/s/km^2$.)
- t_p est le temps de réponse du bassin en minutes.
- t_m, t_b sont le temps de montée et le temps de base en minutes, déterminés à partir de l'hydrogramme.
- P_a la hauteur de la première pluie antérieure supérieure à 1 mm au cours du même épisode, ou à 5 mm au cours d'un épisode antérieur.
- t_a l'intervalle de temps séparant l'averse considérée de l'averse précédente

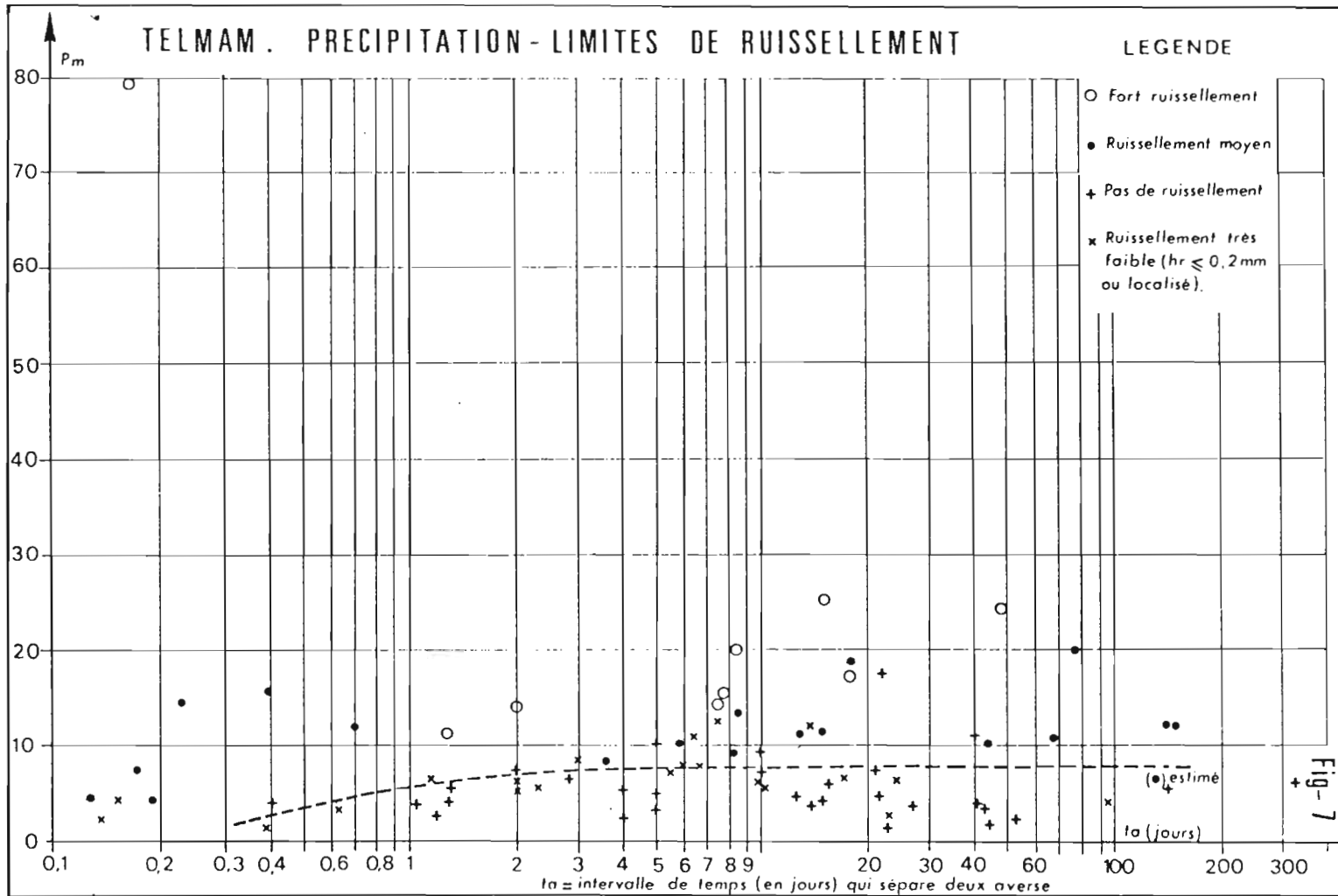
2.3.2.1. "Précipitation-limites" de ruissellement

La variation de la hauteur limite des précipitations au-delà de laquelle on constate un début de ruissellement est fonction de l'intervalle de temps " t_a " qui sépare deux averses.

Pour un intervalle de temps inférieur à 24 heures, la hauteur limite varie de 3,5 à 1,5 mm. Le facteur déterminant du ruissellement dans ce cas est l'intensité de la pluie ($I > 5$ mm/h).

Au-delà de 24 heures, la hauteur limite croît rapidement jusqu'à un plafond de 7 à 8 mm en quelques jours (fig. 7) Cette valeur correspondrait à la saturation des horizons superficiels du sol après ressuyage. L'eau infiltrée lors des pluies dans la couche superficielle est éliminée en l'espace de 5 à 6 jours.

.../...



Pour des précipitations inférieures à 7,5 mm, on a pu constater dans certaines conditions un ruissellement localisé à l'exutoire du bassin.

2.3.2.2. Coefficient de ruissellement

D'une très grande variabilité (0 à 87 %, le tableau n°12 présente des valeurs remarquables de ce coefficient.

Tableau n°12 : Valeurs particulières du ruissellement (%)

Année	1972/73	1973/74	74/75	75/76	76/77	Moyenne
Valeur médiane	6,6	21,0	19,6	11,0	5,2	13,3
Valeur moyenne	18,4	67,0	25,3	16,5	4,2	26,3
Valeur maximale	55,0	87,0	64,0	50,0	7,4	52,6
pour l'année	14,0	60,4	17,4	13,8	2,1	28,5
pour l'année *		11,7*				13,1*

≠ sans les crues du 12/12/1973

Pour un total de 64 crues observées :

10 % ont un coefficient de ruissellement supérieur à 40 %
 50 % - - - - - compris entre 10 et 40 %
 40 % - - - - - inférieur à 10 %

Sur les 134 averses observées, 45 % d'entre elles ont donné lieu à une crue de coefficient de ruissellement supérieur à 24 %.

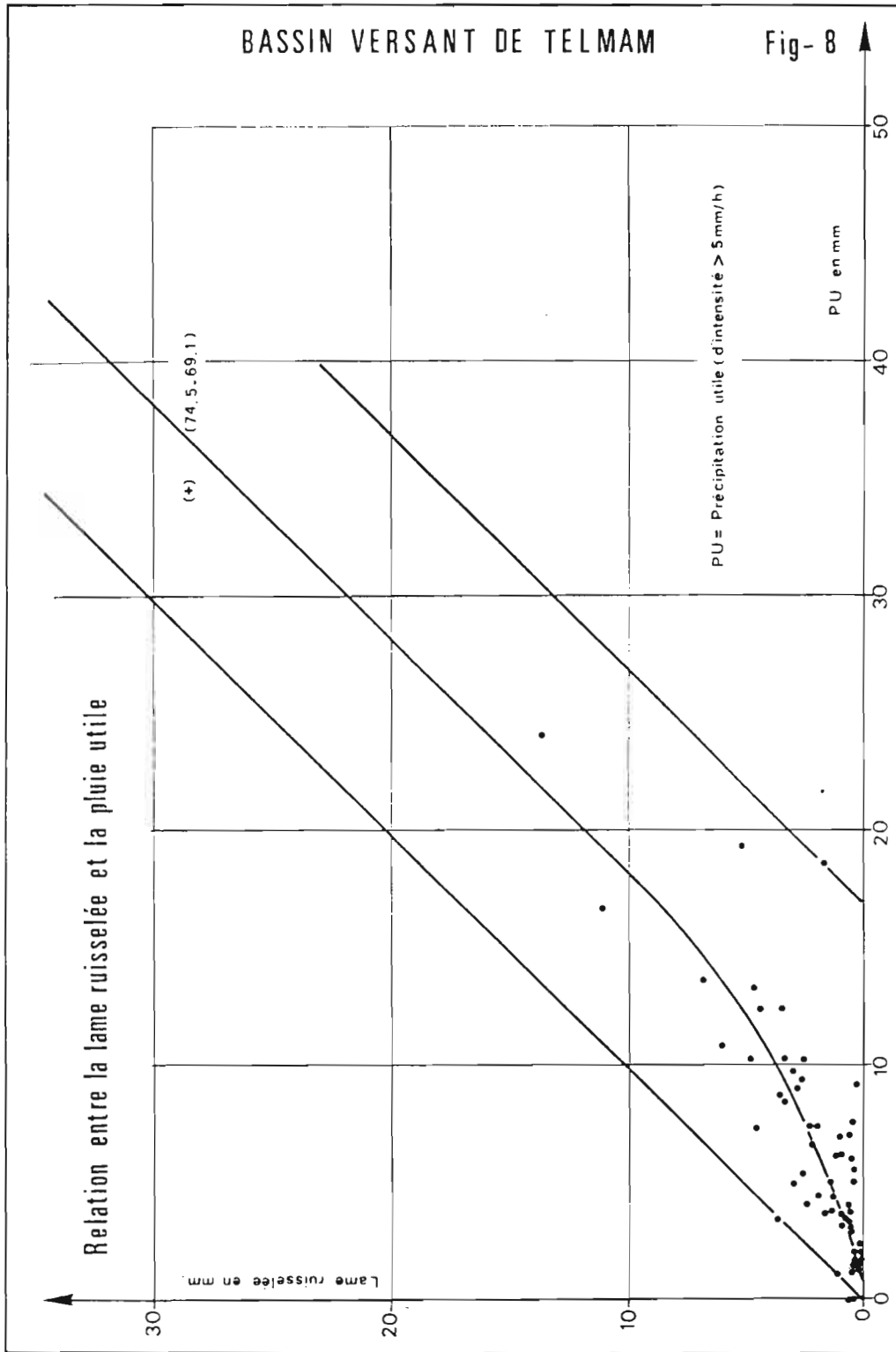
2.3.2.3. Relation entre lame ruisselée et hauteur utile de l'averse.

La hauteur de la lame ruisselée peut atteindre 15 mm, mais se situe généralement entre 0,2 et 6 mm. Pour l'averse exceptionnelle du 12 décembre 1973, elle a atteint 74,5 mm et 138,6 mm.

Les couples de point (lame ruisselée-pluie utile) se situent entre deux droites d'équation et se répartissent autour de la courbe tracée. (cf Fig n° 8)

Dans 90 % des cas l'erreur sur la lame ruisselée est inférieur à 2 mm et à 1 mm deux fois sur trois.

Cette relation peut donc être utilisée pour évaluer la lame ruisselée de chaque averse (si l'on connaît la distribution des intensités pour chaque averse). Sans information sur les intensités des précipitations, la dispersion des points représentatifs des couples pluie totale-lame ruisselée est éloquente sur le figure n° 9. .../...



Il existe des variables telles que le déficit en eau des vingt premiers centimètres du sol où l'intensité maximale en 5 minutes a une influence non négligeable sur la valeur de la lame ruisselée pour une pluie utile identique. On note sur le graphique (Fig n° 9) "lame ruisselée en fonction de la pluie utile" que les points les plus éloignés de la courbe tracée correspondent, au-dessus de celle-ci, à des couples averses-crués se présentant dans des conditions de saturation exceptionnelle et, au-dessous, dans des conditions de dessèchement exceptionnelles.

Toutefois étant donné le faible nombre de points (64 couples) et les résultats décevants obtenus au cours de 2 tentatives d'introduction manuelle de termes correctifs, nous estimons que la courbe établie ci-dessus est suffisante. Bien des facteurs secondaires peuvent aussi intervenir dans la liaison recherchée, par exemple l'accroissement de l'infiltration avec l'importance du développement de la végétation.

2.3.3. Formes des crues et crue type

La forme des crues représentée par l'hydrogramme observé à l'exutoire du bassin varie selon la succession des averses ou plutôt des pointes successives d'intensité dans le temps.

Une averse de longue durée et de forte intensité engendrera une crue complexe à pointe multiple et de longue durée.

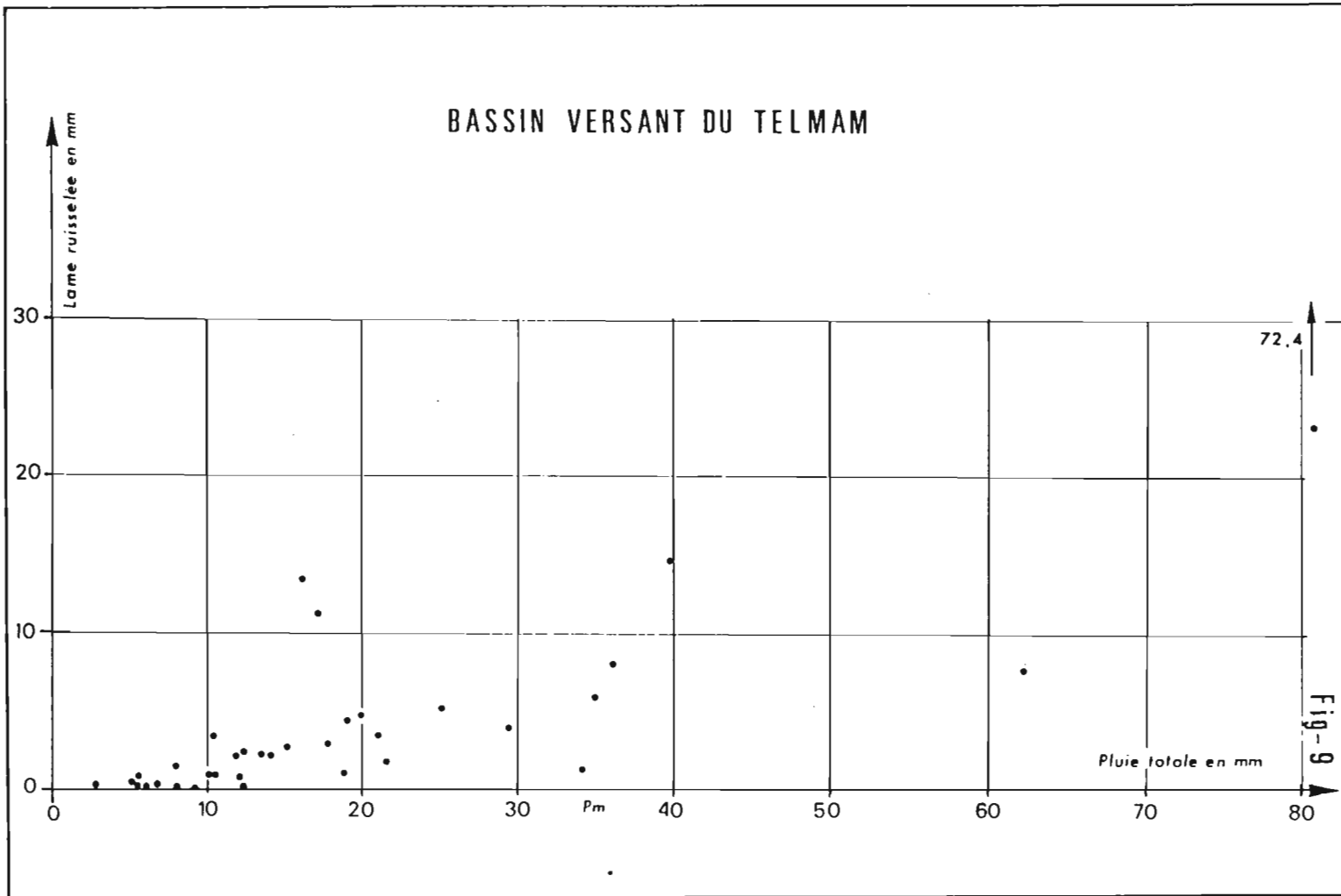
L'examen de chaque crue devient nécessaire.

La détermination du temps de réponse (t_p) du bassin comporte le cumul des erreurs de calage du temps du diagramme pluviométrique et du diagramme de hauteur d'eau. Celle du temps de montée (t_m) est exacte, mais ce temps dépend de la précipitation antérieure au maximum d'intensité. La détermination du temps de base (t_b) ne comporte pas de difficulté majeure du fait du ressuyage rapide de l'eau superficielle sur le bassin, mais ce temps est également lié à la durée de la pluie (tableau 13).

Tableau n° 13 : Temps caractéristiques des crues

	t_p en minutes	t_m en minutes	t_b en minutes
Maximum	80	150	220
Moyen	21,6	29,5	99,0
Médiane	20	15	90
Minimum	3	2	31

.../...



Il ressort du tableau précédent que :

- le temps de réponse du bassin est généralement de l'ordre de 20 mm.
- le temps de montée de la crue type est de l'ordre de 10 à 15 mm pour une averse courte et intense.
- le temps de base de la crue type est de l'ordre de 60 à 90 mm.

La dispersion des valeurs $\frac{Q_{max}}{I_p}$ 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 $Q_{max} 50$ l/s les valeurs $\frac{Q_{max}}{I_p}$ les plus fréquentes sont comprises dans la fourchette 13,0 et 14,0. Les valeurs de 18,5 s'observent pour les crues printanières, celles de 5,0 pour de très grosses et très longues crues.

- Estimation des caractéristiques de la crue-type

La crue type pour une lame ruisselée de 10 mm présenterait les caractéristiques suivantes :

- lame ruisselée : 10 mm
- débit maximum de ruissellement : 140 l/s
- volume de ruissellement : 220 000 litres
- temps de montée : 15 minutes
- temps de base : 90 minutes

Cette crue type est tracée sur la figure n°10. Rappelons qu'elle a été reconstituée à partir des éléments choisis comme représentatifs des crues médianes observées. Il n'est pas exclu que pour une averse intense, et isolée, survenant après un épisode pluvieux, la crue enregistrée présente des temps de montée plus courts de l'ordre de 10 minutes et une forme de crue plus pointue.

2.3.4. Etude analytique sommaire du ruissellement

Il s'agit essentiellement d'une approche qui permettrait de dégager des lois de variation dans le temps du ruissellement tenant compte des facteurs principaux ou secondaires dans le but de pouvoir reconstituer les ruissellements issus des averses de caractéristiques différentes survenant pour des divers états de saturation des sols, d'évolution de la couverture végétale, de variation de l'évapotranspiration.

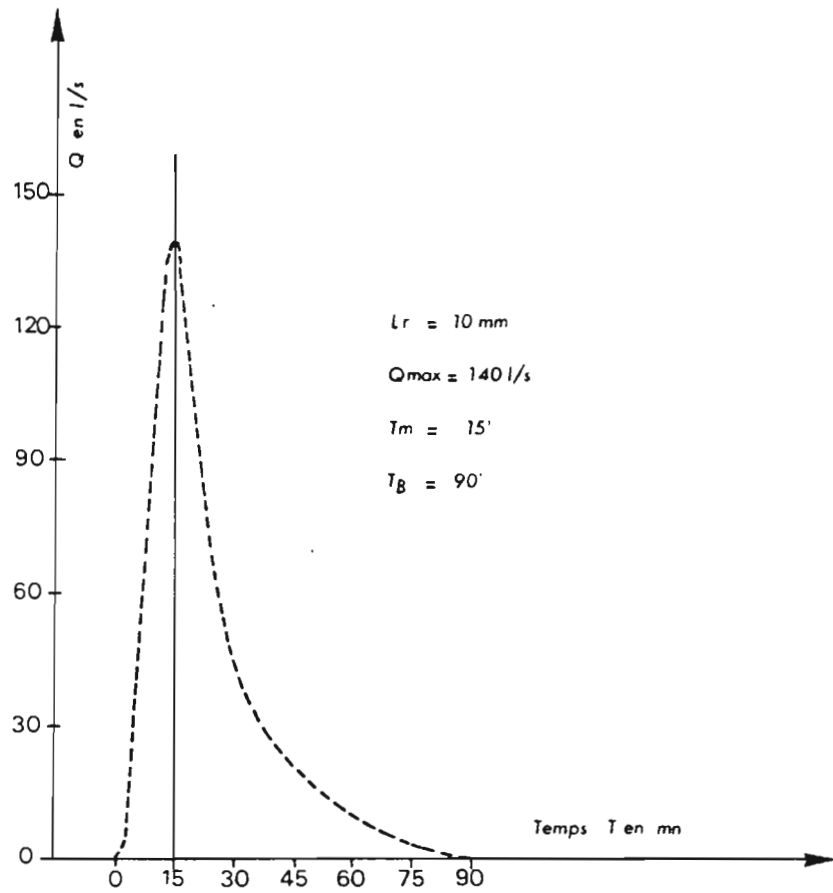
Etant donné l'homogénéité des sols du bassin, du ruissellement en nappe et de la répartition spatiale des intensités des précipitations, nous admettrons que tous les facteurs sont homogènes sur le bassin.

.../...

Fig-10

BASSIN VERSANT DE TELMAM

Estimation de la crue type



- Approche par la capacité d'absorption.

Cette capacité d'absorption moyenne *Cam* représente la partie des précipitations ne participant pas au ruissellement (interception faible ici, humectation de la couche superficielle du sol, infiltration profonde).

A partir du moment où le sol ruisselle, la valeur de la capacité moyenne d'absorption est égale au taux moyen d'infiltration des sols dans les conditions d'humectation alors définies.

Si l'on soumet un sol initialement sec à une précipitation de très forte intensité constante dans le temps, la capacité d'absorption varie très rapidement pour atteindre une valeur constante. Sans ce cas, en mesurant la valeur du ruissellement instantané nous obtenons la variation de cette capacité d'absorption.

Or sur ce bassin, même de petite dimension comme celui-ci nous avons vu que le temps de réponse est de l'ordre de 12 à 20 minutes et le temps de montée de 10 à 15 minutes. Il est donc délicat de vouloir appréhender la variation de la capacité d'absorption dans le temps et l'on doit se contenter d'une valeur moyenne de cette capacité d'absorption sur au moins 15 minutes, ou même comme c'est le cas ici, d'une valeur moyenne sur une durée quelconque (celle de la partie utile de l'averse) (*Cam* est évaluée de telle sorte que la hauteur excédentaire de l'averse corresponde à la lame ruisselée).

Tableau n° 14 : Valeurs particulières de la capacité d'absorption (*cam*) en mm/h

	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77
Im maximum en 5' sans crue	13,2	5,0	8,4	26,4	18,0
<i>Cam</i> maximum	17,5	6,0	16,2	18,2	38,4
<i>Cam</i> médiane	9,0	5,0	10,0	9,5	35,0
<i>Cam</i> minimale	2,0	2,0	3,0	3,0	26,5

- Les valeurs de *Cam* de l'année 1976/77 sont exceptionnellement fortes par rapport à toutes les valeurs des autres années. Pour des valeurs de *ta* et *Dcc* (tableau des caractéristiques de crues), les *Cam* varient de 9,5 à 11,7 mm/h. Ces valeurs élevées de *Cam* en 1976/77 s'expliquent par la présence très importante de litière et plantes mortes (*Fs* = 76 à 42 % sur unité 1) provenant de l'abondante végétation de l'année 1975/76 à forte pluviosité.

.../...

Le triplement de la valeur de la *Cam* a également une répercussion sur la durée de base de la crue. En effet, le ressuyage superficiel du bassin est tronqué par suite d'une infiltration plus marquée des eaux de ruissellement en nappe sur le bassin et ceci dès la fin de la production du ruissellement.

- Les valeurs exceptionnellement faibles de *Cam* au cours de l'année 1973/74 ne s'expliquent que par l'existence d'une pellicule de battance formée lors de la crue exceptionnelle de décembre 1973 (I maximum 144 mm/h) et qui semble s'être progressivement éliminée à la fin du printemps 1974.
- Au cours des années 1972/73 - 1973/74 - 1975/76 nous notons une homogénéité des valeurs maximales, minimales et médianes de la capacité d'absorption.
- Pour ces périodes d'homogénéité relatives des valeurs de la Capacité d'absorption moyenne, nous avons tenté d'exprimer la variation temporelle de la capacité d'absorption, dans la phase d'imbibition du bassin ainsi que dans la phase ressuyage.

Phase d'imbibition : sur les hiétoigrammes des averses ayant ruisselé, nous avons estimé visuellement, compte tenu de la capacité d'absorption au cours du temps. La valeur maximale est de l'ordre de 40 mm/h et la valeur minimale atteinte, environ une heure après le début de la pluie à forte intensité, est de 2 à 3 mm/h. La hauteur d'eau infiltrée ou interceptée pendant une heure atteint 13,5 mm.

Phase de ressuyage : les averses successives des périodes pluvieuses permettent de suivre la variabilité en l'absence de précipitation de la valeur de la capacité d'absorption. Certes la courbe présentée n'est que le résultat lissé d'un ensemble de portions d'éléments de courbes effectivement observées et n'est donné qu'à titre indicatif.

En conclusion : la variation de cette capacité d'absorption approchée dans ce paragraphe est délicate à estimer d'une part dans le cas d'un recouvrement du sol par de la litière et des plantes mortes, et d'autre part, à la suite de la formation d'une pellicule de battance.

Cependant ces éléments permettent une approche en continu de la détermination du ruissellement à partir des intensités pluviométriques.

2.3.5. Détermination de la crue quinquennale et décennale

Dans des conditions médianes, la valeur de la capacité moyenne d'absorption est de l'ordre de 9 mm/h.

Crue quinquennale

La hauteur de la précipitation en 30' est de 15,6 mm.

.../...

La pluie infiltrée étant de 4,5 mm, la lame ruisselée sera de 11,1 mm. Le débit maximal de crue atteindra $11,1 \times 140 = 155$ l/s. Le volume sera de 244 m³

Crue décennale¹⁰

La hauteur de la précipitation en 30' est de 30 mm. La lame ruisselée sera de 26,5 mm, et le débit maximal de la crue décennale sera de $26,5 \times 140 = 371$ l/s. Le volume sera de 583 m³.

La crue annuelle estimée à partir de l'échantillon des crues observées (exceptées celle du 12/12/1973) est de l'ordre de 50 l/s et le volume de l'ordre de 130 m³.

2.4. *L'état hydrique des sols de l'impluvium ; l'évapotranspiration réelle (ETR)*

Au cours de ces cinq années, nous avons suivi régulièrement l'état hydrique des sols de l'impluvium, sur six sites représentatifs.

La périodicité de ces mesures a été de tous les quinze jours entre le début et la fin de la saison des pluies, avec en outre, un prélèvement immédiatement après chaque pluie ayant ruisselé, et de tous les mois durant la saison sèche. Nous avons ainsi, durant une période de cinq années, effectué 118 mesures de l'état hydrique, répartis en fonction des pluies et des saisons.

Nous avons montré au cours d'une publication précédente (BOURGES, FLORET, PONTANIER 1977) que le comportement hydrique de l'ensemble des sols de l'impluvium est identifiable à ceux des unités de sol 3 et 6 et en particulier à celui du site de prélèvements d'humidité du sol n°3 ; ceci ayant été vérifié pour la période 1972 à 1976, nous nous contenterons dans tout ce qui suit de commenter et d'interpréter les résultats de ce site n°3 représentatif de l'ensemble de l'état hydrique moyen de la citerne.

2.4.1. Variations saisonnières des réserves en eau

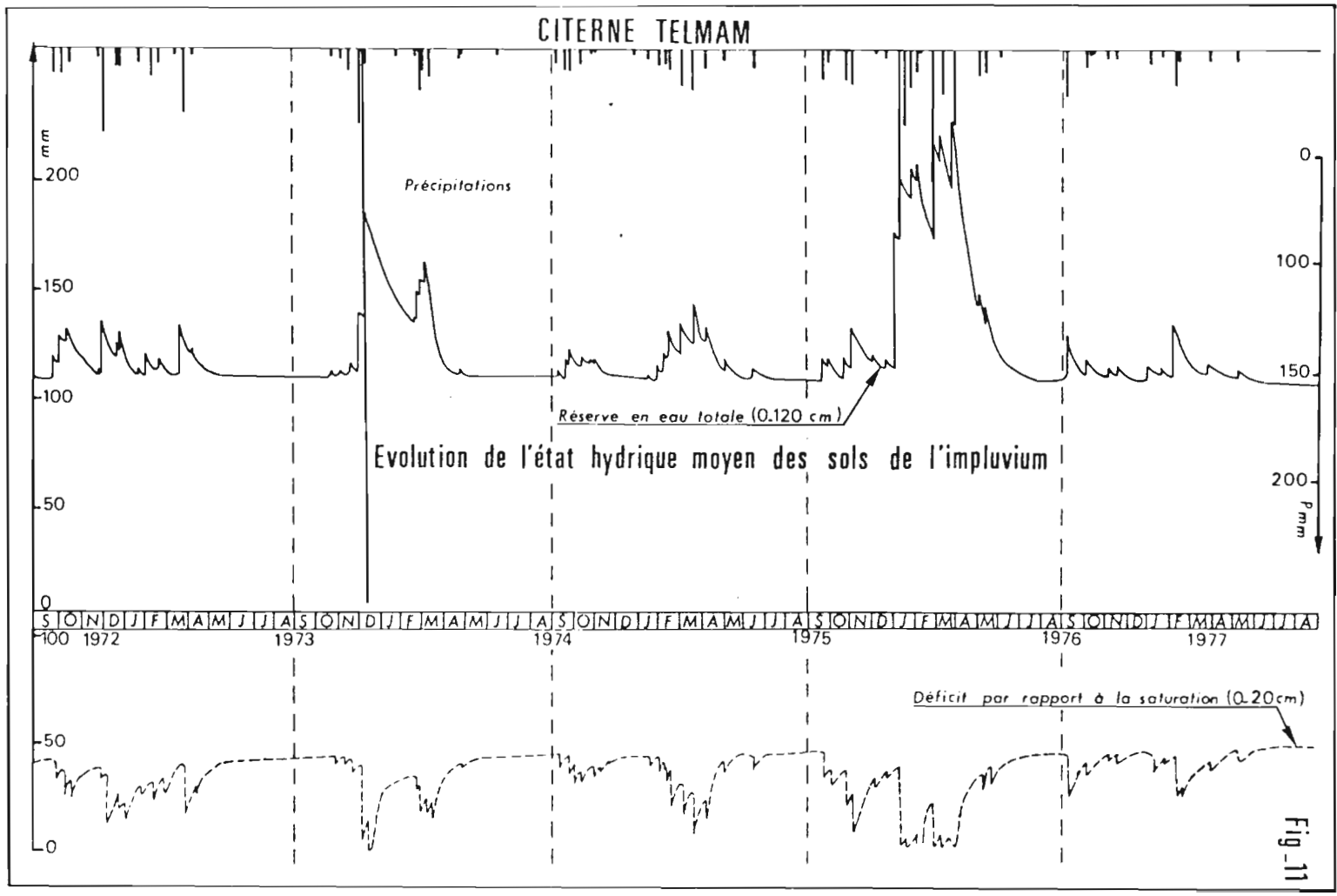
Sur la figure n°11, ont été portés l'évolution des réserves en eau totale des premiers 120 cm ainsi que le déficit par rapport à la capacité au champ (p^F 2,7) des 20 premiers centimètres du sol de l'impluvium.

Dans le tableau n°15, nous avons voulu donner une idée du comportement hydrique global du sol au cours de ces cinq années de mesures.

De ceux-ci, il ressort que

- que les pluies n'ont jamais humecté le sol au-delà de 110 cm, malgré la saison 1975/76 exceptionnellement efficace dans la recharge des réserves en eau du sol (309 mm)

.../...



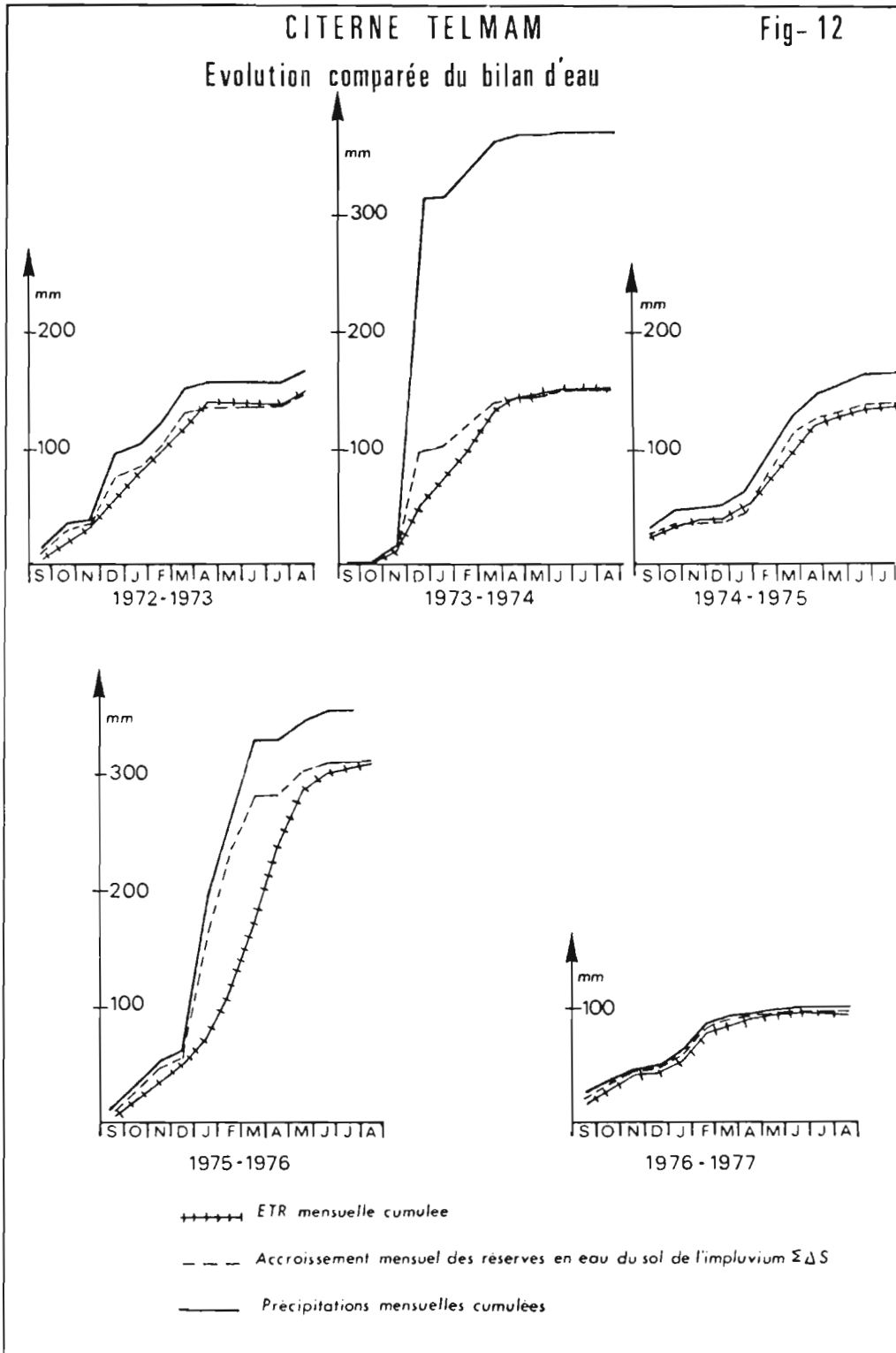


Tableau n°15 : Appréciation globale de l'état hydrique moyen des sols de l'impluvium.

	Précipitations annuelles (mm)		Profondeur maximale humectée (cm)	S (mm)*	S _{max} -S ₀ (mm)	Durée au cours de la saison où le sol est à S ₀ (mois)
	P	P-R				
1972-73	163,7	140,7	60	138,6	30	4
1973-74	371,2	146,7	80	143,5	80	5
1974-75	167,2	138,4	60	136,4	40	5
1975-76	356,3	511,2	110	305,0	126	2,5
1976-77	96,4	94,4	35	95,0	25	6,5

* Somme des accroissements des réserves en eau totale

** Variation maximale observée de la réserve en eau

(R = ruissellement, S₀ = stock d'eau du sol durant la saison sèche).

- quelque soit l'année, il n'y a jamais report d'eau d'une année à l'autre ; le sol revient en général dès le 15 mai à un état hydrique S₀, stable durant toute la saison sèche, représentant de 108 à 110 mm de réserve en eau totale pour une épaisseur de sol de 120 cm.
- Il n'y a globalement sur l'ensemble des sols de la citerne aucune trace de drainage oblique ou vertical (au-delà de 120 cm), puisque le déficit (P-R) mesuré par les techniques hydrologiques est très proche de la somme des accroissements ($\sum \Delta S$) de réserves en eau totale du sol appréciée par la méthode des profils hydriques ;
- La totalité des 20 premiers centimètres du sol atteint rarement la capacité au champ (proche de la saturation), sauf à l'occasion d'évènements exceptionnels (Déc.73 et hiver 76).

2.4.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

Le suivi, durant ces 5 années de mesures, de l'état hydrique des sols nous a permis de déterminer de façon relativement précise l'ETR annuelle, mensuelle et même journalière (par extrapolation).

.../...

2.4.2.1. *ETR* mensuelle et annuelle

Dans le tableau n°16 ont été reportées les valeurs mensuelles de l'*ETR* ; sur les graphiques de la Fig n°12 nous comparons entre les différentes années l'évolution de l'*ETR* mensuelle cumulée, à celles de l'accroissement mensuel cumulé des réserves en eau totale du sol (0-120 cm) et de la pluie mensuelle totale cumulée.

De ceux-ci, il ressort que :

- la totalité de la pluie infiltrée est évapotranspirée à la fin de la saison sèche ;

Tableau n°16 : *ETR* mensuelle de l'impluvium de la citerne TELMAM (en mm)

Saison	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
1972-73	5	17	16	19	19	18	19	18	1	1	0	6	139
1973-74	1	2	10	23	27	26	41	14	1	0	0	0	145
1974-75	25	12	8	2	5	19	24	25	8	8	1	0	137
1975-76	5	20	14	10	25	45	60	65	47	10	5	0	304
1976-77	19	14	11	4	11	19	3	6	6	3	1	0	97

- Les valeurs de $\mathcal{L}'ETR$ mensuelle sont très variables suivant les saisons et les années, ce fait étant lié aux disponibilités en eau du sol et à la quantité de végétation ;
- si l'aire comprise entre $\Sigma \Delta S$ (voisin de $\Sigma(P-R)$ et ΣETR représente les disponibilités en eau à évapotranspirer, le sol a difficilement pu constituer des réserves en 1973/74 et 1974/75, et pratiquement pas en 1976/77, les pluies étant immédiatement reprises par $\mathcal{L}'ETR$; par contre, en 1975/76, les pluies exceptionnelles de l'hiver ont constitué des réserves qui ne se sont épuisées qu'à la mi-juillet.

2.4.2.2. Essai d'estimation de $\mathcal{L}'ETR$ moyenne journalière

Ne disposant pas d'appareil enregistrant en continu les variations de l'humidité du sol, nous avons éprouvé quelques difficultés pour appréhender avec précision les valeurs de $\mathcal{L}'ETR$ journalière. Dans ce qui suit, il s'agira de valeur moyenne d'*ETR* journalière ($\overline{ETR/j}$), calculée sur des pas de temps allant de 8 à 25 jours, si bien que nous n'avons pas pu avoir les "pointes". En outre, si nous pouvons mesurer très précisément $\overline{ETR/j}$ d'un sol en dessèchement, il est très difficile de le faire en période d'humectation. Néanmoins, sur le tableau n°17, nous avons voulu donner une appréciation des maximums saisonniers de $\overline{ETR/j}$ au cours de la période d'observation.

Tableau n° 17 : Maximums saisonniers de l'ETR moyenne journalière.

Année	Saison	Période	P-R(mm) pendant la période	Nombre de jours de pluie pendant la période	Réserves en eau totale du sol (mm) au début de la période (C-120cm)	$\overline{\text{ETR}}/\text{j.}$ (mm/j)
1972-73	Automne	23/10 au 1/11	-	-	128	1,00
	Hiver	6/12 au 27/12	-	-	136	0,55
	Printemps	29/3 au 10/4	-	-	134	1,45
1973-74	Automne	19/11 au 3/12	-	-	117	0,57
	Hiver	21/12 au 29/12	-	-	180	1,10
	Printemps	28/2 au 18/3	36,0	3	148	1,89
1974-75	Automne	23/3 au 8/10	10,0	1	118	0,75
	Hiver	2/2 au 9/2	7,9	1	119	0,58
	Printemps	24/3 au 14/4	10,7	1	139	1,48
1975-76	Automne	27/9 au 17/10	5,1	1	117	0,66
	Hiver	16/1 au 3/2	14,9	1	202	0,86
	Printemps	30/3 au 29/4	-	-	210	2,15
1976-77	Automne	10/9 au 27/9	-	-	127	0,98
	Hiver	10/1 au 30/1	4,3	1	112	0,35
	Printemps	15/2 au 3/3	-	-	130	1,38

On remarque à la lecture de ce tableau que :

- \overline{ETR}/j est variable suivant les saisons et l'année
- pour un même état hydrique initial \overline{ETR}/j est maximale au printemps (pousse de la végétation), minimale en hiver (2 à 3 fois moins), particulièrement en janvier (absence de pousse de la végétation) et intermédiaire en automne.

2.4.2.3. Pouvoir évapotranspirant de l'impluvium de la citerne. K_e

Nous avons vu que pour un même état des réserves en eau, et pour une même distribution de l'eau dans le profil, \overline{ETR}/j est fonction principalement de la saison, et que ses valeurs sont répétitives d'une année à l'autre. Donc si nous voulons caractériser l'évolution saisonnière du pouvoir évapotranspirant de l'impluvium, nous sommes amenés à utiliser \overline{ETR}/j pondérée par un facteur faisant intervenir la réserve en eau du sol (S_i) et l'état hydrique initial (S_0) (en effet nous savons que ETR tend vers zéro lorsque S_i tend vers S_0).

C'est ainsi que nous définissons

$$K_e = \overline{ETR}/j \cdot \frac{1}{S_i - S_0} = \frac{(P-R) - \Sigma \Delta S}{\Delta t} \cdot \frac{1}{S_i - S_0} \quad (\alpha)$$

où ΔS = variation algébrique de la réserve en eau du sol (0 - 120 cm)

($S_{i+1} - S_i$) entre t_i et t_{i+1}

$P-R$ = pluie infiltrée sur l'impluvium entre t_i et t_{i+1}

Δt = nombre de jours entre t_i et t_{i+1}

S_i = réserve en eau totale des 120 premiers cm de sol à

S_0 = réserve en eau totale des 120 premiers cm en saison sèche (108 à 110 mm)

Ce coefficient K_e représente l' \overline{ETR} moyenne journalière par mm de réserves en eau évapotranspirable des premiers 120 cm pour une période considérée. K_e a été calculé 52 fois durant les cinq années de mesures et la figure n°13 nous donne son évolution moyenne annuelle ; les résultats appellent les remarques suivantes :

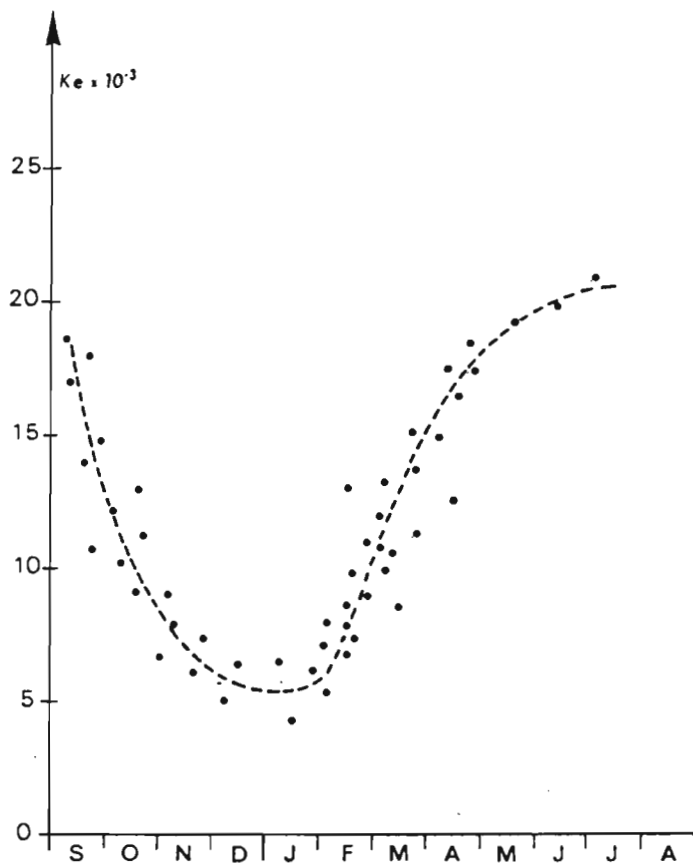
- le pouvoir évapotranspirant des sols et de la végétation de l'impluvium est maximum en juillet et minimum en janvier ;

- la chute est brutale à partir de la fin septembre, et la remontée très forte en février-mars ;

■ K_e est un coefficient déterminé expérimentalement ; il est à utiliser avec prudence, surtout lors des .../... mois d'été en particulier quand S_i tend vers S_0 , le terme $(P-R) \Delta S$ a aussi tendance à tendre vers zéro surtout s'il ne pleut pas, dans ce cas-là, K_e est indéterminé. En outre, une même valeur de K_e ne peut être utilisée sur plus de 10 jours.

Fig- 13

EVOLUTION ANNUELLE DU POUVOIR EVAPOTRANSPIRANT
MOYEN DES SOLS DE L'IMPLUVIUM DE LA CITERNE TELMAM



- pour un même état des réserves de l'impluvium évapotranspirerait 3, 5 à 4 fois plus en juillet qu'en janvier ; à titre d'exemple, pour une sol saturé sur 120 cm, l'ETR moyenne journalière serait de 5,0 mm/j. en juillet et de 1,2 mm/j. en janvier.

2.5. Le bilan d'eau

Pour une période considérée, le bilan d'eau à la surface du sol s'exprime par la relation $P = I + R + e$ (1), alors que durant la même période l'équation du bilan d'eau à l'intérieur du sol est

$$E = I - (\Delta S + Dv + Do) \quad (2)$$

où P = hauteur des précipitations

I = hauteur d'eau infiltrée dans le sol

R = hauteur d'eau ruisselée à la surface du sol

e = évaporation durant les averses et interception de l'eau par la végétation

E = évapotranspiration réelle

ΔS = variation des réserves en eau totale du sol

Dv = drainage vertical

Do = drainage oblique

Les mesures effectuées nous montrent que $Dv = 0$ (contrôle de la tranche sèche), et $Do = 0$ (pente très faible et sol jamais saturé). Par ailleurs, le terme e de la relation (1) peut être négligé, les durées des pluies étant faibles par rapport à la période, et l'interception de l'eau par la végétation insignifiante.

En définitive, pour la période considérée sur le site de la citerne TELMAM, l'équation générale du bilan d'eau peut s'exprimer par la relation :

$$E = (P - R) - \Delta S \quad (3)$$

Comme à l'échelle de l'année, le profil revient approximativement toujours à son état hydrique initial ($\Delta S = 0$), on peut affirmer que la totalité des pluies infiltrées ($P - R$) est reprise par l'évapotranspiration réelle ($P - R$)

$$E = P - R$$

Sur le tableau n° 18, sont portés les différents termes du bilan annuel pour les cinq saisons de mesures ; on a cherché à comparer les deux méthodes de mesures permettant d'apprécier I (hauteur d'eau infiltrée)

$$I = P - R$$

$$I' = \Sigma \Delta S$$

en évaluant l'écart $\Delta B = P - (R + \Sigma \Delta S)$ ainsi que l'écart relatif $\frac{\Delta B}{P}$

P

De ce tableau, il ressort que les deux méthodes conduisent à un bilan sensiblement identique, bien que celle des profils hydriques tend à surestimer légèrement le coefficient de ruissellement (+ 0,7 % pour les cinq années !), ceci étant dû à une intervention généralement un peu tardive après les pluies. Cependant il ne faut pas perdre de vue que, si le bilan boucle bien à l'échelle de l'année, nous avons parfois enregistré, pour une séquence de pluies courte, à des écarts relatifs entre les deux méthodes pouvant atteindre 15 %.

En conclusion, à l'issue de cinq années de mesures, nous pouvons dire que :

- les sols de l'impluvium de la citerne, représentatifs des glacis moyens des séguis, s'humectent peu en profondeur, en raison de leur texture limoneuse, et d'une faible porosité,

- la totalité de l'eau infiltrée est reprise rapidement par l'ETR, et que le sol a des difficultés à constituer des réserves pour les périodes de sécheresse,

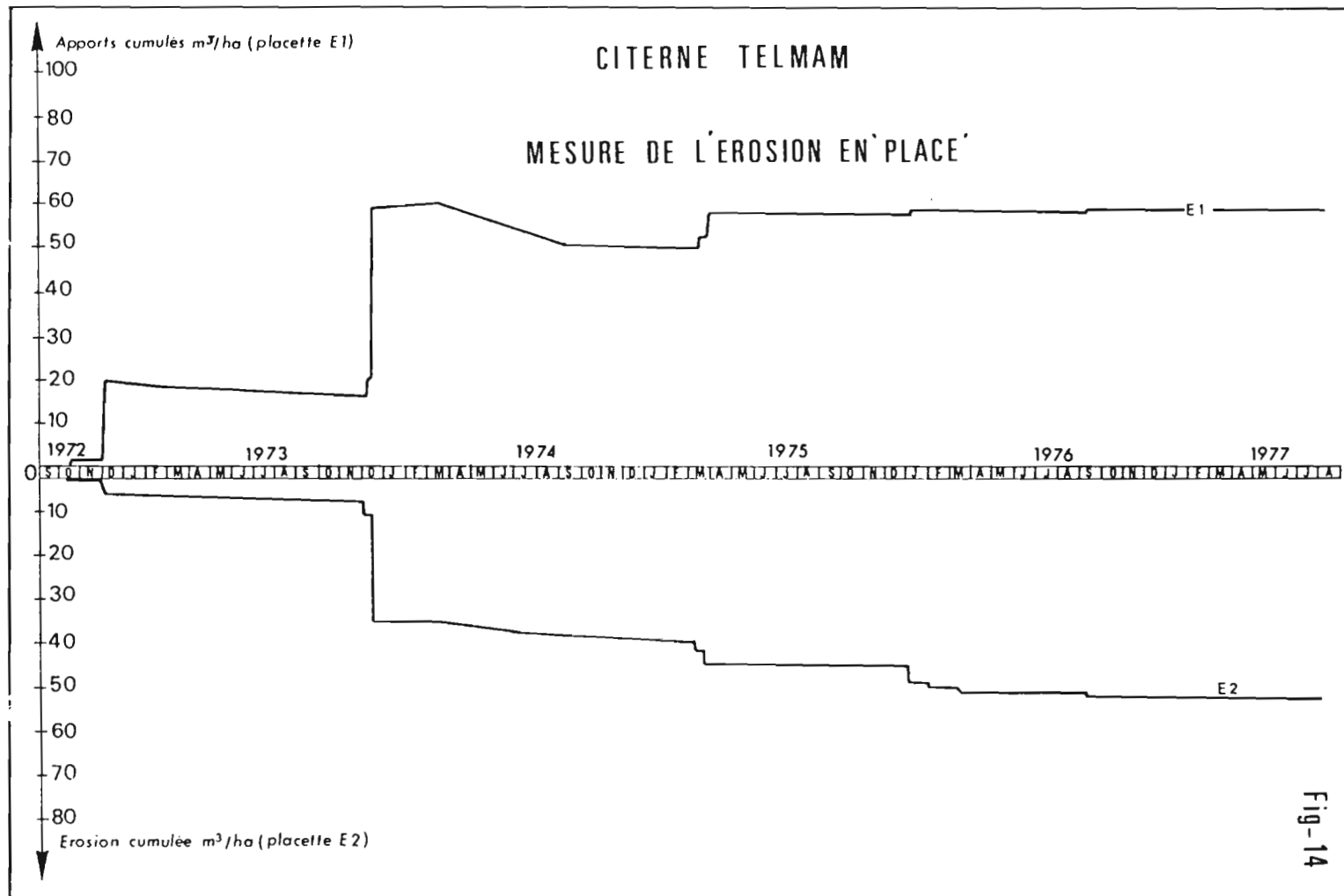
Tableau n°18: Bilans d'eau annuels

	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	Total 5 saisons	Moyenne 5 saisons
P (mm)	163,7	371,2	167,2	356,3	96,4	1154,8	229
R (mm)	23,0	224,5	29,0	49,2	2,4	328,1	65,6
I = P-R (mm)	140,7	146,7	138,2	307,1	94,0	826,7	165,3
I' = $\Sigma \Delta S$ (mm) (0 - 120cm)	138,6	143,5	136,4	305,0	95,0	818,5	163,7
$\Delta S'$ (mm) = $S_{31/8} - S_{1/9}$	+ 0,4	- 1,5	- 0,6	+ 1,0	- 2,0	- 2,7	-
E (mm)	139,0	145,0	137,0	304,0	97,0	822,0	164,4
Kr% = $\frac{R}{P}$	14,0	60,4	17,4	13,8	2,1	28,4	28,4
$1 - \frac{\Sigma \Delta S}{P}$ %	15,3	61,3	18,4	14,4	1,5	29,1	29,1
$\Delta B = P - (R + \Sigma \Delta S)$ (mm)	+ 2,1	+ 3,2	+ 1,8	+ 2,1	- 1,0	+ 8,2	+ 1,6
$\frac{\Delta B}{P}$ %	+ 1,3	+ 0,9	+ 1,1	+ 0,6	- 1,0	+ 0,7	+ 0,7

- le pouvoir évapotranspirant est très supérieur à celui des milieux sableux, en raison d'une forte capillarité (cf. FLORET, PONTANIER 1978)

- il n'y a jamais eu report de l'eau infiltrée d'une année à l'autre.

.../...



2.6. L'érosion

Nous avons utilisé deux méthodes pour essayer de mesurer l'érosion essentiellement en nappe, des sols de l'impluvium de la citerne :

- une méthode directe dite "mesure de l'érosion en place" qui permet sur des sites représentatifs d'évaluer l'ablation spécifique du sol,
- une méthode indirecte dite "mesure des transports solides" qui permet après ablation et transport des matériaux arrachés de mesurer l'érosion globale du bassin de la citerne à son exutoire.

2.6.1. Essai de mesure de l'érosion en place

Entre le 3/10/72 et le 12/8/77, nous avons effectué 31 mesures sur les "placettes à aiguilles" afin d'essayer d'apprécier l'érosion en place.

Les résultats figurent sur le graphique de la figure n°14 ; il apparaît que :

- la placette E1 installée sur l'unité de sol n°4 située à l'aval du bassin marque une forte tendance à l'alluvionnement, du fait du ralentissement des écoulements à l'entrée de la citerne, et ceci après chaque crue importante ; ainsi en cinq ans, ce dépôt représente un alluvionnement spécifique de 8 700t/km².
- la placette E2 installée sur l'unité de sol n°6 s'est au contraire fortement érodée ; cette érosion pour les cinq ans est de l'ordre de 5,3 mm soit une érosion spécifique de 7 950t/km² !

Tableau n°19 : Erosion spécifique de la citerne
TELMAM (Placette 2)
(sur les unités de sol n°3 et 6,
85 % de la surface, pente 1 %)

ANNEE	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77
Pluie annuelle (mm)	163,7	371,2	167,2	356,3	96,4
Nombre de jours de pluie (>1mm)	18	15	24	30	15
Hauteur annuelle de la lame ruisselée (mm)	23,0	224,5	29,0	49,2	2,4
Erosion spécifique (t/km ² /an)	925	4750	1 035	1 175	65
Indice de Wischmeier annuel (Σ R USA)	17,0	310,1	20,6	22,3	11,9

Le tableau n° 19 donne les valeurs de l'érosion spécifique annuelle des unités 2, 3, 5 et 6 représentatives des sols limoneux des seguis ; on remarque que celle-ci est très variable d'une année à l'autre et est en général fonction de la lame d'eau ruissel e et de l'indice de Wischmeier .

Nous noterons en outre que la seule année 1973/74 représente 58,5 % de l'érosion des cinq ans et que la crue du 12/12/73 y contribue à elle seule à 44 %.

2.6.2. Mesure de l'érosion par la méthode des transports solides

Le tableau n° 20 donne le détail des transports solides au cours de ces cinq campagnes.

Tableau n° 20 : Transports solides sur la citerne
TELMAM (Poids sec en kg après
séchage à 105°C)

ANNEE	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77
Curage de la citerne	692 kg		1368 kg	235 kg	34 kg
Charriage du dessableur	204 kg		46 kg	29 kg	
Débordement	95 kg		600 kg	150 kg	0
Total Annuel	991 kg		2014 kg	414 kg	34 kg
Erosion Spécifique en t/km ² /an	45,0		91,5	18,8	1,5
Observations		Destruction du dispositif le 12/12/73			Modification du dispositif

2.6.3. Comparaison des deux méthodes :

Elles sont difficilement comparables :

- la première ne représente que l'érosion ou l'alluvionnement de deux placettes de 16 m², dont la première (E2) est relativement bien représentative de l'érosion affectant l'horizon superficiel des unités de sols 1, 2, 3, 5 et 6 (soit 93 % de la surface de l'impluvium), et la deuxième (E1) est très imparfaitement représentative de l'alluvionnement se produisant dans la partie avale de la citerne (unité 4).

.../...

En particulier, à proximité immédiate de la diguette Sud-Est, on a pu constater des dépôts très importants en provenance de l'amont, ce qui nous permet d'affirmer que nous avons nettement sous-estimé l'alluvionnement dans cette zone.

Dans ces conditions, il nous est pratiquement impossible d'établir un bilan d'érosion à l'échelle du bassin ; par contre, nous estimons que les valeurs données par E2 sont assez proches de la réalité et représentent bien l'érosion d'un moyen glacis de seguí de pente voisine de 1 % et non labouré.

Cependant, si sur une longue période cette méthode est significative, à l'échelle de la crue, elle a ses limites dans la mesure où la lecture des aiguilles se fait à 0,1 mm près, représentant tout de même 150 t/km² !

- la deuxième méthode représente réellement le bilan d'érosion global à l'échelle du bassin de la citerne ; toutefois, compte tenu de la configuration imposée par les limites de l'impluvium, les écoulements et par là même les transports solides et le charriage sont considérablement modifiés par rapport à ce qui se passe en réalité sur l'ensemble du glacis non aménagé : en effet, la majorité des produits de l'érosion des unités 1, 2, 3, 5 et 6 sont déposés devant les diguettes aval du fait du ralentissement des écoulements. En outre cette méthode (plus précise pour l'établissement du bilan d'érosion du bassin), n'a pu être exploitée à fond du fait que nous ne pouvions vidanger après chaque crue la citerne dont l'eau est utilisée par les riverains.

2.6.4. Nature des transports solides :

Les échantillons moyens des transports solides ont été analysés. Le tableau n° 21 donne les principales caractéristiques physico-chimiques des sédiments recueillis dans le compartiment principal de la citerne après chaque campagne. Dans le tableau n° 22, nous donnons à titre d'exemple les analyses de deux échantillons recueillis dans le dessableur situé à l'amont.

On remarque que :

- le dessableur piège la partie la plus grossière des transports solides : 50 % des éléments sont dans la fraction 50-200 μ , alors que dans le bassin principal cette fraction représente sur les cinq ans seulement 15 %, et que dans l'horizon superficiel du sol de l'impluvium elle est de 33 %. Il en est de même pour le refus à 2 mm ;

- l'année 1973/74 présente les transports solides les plus grossiers en raison des fortes crues de décembre ;

- les teneurs en gypse, calcaire et la conductivité sont comparables à celles du sol en place ;

.../...

Tableau n°21: Nature des sédiments du compartiment principal de la citerne
TELHAM (prélèvements effectués au mois d'août chaque année)

ANNEE		72-73	73-74	74-75	75-76	76-77		Horizon moyen de surface du sol(0-10cm)
						5/9/76	15/2/77	
G R A N U L O M E T R I E	0 - 2 μ	39,0	24,0	35,0	33,0	43,0	42,0	25,0
	2 - 20 μ	35,5	33,0	43,0	43,0	32,0	33,0	19,0
	20 - 50 μ	13,0	15,0	12,0	13,0	11,0	11,0	23,0
	50 - 200 μ	9,0	22,0	9,0	10,0	11,0	9,0	30,0
	200 - 2000 μ	1,0	2,0	1,0	1,0	3,0	5,0	3,0
	Refus à 2000 μ	0	1,0	0	0	0	0	0,2
Ca CO ₃ %		18,0	18,0	19,0	17,0	19,0	19,0	19,0
Ca SO ₄ 2H ₂ O %		1,0	0,9	1,0	1,0	traces	traces	1,2
PH		7,7	7,7	8,0	7,9	8,1	8,0	9,1
Conductivité mm hos/cm		3,0	2,8	2,8	3,1	2,7	2,2	2,9
Matière org. %		1,7	1,8	1,8	1,6	1,7	1,9	0,4

Tableau n°22: Nature des sédiments recueillis dans le dessableur
de la citerne TELHAM.

Dates	GRANULOMETRIE %						Ca CO ₃ %	Ca SO ₄ 2H ₂ O %	PH	Conductivité mm hos/cm	Matière organi- que %
	refus à 2mm	0-2 μ	2-20 μ	20-50 μ	50-200 μ	200- 2000 μ					
27/03/73	3,0	23,0	19,0	14,0	39,0	8,0	16,7	0,7	7,6	4,0	2,0
4/12/73	4,5	14,5	10,0	12,0	42,0	5,0	14,3	0,7	7,6	3,8	1,9

- les teneurs en matière organique des transports solides sont très importantes (1,6 à 2 % contre 0,4 % dans le sol en place), et c'est peut être là le principal résultat. En effet, lorsque l'on sait que le principal défaut de ces sols est leur pauvreté en matière organique, on est alors obligé de constater que le premier méfait de l'érosion se traduit par un "écrémage" de la matière organique dans les premiers millimètres. D'où l'intérêt de piéger d'une façon ou d'une autre ces transports solides relativement fertiles afin de les mettre en valeur.

2.7. L'évolution du recouvrement de la végétation sur l'impluvium

Entre le 11 octobre 1972 et le 28 février 1978, 12 mesures de fréquence spécifique (cf. § 155) ont été effectuées sur les trois lignes implantées sur les unités de végétation 1 et 2 (cf. fig n°4 et 5). Les résultats apparaissent dans les tableaux n° 23 et 24.

En ce qui concerne les plantes annuelles et bisannuelles, il n'est pas évident que la mise en défense ait amené un développement important. Dans l'unité 1, le couvert des plantes annuelles reste faible et inférieur à 20 %, sauf durant l'année exceptionnelle de 1976. Dans l'unité 2, la somme des fréquences spécifiques est d'environ 60 % en moyenne. Pour l'ensemble du bassin versant de la citerne, la somme des fréquences spécifiques reste inférieure à 40 % en général, mais a dû atteindre 100 % en 1976.

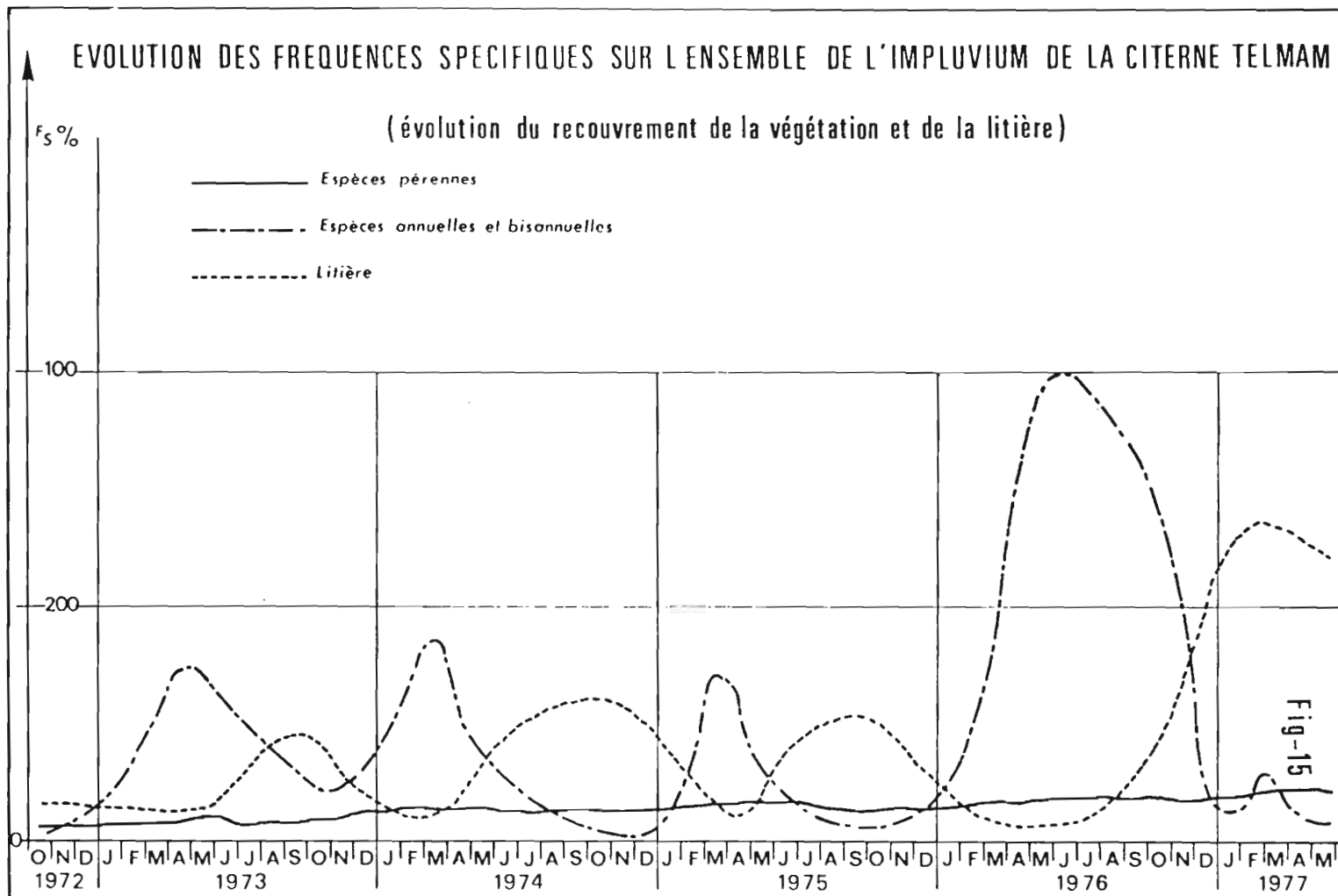
La pousse des annuelles reste donc très tributaire des pluies de l'année. Il faut remarquer la rapidité de cette pousse après les pluies (cycle végétatif très court). Cette végétation est à son maximum en général dès le début du printemps, sèche rapidement sur pied et peut tomber sous forme de litière à la surface du sol si les conditions atmosphériques s'y prêtent (vent de sable).

Les principales espèces annuelles sont *Stipa retorta* et *Plantago ovata*, mais leur développement respectif est très variable selon la pluviosité et la répartition des pluies de l'année. Il y a des "années à Plantago" et des "années à Stipa".

D'une façon générale, les individus sont de petite taille et ne doivent pas intercepter la pluie de façon notable. En revanche, ces nombreuses annuelles, malgré un recouvrement basal insignifiant, favorisent certainement l'infiltration de l'eau en brisant la pellicule de battance durant la période de pousse. Une pellicule presque continue peut ensuite se réformer, même s'il subsiste des annuelles sèches sur pied.

La litière est presque deux fois plus importante dans l'unité 2 que dans l'unité 1. Son évolution est assez régulière, avec un maximum à la fin de l'été et un minimum au printemps. Elle contribue certainement à gêner le ruissellement, surtout à partir de l'été 1976 ; en 1977, les restes des quantités accumulées en 1976 sont encore très abondants. ce report d'une année sur l'autre est assez exceptionnel en zone aride.

.../...



Le couvert des espèces pérennes a un peu augmenté au cours des années de mesure, mais reste faible. Il est passé d'environ 3 % à 10 % entre 1972 et 1978 sur l'ensemble du bassin versant. Il varie peu durant l'année. *Arthrophytum scoparium* est l'espèce pérenne qui a le plus bénéficié de la mise en défense.

Il faut remarquer qu'il n'y a pas apparition d'espèces nouvelles, sans doute faute de porte-graines dans le voisinage immédiat. En particulier, *Artemisia herba-alba* reste absente et il a donc peu de chance que la steppe originelle d'Armoise blanche, à bonne valeur pastorale, se reconstitue par simple protection dans un laps de temps raisonnable ; ce faciès post-cultural à *Arthrophytum scoparium* montre donc une dynamique de régénération faible.

Extrapolation des résultats à l'ensemble du bassin versant

La figure n°15 représente l'évolution supposée sur l'ensemble de l'impluvium de la somme des fréquences spécifiques des pérennes, des annuelles et de la litière au cours des années de mesure. L'extrapolation entre les dates de mesure tient compte de la quantité et de la date des pluies, ainsi que d'observations phénologiques hebdomadaires effectuées durant certaines périodes.

Pour obtenir ces courbes d'évolution des *FS* sur l'ensemble du bassin versant, on a pondéré les résultats obtenus pour les unités n°1 et 2 compte tenu des surfaces qu'elles occupent sur ce bassin, soit respectivement 60% et 32 % environ. Les 8 % restants correspondent aux unités n° 3 et 4, qui n'ont pas fait l'objet de mesures mais qui ont un bon couvert d'annuelles au printemps ; ils ont donc été ajoutés aux 32 % de l'unité n°2.

Essai d'évaluation d'un indice de recouvrement de la surface du sol par la végétation et la litière

L'influence de la végétation sur le ruissellement est liée d'une part à l'interception de la pluie, et d'autre part à un rôle d'obstacle à l'écoulement.

Dans le cas de la citerne Telmam, le rôle d'interception de pluie peut être considéré comme négligeable compte tenu de la faible hauteur et du faible couvert de la partie aérienne des plantes présentes.

En revanche les espèces annuelles en rosette ou prostrées au moins pendant une période de l'année, la litière durant toute l'année, ont un effet de ralentissement de l'écoulement et favorisent l'infiltration.

En l'absence de mesures précises de recouvrement de la végétation à la surface du sol, on a cherché à évaluer ce recouvrement sur la base des fréquences spécifiques réellement mesurées, mais pondérées par un coefficient qui tient compte d'observations sur la morphologie et la phénologie des espèces au cours de l'année.

.../...

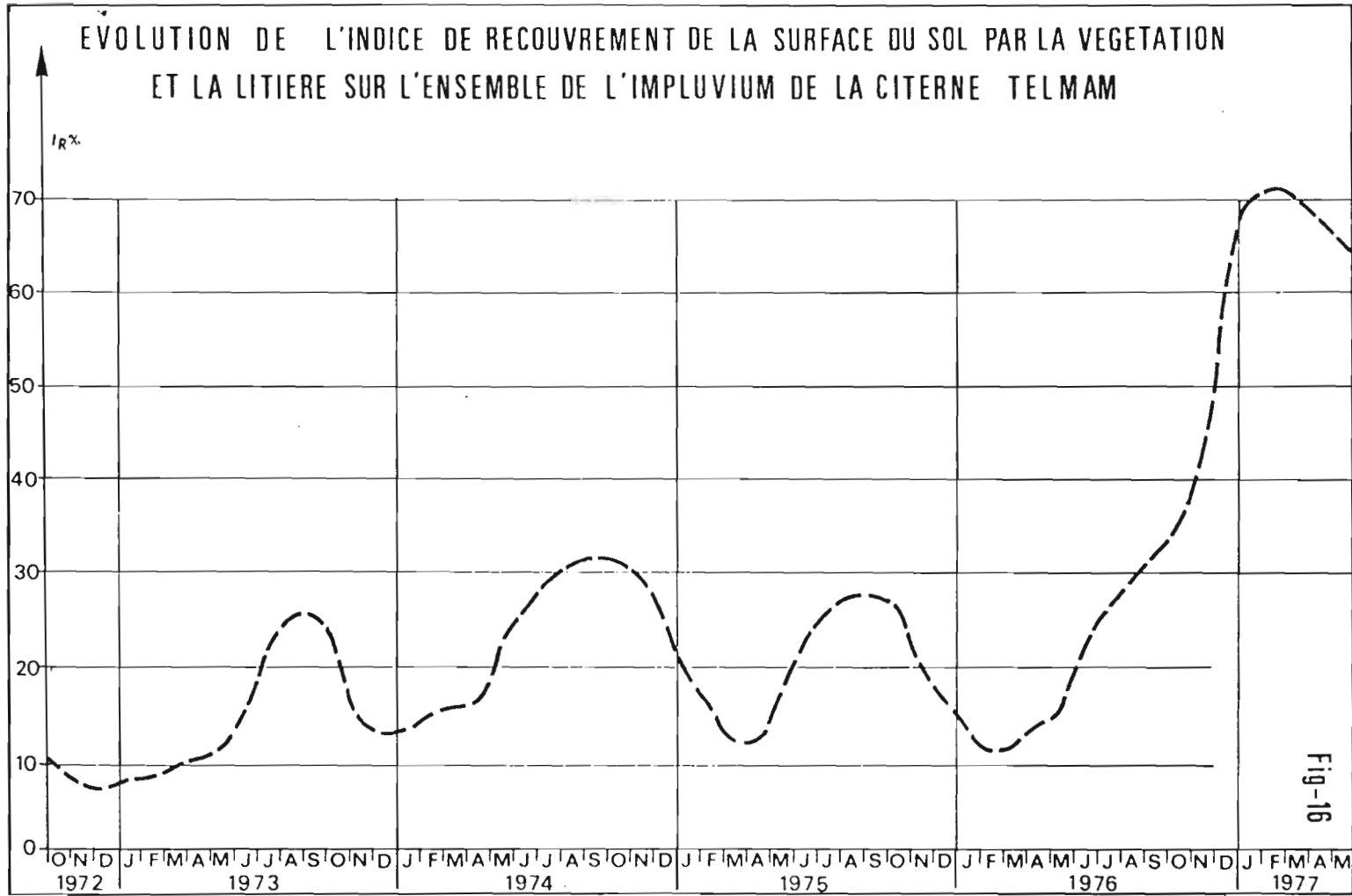


Fig-16

Tableau n°23 : Evolution de la fréquence spécifique (FS %) dans l'unité de végétation n°1 (mise en défens en 1972)

ESPECES	1972	1973			1974			1975		1976		1977	1978
	11 OCT	19 MARS	14 NOV	15 MARS	23 AVR	10 DEC	7 MAI	30 OCT	5 MARS	27 OCT	4 AVR	28 FEV	
ARTHROPHYTUM SCOPARIUM	3,1	5,3	6,6	6,7	6,3	6,5	9,9	8,3	8,9	13,3	15,9	13,0	
MORICANDIA ARVENSIS SSP SUFFRUTICOSA	0,5	2,7	1,6	3,1	3,2	1,2	3,3	1,3	4,4	5,3	4,4	5,3	
Total PERENNES	3,6	8,0	8,2	8,8	8,5	7,7	13,2	9,6	13,3	18,6	20,3	18,5	
PLANTULES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,9	-	-	
PLANTAGO OVATA	-	0,7	-	3,2	1,5	-	0,2	0,2	-	-	-	0,8	
ANACYCLUS CYRTOLOPIDIOIDES	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	0,5	0,7	0,3	
VOLUTARIA LIPPPII	-	-	-	3,8	1,0	-	-	-	0,8	-	-	2,7	
FILAGO GERMANICA	-	-	-	2,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	
SCHISMUS BARBATUS SSP CALYGINUS	-	0,2	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	
TRIGONELLA SSP	-	-	-	0,5	-	-	0,2	-	-	-	-	0,9	
STIPA RETORTA	-	0,7	-	-	0,7	-	1,9	-	2,1	-	10,5	28,9	
PTERANTEUS DICHOTOMUS	-	-	-	1,1	-	-	-	-	0,9	-	-	-	
MAREZIA NANA	-	2,1	-	-	2,3	-	-	-	-	-	-	4,1	
CHRYSANTHEMUM CORONARIUM	-	-	-	0,3	0,5	-	-	-	-	-	-	0,9	
NASTURSIOPSIS CORONDIPIFOLIA	-	14,3	-	5,0	3,0	-	0,6	-	0,5	-	-	-	
MALVA AEGYPTIACA	-	1,0	-	0,2	2,1	-	-	-	-	-	-	0,3	
SPERGULARIA SSP	-	0,2	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	
ASPHODELUS TENUIFOLIO- SUS	-	-	-	0,3	0,5	-	-	-	8,0	-	-	-	
ANTEMIS PEDUNCULATA	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	
ANNUELLES SECHES	-	-	7,2	-	-	-	-	-	-	69,5	-	-	
ERODIUM GLAUCOPHYLLUM	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	
BRACHYPODIUM DISTACHYUM	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	-	2,5	-	
MESEMBRYANTHEMUM CRISTALLINUM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0	
TOTAL ANNUELLES ET BISANNUELLES	-	18,6	-	18,2	12,5	-	0,9	0,2	13,9	-	13,0	41,9	
LITIERE & PLANTES MORTES	0,5	4,0	11,3	5,3	3,3	4,7	4,6	2,8	1,8	76,7	59,7	42,7	
TOTAL	4,1	31,3	29,5	33,3	25,3	12,9	21,2	12,0	28,9	97,2	95,5	103,1	
TOTAL moins litiere et annuelles sèches	3,6	27,3	22,2	28,0	22,0	8,2	16,5	5,8	27,1	20,5	33,8	60,4	

Tableau n° 24 : Evolution de la fréquence spécifique (FS %) dans l'unité de végétation n°2 (mise en défens en 1972)

ESPECES	1972	1973			1974			1975		1976		1977	1978
	11 OCT	19 FEV	14 NOV	15 MARS	23 AVR	10 DEC	7 MAI	30 OCT	5 MARS	27 OCT	4 AVR	28 FEV	
ARTHEROPHYTUM SCOPARIUM	12,2	14,4	13,4	18,4	18,0	19,6	20,3	15,4	19,4	21,6	25,9	21,8	
MORICANDIA ARVENSIS SSP SUFFRUTICOSA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CYNODON DACTYLON	0,3	-	-	-	-	-	-	0,6	0,3	2,5	1,3	2,5	
TOTAL PERENNES	12,5	14,4	13,4	18,4	18,0	19,6	20,3	20,0	19,7	24,1	27,7	24,3	
PLANTAGO OVATA	-	29,1	-	29,3	17,5	-	-	-	3,4	-	-	0,3	
ANACYCLUS CYRTOLEPIDIOI- DES	-	-	-	3,0	2,5	-	-	-	3,4	-	-	9,1	
VOLEUCARIA LIPPII	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	-	-	
FILAGO GERMANICA	-	-	-	2,1	-	-	-	-	-	-	-	1,5	
SCHISMUS BARBATUS SSP CALYCINUS	-	2,2	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	
TRIGONELLA SSP	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-	1,5	
STIPA RETORTA	-	9,1	-	25,3	15,0	-	34,7	-	44,4	-	6,3	40,3	
PIERANTHOS DICOTOMUS	-	-	-	0,6	-	-	-	-	3,1	-	-	-	
CHRYSANTHEMUM CORONARIUM	-	-	-	2,5	-	-	-	-	2,5	-	-	8,4	
NASTURSIOPSIS CORONOPFOLIA	-	-	-	3,0	2,5	-	-	-	0,9	-	-	-	
MALVA AEGYPTICA	-	3,4	-	4,3	0,6	-	0,6	-	1,2	-	-	0,6	
ASPEDELUS TENUFOLIOSUS	-	1,0	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	
ANTHEMIS PEDUNCULATA	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	0,3	
ASTRAGALUS CRUCIATUS	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	
ATRACTYLIS FLAVA	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	
VICIA SSP	0,6	-	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	
MATRICARIA AUREA	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	
PLANTES MORTES	-	-	23,1	-	-	-	-	-	-	76,9	-	-	
PLANTULES	5,0	-	-	-	-	-	-	9,1	2,5	-	-	0,3	
MESEMRYANTHEMUM CAESTALLINUM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8	
ASTERIS CUS PYGMAEUS	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,3	-	0,6	
TOTAL ANNUELLES ET BISANNUELLES	5,6	44,8	-	74,5	39,9	-	35,3	9,1	63,6	-	6,3	64,7	
LITIÈRES & PLANTES MORTES	20,0	8,4	47,5	13,0	7,5	60,3	11,3	56,6	11,3	111,0	75,9	43,7	
TOTAL	38,1	67,6	37,8	105,9	65,4	79,9	56,9	85,7	96,7	104,7	110,1	132,7	
TOTAL moins litière et annuelles sèches	18,1	59,2	13,4	92,9	57,9	19,6	55,6	29,1	85,4	24,4	35,0	89,0	

En ce qui concerne la litière, la *FS* mesurée est évidemment égale à son recouvrement à la surface du sol.

On a donc défini un indice global de recouvrement (I_r) de la surface du sol par la végétation et la litière de la façon suivante :

$$I_r = I_{rp} + I_{ra} + I_{rl}$$

I_{rp} = Indice de recouvrement basal des pérennes
= $FSp \times 0,05$ (identique toute l'année)

I_{ra} = Indice de recouvrement des annuelles à la surface du sol
= $FSa \times 0,1$ (pendant les mois de production, en avril, Février, mars, avril, mai où les annuelles ont un port plutôt érigé)
= $FSa \times 0,2$ (pendant les autres mois où les annuelles souvent sèches, ont un port plutôt prostré)

I_{rl} = Indice de recouvrement de la litière

avec $FSp = FSL \times 1,0$
 FSp = Fréquences spécifiques des espèces pérennes

FSa = fréquences spécifiques des espèces annuelles

FSL = fréquences spécifiques de la litière

Son évolution au cours des années d'observation apparaît sur la figure 16

3. FACTEURS DU RUISSELLEMENT DE L'EROSION

3.1. *Facteurs conditionnels du ruisselle- ment*

La lame ruisselée hr est la partie de la hauteur de précipitation P_m d'une averse donnée parvenant à l'exutoire du bassin par ruissellement pur.

Le déficit de ruissellement D est la partie complémentaire de la hauteur de la précipitation qui s'est infiltrée ou a été retenue par les couches superficielles du sol.

D est fonction d'un grand nombre de facteurs les uns propres au bassin versant, les autres dépendant du climat et de ses variations.

3.1.1. Facteurs propres au bassin versant

Il est des facteurs fixes tels que : relief du bassin, distribution des pentes, caractéristiques des sols.

Les facteurs variables sont :

- a) couverture végétale : au cours de la saison des pluies le développement de la végétation annuelle intervient sur le ruissellement de diverses façons :
- interception variable au niveau des plantes n'excédant pas un millimètre de hauteur d'eau en général mais pouvant atteindre plusieurs millimètres lorsque les plantes sont desséchées et reposent sur le sol;
 - augmentation de l'infiltration par réduction du phénomène de battance des sols (diminution de l'énergie cinétique des gouttes de pluie);
 - augmentation de l'infiltration par suite de l'accroissement du recouvrement du sol par la litière et des plantes mortes;
 - freinage de ruissellement au niveau du sol.

Ces cinq phénomènes favorisent l'évapotranspiration et accroissent de manière sensible le déficit de ruissellement.

- b) utilisation du sol

Mise en défens (jachère prolongée, protection contre le passage des animaux). La mise en défens tend à diminuer le ruissellement sur les zones parcours, mais tend à l'augmenter dans les zones qui étaient auparavant labourées régulièrement. .../...

3.1.2. Facteurs relatifs au climat (distribution des précipitations dans le temps, variation du pouvoir évaporant de l'atmosphère)

- Facteurs fixes : le pouvoir évaporant de l'atmosphère présente une variabilité cyclique accentuée au cours de l'année (maximum 12 mm, minimum 2,5 mm) relativement constante d'une année sur l'autre. Par suite sur de courtes périodes, le pouvoir évaporant de l'atmosphère est modulé selon le type de temps (perturbations atmosphériques en particulier).
- Facteurs variables : la distribution des précipitations journalières dans le temps engendre des variations importantes de l'état de saturation du sol.

Les caractéristiques mêmes des intensités des précipitations sur de courts pas de temps influencent directement l'aptitude au ruissellement du bassin.

3.1.3. Facteurs variables mais indirects liés à l'état de saturation du sol

L'état de saturation du sol en surface joue le rôle d'intégrateur des actions précédemment définies (pouvoir évaporant de l'atmosphère, évapotranspiration de la végétation, successions des précipitations dans le temps, infiltration en profondeur dans le sol).

3.2. *Facteurs conditionnels de l'érosion*

Deux conditions sont essentielles pour observer un transport solide à l'issue d'un bassin versant de petite taille :

- une forte intensité des précipitations
- un ruissellement capable de transporter les éléments mis en mouvement localement.

Les mesures des transports solides dans la citerne étant impossibles pour chaque crue individualisée, aucun développement de l'étude n'a pu être tenté.

3.3. *Analyse des facteurs de ruissellement*

Le tableau en annexe 2 présente pour chaque averse les caractéristiques suivantes :

- n° d'ordre
- date de l'évènement
- P_m = pluie moyenne sur le bassin (en mm)
- I_m = intensité moyenne (en mm/h) de l'averse
($I_m = \frac{P_m}{T}$, T durée totale de l'averse)

.../...

- $I_{max\ 5'}$ = intensité maximale de l'averse en 5 mm
(en mm/h)
- $I_{max\ 15'}$ = intensité maximale de l'averse en 15 mm
(en mm/h)
- K_r en% = coefficient de ruissellement de l'averse
en pourcentage
- DDC = déficit de saturation en eau exprimé en
mm des vingt premiers centimètres du sol
- I_z % = indice de recouvrement du sol en pourcentage
- T_a = intervalle en heure à la précédente averse
en heures

L'ensemble de ces données ont été traitées par un programme de régression multiple (Méthode STEPWISE)

Les coefficients de corrélation simple entre le coefficient de ruissellement (K_r) et les autres facteurs varient de - 0,33 à 0,87 et sont :

Intensité en 15 minutes = 0,87

Intensité en 5 minutes = 0,85

Pluie moyenne averse = 0,73

Intensité moyenne averse = 0,68

Déficit de saturation du sol (20 cm) = - 0,33

Temps antérieur = - 0,27

Indice de recouvrement = - 0,13

Le coefficient de corrélation multiple maximum obtenu à partir des trois variables sélectionnées (intensité en 15 minutes, $I_{max\ 15'}$; déficit en eau des vingt premiers centimètres du sol, DDC ; indice de recouvrement, I_z) atteint 0,896, d'où les équations de régressions successives :

$$(1) K_r = 0,923 I_{max\ 15'} - 2,6 \quad (r = 0,872)$$

$$(2) K_r = 0,89 I_{max\ 15'} - 2,03 DDC + 57,8 (r = 0,890)$$

$$(3) K_r = 0,90 I_{max\ 15'} - 1,59 DDC - 0,11 (r = 0,896) \\ I_z + 65$$

où K_r et I_r en %, DDC en 1/10 mm, $I_{max\ 15'}$ en 1/10mm/h

Ces équations ne sont valables que pour la gamme des valeurs observées

$$I_{15} < 106 \text{ mm/h} ; DDC < 40 \text{ mm} ; I_z < 69 \%$$

Cette étude met en évidence l'influence de l'intensité en 15' de l'averse, du déficit en eau du sol et de l'indice
.../...

de recouvrement. Cependant l'exploitation des valeurs paramétriques de ces régressions doit se faire avec beaucoup de précautions.

L'écart type résiduel sur le Kr est de 6,7 %.

3.4. *Modélisation*

Etant donné l'importance des intensités pluviométriques en 15 minutes dans la détermination des lames ruisselées sur le bassin versant de la citerne du TELMAM, il a été développé un outil mathématique susceptible de fournir la chronologie des apports d'eau de ruissellement à partir des informations pluviographiques longue durée dont on dispose dans la région de GABES.

3.4.1. Présentation du modèle

Le programme de calcul des lames ruisselées à partir des relevés pluviographiques intégraux (RPI) se compose de trois parties essentielles qui en réalité sont imbriquées.

La première partie a trait à la lecture des R.P.I. et à la détermination, pour un pas de temps constant préchoisi, de la hauteur de la précipitation au cours de ce pas de temps.

La seconde partie constitue le modèle de simulation. Ce dernier est basé sur les notions de temps antérieur à l'averse, de pluie d'imbitation, de taux d'infiltration variable à chaque pas de temps selon un ensemble de lois définies par les études de synthèse sur bassins versants représentatifs.

Cette seconde partie fournit le contenu en eau du sol mais peut aisément être modifiable et interchangeable selon le degré d'avancement des études expérimentales sur le terrain (par exemple grâce à cette synthèse).

La troisième partie traite du prélèvement sur le réservoir sol de l'eau destinée à l'évapotranspiration du couvert végétal.

La figure n°17 présente l'organigramme du calcul de lame élémentaire du ruissellement.

3.4.2. Résultats des essais de simulation

Les informations pluviographiques obtenues sur le bassin de la Citerne TELMAM sous forme de R.P.I. pour les années 1972 à 1976 ont été utilisées lors des essais du modèle.

A l'échelle annuelle les résultats sont satisfaisants pour les cinq années. Notons en particulier l'effet de la non prise en compte dans le modèle du recouvrement important du sol par une litière à la fin de l'année 1976.

.../...

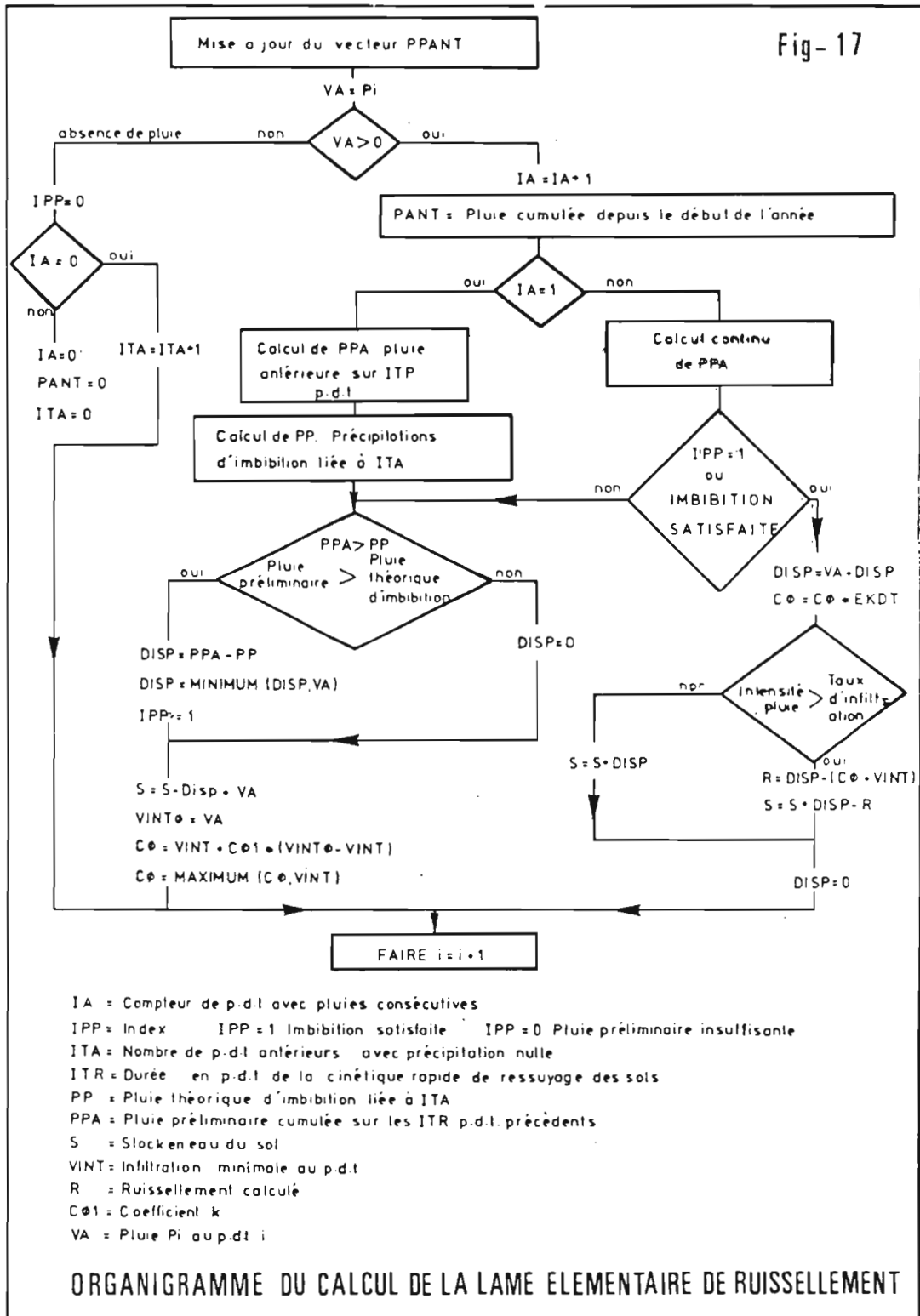


Tableau n° 25

ANNEE	PLUIE (mm)	LAME RUISSELEE (mm)	
		observée	calculée
1972	89,0	18,8	14,0
1973	362,2	221,1	220,9
1974	92,0	23,1	17,1
1975	164,0	18,0	24,7
1976	309,0	46,5	81,1

A l'échelle de l'averse on note que dans 25 % des cas l'erreur sur le volume est supérieur à 100 % mais l'écart maximal n'est que de 10 mm.

Tableau n° 26

DATE	PLUIE (mm)	LAME RUISSELEE (mm)	
		observée	calculée
4/12/72	24,6	13,5	9,4
5/12/72	39,7	14,5	9,5
27/3/73	29,4	3,9	5,6
4/12/73	35,1	5,8	4,7
12/12/73	256,0	211,1	210,4
27/3/76	34,1	1,21	2,6

La figure n° 18 présente les résultats obtenus pour la simulation de la lame ruisselée sur le bassin versant du TELMAM, à l'échelle de l'averse.

3.4.3. Phase extension des données

Avant la phase extension qui demande une étude critique de la documentation pluviographique saisie, une phase de contrôle a été réalisée pour l'ensemble des stations pluviographiques environnantes situées sur l'ensemble des bassins versants représentatifs du Sud Tunisien (1972 à 1977).

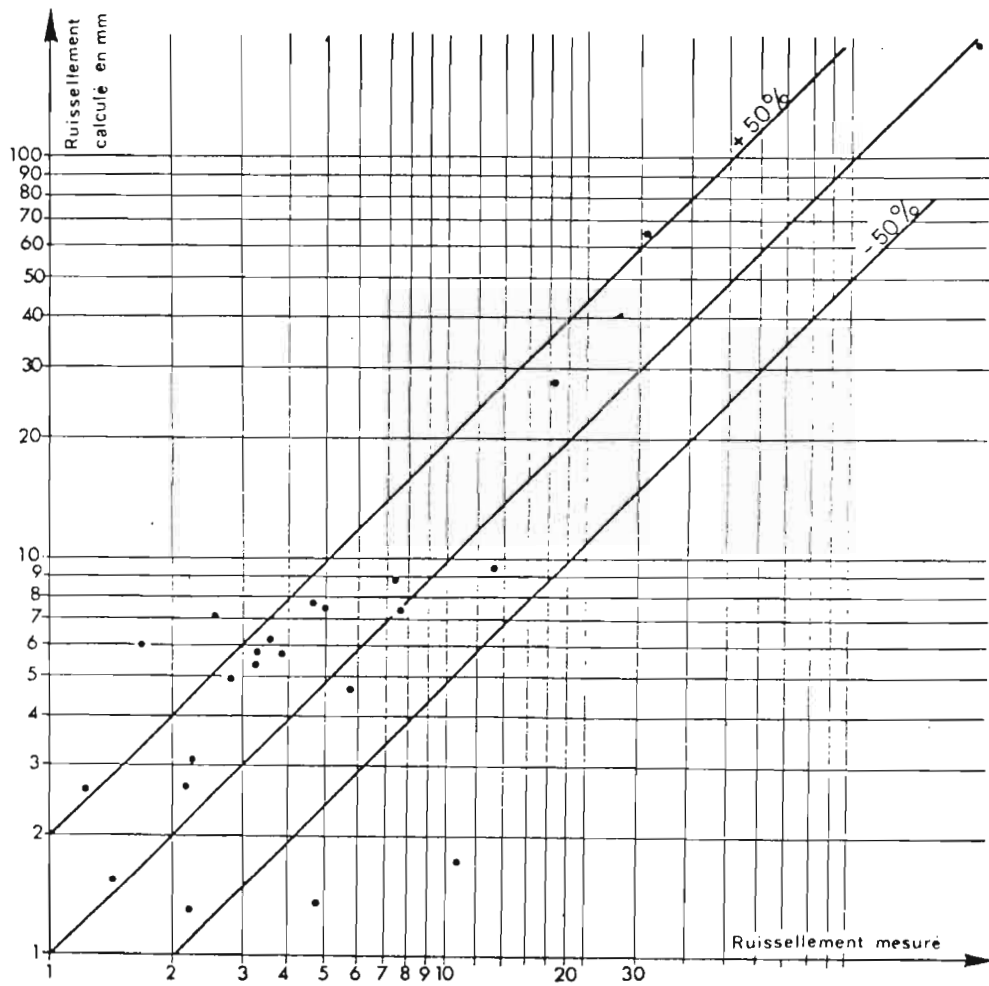
Les résultats obtenus présentent des écarts sensiblement plus faibles. Le produit attendu de ce modèle est la chronologie des apports journaliers et annuels sur ce bassin

.../...

MICRO-BASSIN TELMAM

Fig- 18

Résultats de la simulation des lames ruisselées pour quelques averses



à l'aide des 28 années d'observations pluviographiques ainsi que la chronologie des contenus en eau dans le sol au début et à la fin de chaque épisode pluvieux. L'étude des maximums de crue du bassin est envisageable à partir des éléments obtenus au cours des phases de calcul du modèle.

Transposabilité des modèles

L'extension des séries hydrologiques à partir des séries pluviographiques est une des applications réellement importante des modèles d'apport hydrologiques mais elle exige des mesures hydrométéorologiques intensives sur ces bassins représentatifs et une information pluviographique de base dépourvue d'anomalie sur une longue période.

La transposabilité des modèles sur des bassins régionaux n'ayant fait l'objet d'aucune mesure hydrométéorologique pose à l'heure actuelle de sérieuses difficultés de quantification des paramètres utilisés liés à la perméabilité du sol et du sous-sol du bassin, à l'amplitude de variation annuelle du stock en eau des sols (fonction du couvert végétal), à la superficie du bassin réellement actif et à la pente de celui-ci.

L'étude sur le terrain de la caractérisation des facteurs conditionnels de l'écoulement devient nécessaire après consultation des cartes existantes (topographiques, géologiques, pédologiques, géomorphologiques et de végétation) ou des photographies aériennes.

Pour l'application du modèle d'accord à court pas de temps, la détermination de la pluie d'imbibition en fonction : du temps antérieur sans pluie, de la capacité d'infiltration minimale, de la fraction du bassin recouverte de litière et de plantes basses et de la valeur du ressuyage rapide, demande une étude détaillée du terrain et l'utilisation d'un appareil susceptible de fournir ces indications dans un temps minimum. Nous nous engageons dans cette voie en construisant un minisimulateur de pluie, et en comptant l'expérimenter sur les bassins versants représentatifs étudiés de Tunisie.

3.5. *Analyse des facteurs de l'érosion*

La méthode des transports solides n'ayant pas donné satisfaction, on a essayé de trouver quelques relations entre l'érosion annuelle mesurée sur la placette E₂, représentative d'environ 85 % de l'impluvium les caractéristiques de la pluviosité annuelle, et la lame ruisselée annuellement ; les plus significatives sont les suivantes :

$$(1) E = 909,1 \log hr - 270,9 \quad (r = 0,995)$$

$$(2) E = 3333 \log hr - 3060 \quad (r = 0,875)$$

$$(3) E = 3207 \log RUSA - 3195 \quad (r = 0,997)$$

.../...

ou E = érosion en tonnes/km²/an d'un glacis limoneux de pente 1 à 2 %, mis en défens ; faible couvert végétal pérenne 5 à 10 %

h_r = lame d'eau ruisselée en mm/an

RUSA = indice de Wischmeier annuel

Notons que dans la relation (1) nous avons supprimé l'évènement du 12/12/73, alors que nous l'avons conservé dans (2) et (3). Comme précédemment nous devons signaler que ces relations ne sont valables que dans les gammes observées que dans la zone TELMAM, et qu'on doit les utiliser avec beaucoup de prudence.

.../...

4 . CONCLUSIONS

L'impluvium de la citerne TELMAM (2,2 ha) assez bien représentatif des bas et moyens glacis d'épandage des seguis (zones limoneuses à faible pente 1 à 2 % recevant des apports d'eau par ruissellement des reliefs périphériques et faisant l'objet d'aménagement de petite hydraulique agricole), a fait l'objet d'études et de mesures pendant cinq années (1972 à 1977).

Les principaux résultats acquis sont les suivants :

4.1. *Le climat*

Il est un peu plus continental qu'à Gabès, et la hauteur des précipitations légèrement inférieure, mais de caractère aussi aléatoire. Ainsi si la moyenne observée sur 5 ans est de 229 mm pour une normale avoisinant 180 mm, deux années pluvieuses de fréquence de retour de 1 année sur 15 ont pu être observées ainsi qu'une année sèche de fréquence de retour de 1 année sur 7. Nous rappellerons la journée exceptionnelle du 12/12/74 qui a vu précipité en 18 heures 140 % de la moyenne annuelle, et 64 % de la hauteur de l'année !

4.2. *Le ruissellement*

Pour les cinq années la moyenne de la lame d'eau ruisselée est de 65,5 mm, mais de 25,3 mm si l'on supprime la pluie tricentenaire du 12/12/73. La corrélation entre la lame ruisselée (hr) et la pluie totale (Pa) s'établit ainsi :

$$\begin{matrix} hr = 0,163 Pa - 6,15 & (r = 0,95) & (1) \\ (mm) & (mm) & \end{matrix}$$

Nous indiquons dans le tableau n° 27 une prévision succincte de la lame ruisselée annuellement à la citerne Telmam.

.../...

Tableau n° 27 : Période de retour de la lame
ruisselée annuellement

: Période de	:	:	:	:	:	:	:	:
: retour (année)	: 50	: 10	: 5	: Médiane:	5	: 10	: 50	:
: hr	:	:	:	:	:	:	:	:
: annuelle (mm)	: 0	: 0,5	: 2	: 19	: 38	: 53	: ?	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:

Concernant les facteurs de ruissellement il semble que l'intensité maximum sur 15' soit la première variable à prendre en compte dans une analyse averse-crue et que l'état hydrique des vingt premiers centimètres du sol et l'indice de recouvrement de la végétation interviennent de façon très sensible dans l'évaluation du coefficient de ruissellement.

4.3. Bilan d'eau

La totalité de l'eau infiltrée dans l'année hydrologique est évapotranspirée ; l'équation du bilan se résume donc sur ces sols de seguis à $ETR=P-R$. L'évapotranspiration est fonction du stock d'eau dans le sol et de la saison ; le pouvoir évapotranspirant de l'impluvium de la citerne est 3,5 à 4 fois plus importante en Juillet qu'en Janvier. Pour une même réserve en eau (voisine de 200 mm pour 120 cm) on a enregistré des ETR journalières moyennes de 0,86 mm en janvier 1976 pour 2,15 mm en avril de la même année.

D'une façon générale, ces sols de seguis ont du mal à constituer des réserves importantes, restituables ensuite à la végétation ; la pluie infiltrée, à la différence des sols sableux, est très vite reprise par l'évaporation (absence de self-muching).

4.4. L'érosion

Elle est fonction de la lame ruisselée, et est très liée à l'indice d'agressivité climatique de Wischmeier. Sur le site de la citerne Telmam représentatif des bas et moyens glacis des seguis non travaillés conservés en impluvium, l'érosion aura été de 4 100 tonnes/km² pour cinq années et de 7 950 tonnes/km² si l'on tient compte de la crue du 12/12/73 soit respectivement une érosion moyenne annuelle de 820 tonnes/km²/an et de 1 590 tonnes/km²/an représentant des ablations annuelles de l'ordre de 0,5 à 1 mm.

Il s'agit donc d'une érosion en nappe assez faible, qui cependant sur des zones surpaturées et plus pentues doit être nettement supérieure.

.../...

4.5. La végétation

L'effet de la mise en défens de six ans du faciès post-cultural (sur défrichement ancien de la *stepped'armoïse blanche* originelle) est assez faible. Le couvert des espèces pérennes (surtout *Arthrophytum scoparium*) est passé de 3 à 10 % seulement. La quantité d'annuelles reste très liée aux pluies de l'année et peut être importante, sans que l'on puisse la mettre en relation avec l'effet de la protection.

Ce sont les annuelles et la quantité importante de litière qu'elles peuvent fournir qui ont une influence saisonnière et cyclique sur le ruissellement. La période de végétation en général printanière et courte est suivie d'un dépôt de litière en sol au début de l'été qui peut persister jusqu'à l'hiver.

Il faut noter la pauvreté de cette flore en bonnes espèces pastorales. L'armoïse blanche ne s'est pas réinstallée d'elle-même et les annuelles ne comprennent ni graminée ni légumineuse intéressante. *Artemisia herba-alba* et *Hedysarum carnosum*, qui se resèment d'eux-mêmes au voisinage du bassin dans les zones un peu plus humides, pourraient être multipliées à des fins pastorales.

4.6. Possibilité d'aménagements hydrauliques

Il ne semble pas, en année à pluviosité moyenne, que l'on puisse espérer un apport d'eau moyen supplémentaire supérieur à 20 mm sur ces bas et moyens glacis.

Un équivalent pluviométrique au champ ($P+R$) moyen de 250 mm étant jugé comme bon pour la céréaliculture généralement pratiquée sur ces seguis, il s'agit donc de trouver 70 mm supplémentaires par ruissellement. C'est donc une surface 3,5 fois supérieure à celle du champ cultivé qui pourra les fournir dans des situations identiques à celles de la citerne Telmam. Il nous paraît bien utopique que l'agriculteur accepte ce schéma, d'autant plus qu'il s'agit de terres excellentes. La solution consiste donc à utiliser au mieux l'eau des oueds qui débouchent des reliefs susjacentes, en l'épandant sur le glacis grâce à des travaux de petites hydrauliques, ou encore à augmenter l'efficacité au ruissellement de certains impluviums (compaction, imperméabilisation).

BIBLIOGRAPHIE

=====

BOURGES J. 1974

- Aperçu sur l'hydrologie du centre Sud Tunisien. Réseau d'observations et crues exceptionnelles. DRES TUNIS 76p. Ronéo. 47 fig.

BOURGES J., BOUZAIANE S., 1974

- Les crues exceptionnelles du 12 décembre 1973 sur le bassin versant de l'Oued ZITA. ORSTOM-DRES GABES. Ronéo. 25 fig.

BOURGES J., CAMUS., 1979

- Synthèse climatique de la zone du Telmam (en cours).

BOURGES J., FLORET CH. et PONTANIER R., 1973

- Etude d'une toposéquence type du Sud Tunisien. Djebel DISSA. Les sols, bilan hydrique, érosion, végétation (résultats de la saison 1972/73). Direction des Ressources en Eau et en Sol de Tunisie. Division des sols. Etude spéciale n°89, 43p.

BOURGES J., FLORET CH. et PONTANIER R., 1975

- Etude d'une toposéquence type du Sud Tunisien. Djebel DISSA. Les sols, ruissellement, bilan hydrique, érosion, végétation (Résultats de la saison 1973/74). Direction des Ressources en Eau et en Sol de Tunisie. Division des Sols. Etude spéciale n°93, 56p. Ronéo. Annexes.

BOURGES J., FLORET CH., PONTANIER R. 1977

- Etude d'un milieu représentatif tunisien - Citerne Telmam 1972/73 et 1974/75. ORSTOM - Tunis.

FERSI M. 1978

- Dossier pluviométrique de Gabès DRE . Tunis Montfleury-Gabès.

FLORET CH. 1971

- Recherches phyto-écologiques entreprises par le CNRS sur le biome "Zone Aride" en Tunisie, Document CEPE, n°57, Montpellier, 26p.

.../...

FLORET CH., LE FLOC'H E., PONTANIER R et ROMANE F. 1974

- Propositions pour l'élaboration de modèles en vue de la planification et de l'aménagement des parcours des régions arides (Elaboration of a regional ecological model for the planning and the range management of arid zones). Réunion régionale sur les pâturages des zones arides et semi-arides du nord de l'Afrique-Tunisie 3-12 Avril 1975. Inst. Nat. Agron. Tunisie 41p. Ronéo, English abstract 14p.

FLORET CH., LE FLOC'H E., ROMANE F., LEPART J. et DAVID P., 1973

- Production, sensibilité et évolution de la végétation et du milieu en Tunisie présaharienne. Conséquences pour la planification de l'aménagement régional de la zone test d'Oglat Merteba. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie et Cent. Etudes Phyto-Ecol. Montpellier. DOC. CEPE n°71, 45p. 6 cartes noires, 4 cartes couleur. English abstract, 12p. Ronéo. 2cartes.

FLORET CH., LE FLOC'H E., PONTANIER R. 1977

- Carte de la sensibilité de la désertisation. Processus de dégradation en cours des et de la végétation. Tunisie Centrale et méridionale. Notice et 1 carte couleur. Sols de Tunisie n°8. Direction des Ressources en Eau et en Sol.

FLORET CH., PONTANIER R. 1973

- Etude de trois formations végétales naturelles du Sud Tunisien. Production, bilan hydrique des sols (premiers résultats : saison 1971/72). Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie. Projet Parcours Sud, 55p. Ronéo et annexes.

FLORET CH., PONTANIER R. 1974

- Etude de trois formations végétales naturelles du sud tunisien. Production, bilan hydrique des sols (résultats saison 1972/73). Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie. Projet parcours Sud 36p. Ronéo.

FLORET CH., PONTANIER R. 1974

- Etude de trois formations végétales naturelles du Sud Tunisien. Production, bilan hydrique des sols (résultats saison 1973/74) Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie. Projet Parcours Sud, 44p. Ronéo et annexes

.../...

FLORET CH., PONTANIER R. 1978

- Etude des relations climat-sol-végétation de quelques formations végétales du Sud tunisien (Production, Bilan hydrique des sols). IRA. Medenine, DRES Tunis, CEPE/CNRS Montpellier, ORSTOM Tunis-Paris 96p. Doc n°1.

LE HOUEROU H.N. 1969

- La végétation de la Tunisie steppique (avec références au Maroc, à l'Algérie et à la Lybie). Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tun. Vol. 42, 5, 620p. avec tabl. 2 cartes couleur h.t.

LENCASTRE A. 1969

- Manuel d'hydraulique générale 411p. Edition française. Editions Eyrolles. Paris.

MAMOU A. 1976

- Contribution à l'étude hydrogéologique de la presqu'île de Kebili - DRES Tunis 104p. Ronéo. 10 fig. et annexes.

MEKRAZI A.F. 1975

- Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Gabès Nord. Thèse de doctorat. Bordeaux DRES Tunis.

METEOROLOGIE NATIONALE DE TUNISIE, 1962

- Statistiques moyennes et normales pour la période de 1901 à 1960. TUNIS.

MUTIN P. 1969

- Etude des mouvements de l'eau dans un sol argileux (bassin versant représentatif du Mielan). Bull. BRGM Section III n°4 1969. Les mouvements d'eau dans les sols non saturés.

ORSTOM 1972

- Bulletin du groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols n°1 ORSTOM - BONDY.

ORSTOM 1972

- Méthodes d'analyses utilisées au laboratoire de physique des sols SSC-ORSTOM-BONDY.

.../...

PONTANIER R. 1972

- Etude pédologique d'EL HAMMA Nord - DRES, TUNIS n°460, 2 cartes couleur.

ROCHE M. 1963

- Hydrologie de surface ORSTOM - Gauthier - Villars Paris, 429 p.

SAUVAGE CH. 1963

- Le quotient pluviothermique d'Emberger, son utilisation et la représentation géographique et ses variations au Maroc. Ann. Serv. Globe et Météo. Inst. Scienc. Cherifien T, XX, II 23p.

UNESCO 1972

- Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du Projet. Conclusions et recommandations. UNESCO Paris - DRES Tunis.

ANNEXE
CARACTERISTIQUES DES AVERSES
ET DES AVERSES-CRUES

Caractéristiques précipitations et crues - Années 1972-73

DATE	N°	Précipitations				Ruissellement et infiltration				hydrogramme				Pluie antérieure		Sol	Qx		
		P _m mm	P _u mm	I _{moy} mm/h	I _{max} mm/h	V _r m ³	h _r mm	K _r %	D mm	C _{ant} mm/h	Q _{max} 10 ⁻³ m ³ /s	Q _{max} m ³ /s	t _p min	t _m min	t _b min	S _{ant} mm	t _a min	LCC mm	hr
28/9/72	I	12,2	6,0	9,6	10	11,9	0,54	4,4	11,66	7,5	5,6	0,25	44			3,4	140j	42	10,37
7/10/72	2A	9,0	4,5	24,5	36	42,0	1,91	21,2	7,09	14,2	32,6	1,48	11	(7)	80'	12,2	200h	38	17,06
	2B	1,9	1,5	18,0	18	2,2	0,10	5,3	1,80	16,5	2,8	0,13	10	2	42'	9,0	11h30		28,0
8/10/72	2C	3,2	1,5	6,0	6	4,2	0,19	5,9	3,01	5,2	2,7	0,12	10	11	60	1,9	17h		14,21
7/8/10/72	2	14,1				48,4	2,20	15,6	11,90		32,6	1,48				9,0	28h30		
4/12/72	3A	24,6	21,5	30,7	60	297,7	13,53	55,0	11,07	10,5	173	7,86	14	(14)	130	7,0	48j	37	12,79
5/12/72	3B	15,1	1,1	4	6	22,0	1,00	6,6	14,10	2	9	0,41	26	14	100	24,6	11h20		9,0
4/5/12/72	3	39,7				320	14,54	36,6	25,16		173	7,86							
30/12/72	4	8,0	3,7	(2pts) (7,5)	18	33,6	1,53	19,1	6,47	5,5	20	0,91	20	(22)	110	7,3	87h	21	13,07
22/1/73	5	2,8	0	-	(6)	4,3	0,20	7,1	2,60		dessa- bleur					8,0	23j	30	
10/2/73		6,6	0	3,3	3,3	0,04	0,0018	0,03	6,6		dessa- bleur					4,0	17j	32	
11/2/73		5,7	0	2,5	2,5	0,19	0,0086	0,15	5,55		dessa- bleur								
10/11/2/73	6	12,3	0			0,23	0,01	0,08	12,22							6,6	10h		
26/3/73	7A	10,2	9,1	32,7	45,0	61,6	2,80	27,4	7,40	17,5	43,2	1,96	21	(20')	115'	12,3	44j	39	15,43
	7B	4,5	3,4	12,0	24,0	15,5	0,70	15,6	3,80	15,5	8,3	0,38	19	14	90	10,2	4h40		11,85
	7C	4,5	2,8	8,3	12,0	7,8	0,36	8,0	4,14	7,5	4,4	0,20	30	20	78	4,5	2h30		22,22
27/3/73	7D	10,2	1,3		5,0	0,8	0,04	0,4	10,16		0,3								
26/27/3/73	7	29,4				85,7	3,90	13,3	25,50		43,2	1,96							
3/8/73	8	(6,7)	-	-	-	1,7	0,08	1,1	6,62		dessa- bleur					29,4	130j	42	
TOTAL		125,2			60	505,8	23,00	18,4	102,2		173	7,86							
8 épis. 15 crues																			
Année 1972-73		163,7			60	505,8	23,00	14,0	140,8		173	7,86							

Caractéristiques des précipitations et des crues - Années 1973-1974

DATE	N°	Précipitations				Ruissellement et infiltration				hydrogramme						Pluie		Sol	Qx
		P _{pluie} mm	P _u mm	Imoy mm/h	Imax mm/h	V _r m ³	h _r mm	K _r %	D mm	C _{all} mm/h	Q _{max} 10 ⁻³ m ³ /s	q _{max} m ³ /s	t _p min	t _m min	t _b min	P _a (5 mm)	τ _a mm		
4/12/73	9A	11,7	2,0	4,8	4,8	7,0	0,32	2,7	11,38	4	-	-	-	-	-	9,2	15j	38	7,22
	9B	14,3	5,0	6,2	6,2	65,0	2,95	20,6	11,35	2,5	21,3	0,97	39'	(58')	215'	11,7	6h		7,31
	9C	7,1	4,0	9,0	9,0	50,0	2,27	32,0	4,83	3,0	16,6	0,75	28'	21'	104'	14,3	3h40		14,4
	9D	2,0	1,5	6,0	6,0	5,6	0,25	12,5	1,75	5	3,6	0,16	27'	9'	55'	7,1	2h55		
	9	35,1				127,6	5,80	16,5	29,3										
12/12/73	10A	14,5	8,5	10,8	18,7	73,4	3,33	23,0	11,17	5,5	47,5	2,16	7'	(46')	105'	35,1	183h	15	14,3
	10B	79,5	74,5	70	114	1520	69,1	87,0	10,4	2,0	(620)	28,2	11'	66'	200'	14,5	3h		8,97
	10C	162,0	146,0	1E 63	144	(3050)	(138,6)	(85)	(23,4)	-	(700)	(32)	-	-	-	-	-		5,05
				2E 37,6															
	10AB	94,0				1600	72,4	77	21,6		(620)	(28,2)							
	10	256,0				(4650)	(211,1)	(82)	45		-	-							
26/2/74	11	20,0	13,3	9	13,6	101	4,61	23,0	15,39	5,6	36,3	1,65	21'	(43)	(95')	256	76j	29	7,87
4/3/74	12	10,2	3,6	7,2	7,2	20	0,90	8,8	9,30	5,5	(7)	0,32	25'	(27')	100'	20	142h	24	7,77
12/3/74	13	13,5	7,4	10,4	18,0	48,5	2,20	16,3	11,30	6,0	23,3	1,06	25'	(32')	95'	10,2	207h	20	10,59
TOTAL																			
5 épis. 10 crues		334,8			144	(4950)	(224,5)	(67)	(110,3)		(700)	(32)							
Année 73-74		371,2			144	(4950)	(224,5)	(60,4)	(146,7)		(700)	(32)							
Année 73-74		115,2			18,0	300	13,5	11,7	101,7		36,3	1,65							
dans les																			
crues 12/12																			

Caractéristiques des précipitations et des crues - Année 1974-75

DATE	N°	Précipitations			Ruissellement et infiltration					hydrogramme					Pluie antérieure		Sol	Qx		
		Pm150 (mm)	Pu (mm)	I moy (mm/h)	I max (mm/h)	Vr (m ³)	Iir (mm)	Kr %	D (mm)	Cam (mm/h)	Qx 10 ⁻³ m ³ /s	qx m ³ /Km ²	tp min	tm min	tb min	pa mm	ta	lcc mm	hr	
22.9.74	14	11,9	6,5	21,4	28,6	44,6	2,03	17,1	9,9	11,7	38	1,72	7'	7'	70	6,3	11j	42	18,7	
29.9.74	15	12,4	10,3	18,9	22,4	52,6	2,39	19,3	10,0	12,8	34	1,54	16'	9'	55	11,9	186h	37	14,2	
15.10.74	16	17,2	16,7	76	122	242	11,0	64,0	6,2	16,2	204	9,27	15'	11'	57	12,4	17j	36	18,5	
11.2.75	17	8,0	2,3	10,3	13,7	2,1	0,09	1,1	7,9	12,7	0	0	0	0	0	7,9	16h	39		
18.2.75	18 ^A	5,2	0	3,8	4,1	7,9	0,36	6,9	4,8	3,1	0	0	0	0	0	6,4	24h	31		
		Avec Pp=7,6																		
	18 ^B	5,3	0	4,4	4,4	11,1	0,50	9,4	4,8	3,0	3	0,14	25'	25'	180	4,7	2h		6,0	
	18	10,5	0	-	4,0	19,0	0,86	8,2	9,6	-	(3)	-	-	-	-	-	-			
6.3.75	19	19,2	12,4	15,5	50	95,1	4,32	22,5	14,9	10,0	41	1,86	10'	10'	78	16,9	16j	30	9,49	
22.3.75	20	25,2	19,3	9,1	10,7	110,2	5,01	19,9	20,2	5,9	25	1,14	105'	105'	170	19,2	15j	27	5,02	
18.6.75	29	10,3	10,3	4,7	10,7	72,8	3,31	32,1	7,0	67	-	-	-	-	-	9,3	68j	41		
TOTAL 7 épi- sodes 8 crues		114,9	-	-	122	638,4	29,02	25,3	85,9	-	204	9,3								
Année 1974.75		167,2	-	-	122	638,4	29,02	17,4	138,2	-	204	9,3								

Caractéristiques des précipitations et des crues - Année 1975/76

		Précipitations				Ruissellement et infiltration					hydrogramme					Pluie ant.		Sol	
		Pu150 (mm)	Pu (mm)	Imoy. mm/h	lmax mm/h	Vr (m ³)	hr (mm)	Kr (%)	D (mm)	Xan (mm/l)	10 ³ in3/s	Qx (m ³ /b) km ²	tp (num)	tm (mm)	tb (mm)	Pa 5mm (mm)	ta	Oà 20cm mm	Cx hr
25.9.75	22A	3,4	1,5	9	12	4,5	0,20	5,9	3,2	(9,5)	(7)	0,3	D	D	D	10,3	98j	43	35,0
	22B	11,8	9,5	16	27	52,5	2,59	20	9,4	15,1	42,5	1,9	8	9	41	3,4	0,7h	40	16,41
	22	15,2	11,0	-	27	57,0	2,59	17	12,6		42,5	1,9	-	-	-	-	-	-	-
4.10.75	23	5,7	4,0	16	16	13,4	0,61	10,7	5,1	13,5	11,8	0,5	13	(15)	55	15,2	10j	36	19,3
7.10.75	24	5,9	2,0	8ou12	12	0,45	0,02	0,3	14,9	11,5	D	D	D	D	D	5,7	23j	35	
4.11.75	25A	10,4	3,9	5	18	11,5	0,52	5,0	9,9	11,8	D	D	D	D	D	14,9	148h	25	
	25B	8,4	3,1	4,4	9	11,2	0,51	6,0	7,9	6,0	3,4	0,15	19	24	115	10,4	3h	16	6,66
	25	18,8	62	-	18	22,7	1,03	5,5	17,8	-	D	D	-	-	-	-	-	-	-
9.01.76	260	11,4	7,6	-	19	5,8	0,26	2,3	11,1	16,2	D	D	D	D	D	16,8	65j	36	
	26A	4,9	1,6	10	13	6,3	0,29	5,9	4,6	9,2	4,5	0,2	20	13	31	11,4	-	25	15,5
	26B	4,3	3,2	26	26	132	0,60	14	3,7	18,2	5,7	0,26	13	11	102	4,9	3'	21	9,5
	26C	13,6	13,6	20	45	148,6	6,75	50	6,8	6,5	91	4,1	80	14	75	4,3	2h	17	13,48
	26D	11,9	10,3	24,4	39	103,9	4,72	40	7,2	2ou9	62	2,8	16	12	82	13,6	1.3h	10	13,13
	26E	20,1	10,8	12	43	130,2	5,96	29	14,2	6,5	47	2,1	12	15	96	11,9	7.5h	0	7,88
10.1.76	26F	14,7	8,7	16	45	77,9	3,54	24	11,16	8,2	47	2,1	3	20	85	20,1	7.8h	0	13,27
9.10.1.76	26	80,9	55,8	-	45	185,9	22,08	27	58,8	-	91	4,1	-	-	-	-	-	-	-

Caractéristiques des crues et des averses (1975-1976) Suite.

Date de la crue	N°	Précipitations				Ruissellement et infiltration						Hydrogramme				Pluies antér.		Sol	
		Pm150 (mm)	Pu (mm)	I moy (mm/h)	I max (mm/h)	Vr (m3)	hr (mm)	Kr (%)	D (mm)	Ca01 (mm/h)	Qx 10 ³ m3/s	qx M ³ /s/ (mm)	tp (mm)	tm (mm)	tb (mm)	Pa P 5min (mm)	ta h	Dcc 0a 20 cm	Qx hr
14.1.76	27A	17,5	7,3	8	9,7	97,3	4,42	25,2	13,1	3,9	21	0,95	25	80	170	14,7	103h	4	4,75
	27B	18,6	3,5	9,7	9,7	76,1	3,46	18,6	15,1	3,0	15,5	0,70	12	150	220	80,9 17,5	45h	0	4,48
	27	36,1	10,8	-	9,7	173,4	7,88	19	28,2	-	21	0,95	-	-	-	-	-	-	2,66
27.1.76	28	17,7	9,7	6,2	8,9	62,3	2,83	16	14,9	5,9	13	0,60	20	100	140	36,1	13j	6	4,59
25.2.76	29A	130	7,0		19,5	11,7	0,53	4,1	12,5	16,0	7,8	0,35	30	(26)	80	6,9	18j	28	14,71
26.2.76	29B	7,6	7,0	3ave	19,5	19,2	0,87	11,4	6,7	15,7	4,6	0,21	3 aver	55	180	13,0	6h	16	5,28
	29C	6,5	4,3	32,5	32,5	27,3	1,24	19	5,2	16,4	14,6	0,66	21	13	70	7,6	5.5h	9	11,77
	29D	13,5	5,4	2a ^{6,5} 8,1	98	55,5	2,52	19	11,0	3,8	13,6	0,62	23	15'	30	6,5	111h	4	5,40
	29E	8,7	3,2	26	26,4	19,4	0,88	10	7,8	14,5	6,8	0,31	25	13'	90	13,5	3.5h	0	7,73
	29F	8,4	3,8	13,5	19,5	29,8	1,35	25	4,1	6,5	13,0	0,59	27	16'	85	8,7	7.8h	0	9,63
	29G	7,6	0	3,7	4,7	4,5	0,29	2,8	7,4	3,3	1,5	0,07	55	45'	80	5,4	11.2h	0	5,17
	25,26, 27.2.76	29	62,3	28,5	-	32,5	167,4	7,60	12	54,7	-	14,6	0,62	-	-	-	-	-	-
10.3.76	30A	13,6	7,4	16,4	21,2	43,6	1,98	15	11,6	11,0	26,5	1,2	12	(10')	60	62,3	12j	7	13,38
	30B	7,4	5,0	11,9	18,6	29,3	1,33	18	6,1	8,6	12	0,55	31	20'	76	13,6	6.2h	0	9,02
	30	21,1	12,4	-	21,2	72,9	3,31	16	17,8	-	26,5	1,2	-	-	-	-	-	-	8,00
27.3.76	31A	15,5	5,0		15	5,7	0,26	1,7	15,2	12	D	D	D	D	D	21,9	17j	7	
	31B	18,6	6,2	12	15	21,0	0,95	5,1	17,7	7,8	8,2	13	13	48	93	5,0	-	-	8,63
	31	34,1				26,7	1,21	3,5	32,9	-	8,2	-	-	-	-	-	-	-	6,77
TOTAL 10 épisodes 24 crues	297,8			45	1082	49,18	16,5	248,6		91									
Années 1975/76	356,3			45	1082	49,18	13,8	307,1		91									

Caractéristiques des crues et des averses (saison 1976-77)

Date de la crue		Précipitations				Ruissellement et infiltration				Hydrogramme				Pluies antér.		Sol			
la	N°	Pm150 mm Thi essen	Pu (mm)	Imoy mm/h	Imax mm/h	Vr (m ³)	hr mm	kr (%)	D (mm)	Cam (mm/h)	Qx ₃ 10 ⁻³ m ³ /s	Qx m ³ /s/km ²	tp (mm)	tm (mm)	tb (mm)	Pa P 5mm (mm)	ta	Ucc (mm)	Qx hr
8.9.76	32	22,8	21,6	22	33	37,0	1,68	7,4	21,1	26,5	23,0	1,05	15	19	56	5,4	114j	42	13,7
8.10.76	33	9,2	9,2	16	36	0,16	7,10 ⁻³	0,08	9,2	35	-	-	-	-	-	22,8	30j	39	
15.2.77	34	5,9	5,5	30	42	6,8	0,31	5,2	5,6	38,4	6,5	0,30	15	8	56	19,2	57h	23	20,97
Total 3 épisodes 3 crues		37,9	-	-	42	44,0	2,0	5,3	35,9	-	23,0	1,05	-	-	-	-	-	-	-
Année 1976-77		96,4	-	-	42	44,0	2,0	2,1	94,4	-	23,0	1,05	-	-	-	-	-	-	-