

IMPACT DES TRAVAUX ANTI-EROSIFS SUR LES CRUES ET LE TRANSPORT SOLIDE

BERGAOUI MOHAMED (*)

CAMUS HENRI ()**

Résumé : Le but de cette étude est d'analyser l'impact des travaux anti-érosifs sur le comportement hydrologique, en terme de crues et de transport solide, de micro-bassins versants expérimentaux dans la zone semi-aride de Tunisie centrale au cours de six campagnes de mesures (avant aménagement et après aménagement). Le traitement des données observées durant la période 1978-1993 , nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

du point de vue ruissellement, les micro-bassins versants se comportent différemment après la mise en place des travaux anti-érosifs, la forme et les caractéristiques des hydrogrammes de crues ont subi des changements très significatives. Enfin, on note, à la suite des travaux anti-érosifs un nette diminution du transport solide. On présente par ailleurs un essai de modélisation du transport solide.

Mots clés : bassin versant semi-aride précipitation ruissellement transport solide
conservation en eau et en sol

**ABSTRACT : ANTI-EROSIVE WORKS IMPACT ON THE FLOOD AND THE
SEDIMENT TRANSPORT.**

The aim of this study is to analyse the impact of the antierosive works on the hydrologic behaviour, in term of floods and sediment transport, of the experimental micro-catchments in the zone semi-arid of central Tunisia during six companions of measurments(before fittings and after fittings). The treatment of the observed data during the period 1978-1993 permitted us to end at the following results. from point of view runoff, the micro-catchments behave differently after the putting in place of the antierosive works. The form and the characterstics of the hydrogrammes of floods underwent too significant changes. Finally, we note, follwing(after) the antierosive works, a clear decrease of sediment transport. In the same way, we present in this note a trial of modelisation of sediment transport

key words : Catchment Rainfall Runoff Sediment transport semi-arid Preservation
Water ground

(*) Enseignant, Ecole supérieure des ingénieurs de l'équipement Rural Medjez el-bab
9070, Route du kef medjez Tunisie

(**) Hydrologue, Directeur de recherche ORSTOM Tunis

INTRODUCTION

Dans les zones semi-arides, voire arides, caractérisées par une pluviométrie faible et très irrégulière, les facteurs climatiques ont un rôle considérable sur la perte en sol. En effet, en arrivant au sol la pluie agit par ses différentes composantes à savoir : la hauteur de pluie tombée, son intensité, sa distribution spatio-temporelle.

Dans certaines conditions limites, le processus d'érosion peut être déclenché [Camus et Bergaoui, 1993]. Les particules du sol détachées se trouvent par la suite transporter par ruissellement. En absence d'aménagements anti-érosifs, ces particules finiront, en un temps plus ou moins long, par venir se déposer dans les retenues, provoquant ainsi leur engorgement et limitant de ce fait leurs capacités de stockage et également leur durée de vie.

Pour tenter d'atténuer l'ampleur de ces phénomènes et essayer d'agir d'une façon efficace pour sauvegarder le milieu physique, il est nécessaire de connaître avant tout la relation pluie-ruissellement-érosion afin de déterminer les facteurs les plus significatifs, responsables de l'érosion hydrique. Une fois cette connaissance acquise, il est possible mettre en évidence l'impact des travaux anti-érosifs.

Les résultats présentés dans cette note sont relatifs aux observations faites sur les micro-bassins expérimentaux de Tebaga au cours de la période 1987-1993. Nous déterminerons dans un premier temps, l'impact des travaux anti-érosifs sur les hydrogrammes de crues leurs caractéristiques et leurs formes et le transport solide. Enfin, en prenant en compte les événements érosifs, nous avons calé un modèle statistique de régression multiple qui donne des résultats satisfaisants.

I - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES MICRO-BASSINS VERSANTS DE TEBAGA

Les micro-bassins versants expérimentaux de TEBAGA sont situés dans le djebel Semmama à une quinzaine de kilomètres de la ville de Sbeitla (Tunisie centrale ; cf. fig.). Ils se trouvent inclus dans le bassin versant de l'oued Zioud, qui avec l'oued Dhiar et l'oued Diss constituent en aval l'oued El Hissiane. (cf. fig.n°1).

I 1 Caractéristiques physiques.

Les caractéristiques morphométriques des micro-bassins versants sont résumées dans le tableau n°1 suivant (Camus H.1987, Mouelhi S.1993)

.Tableau n°1 Caractéristiques morphométriques des micro-bassins versants

Nom du bassin versant		TEBAGA 1	TEBAGA 2	TEBAGA 3
Surface	km ²	0,0081	0,0079	0,0332
Périmètre	Km	0,3600	0,3600	0,7500
Coefficient de forme : Kc		1,1300	1,2000	1,1500
Longueur du rectangle équivalent	Km	0,1030	0,1290	0,2290
Largeur du rectangle équivalent	Km	0,0780	0,0610	0,1450
Altitude maximale	m	975	960	932,5
Altitude minimale	m	905	902,5	880,8
Altitude moyenne	m	937	917,7	890,6
Indice de pente globale : Ig	mm/h	0,5670	0,4000	0,2040
Indice de pente de ROCHE : Ip	m/km	0,7930	0,6650	0,4670
Dénivelée spécifique : Ds	m	0,0510	0,0355	0,0371

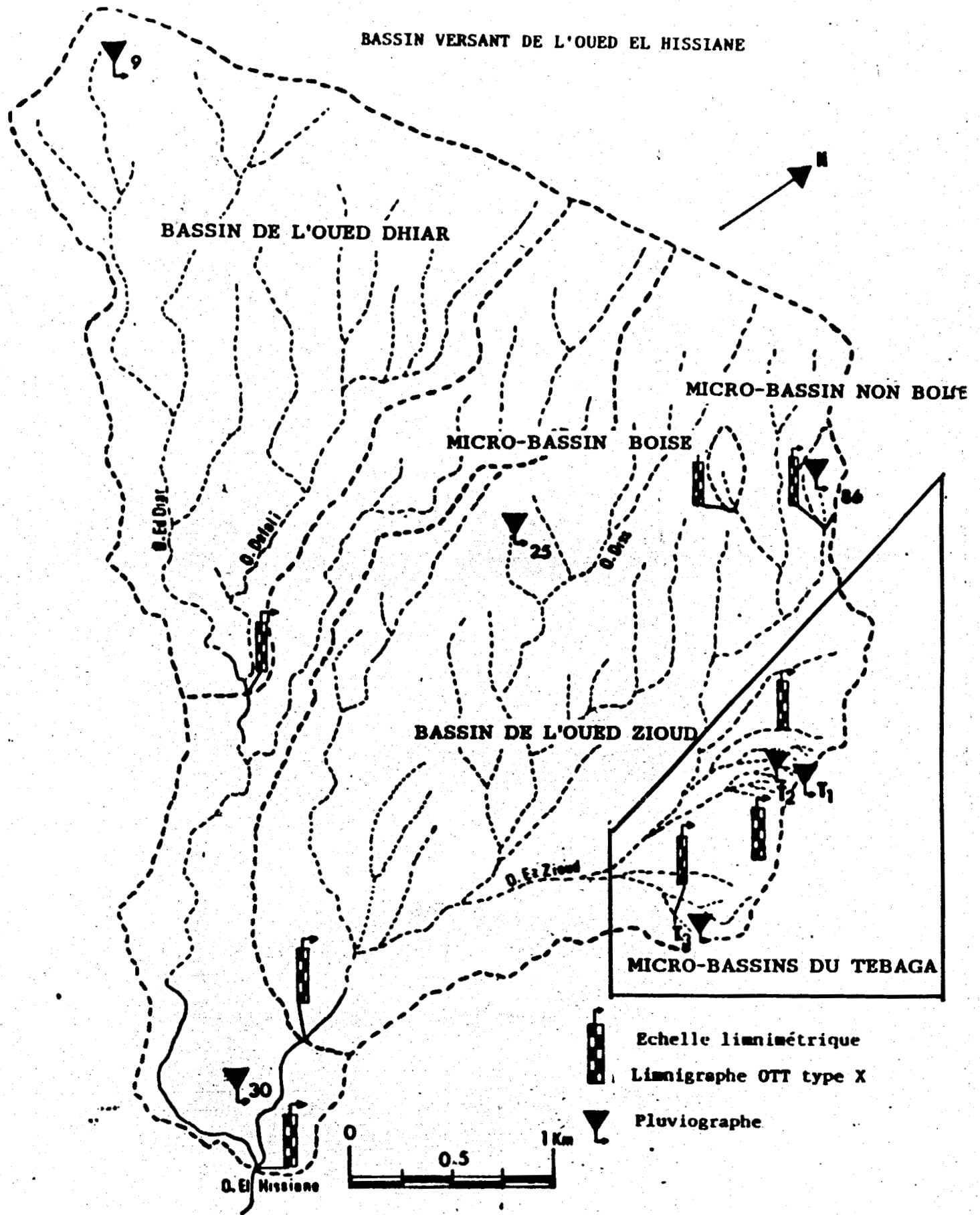


Fig. 1 - Le bassin versant de l'Oued EL HISSIANE

Dans ce tableau, on remarque que les micro-bassins versants de TEBAGA1 et TEBAGA2 sont de taille très voisine.

Les micro-bassins de Tebaga 1 et Tebaga 2 sont caractérisés par un sol brun calcaire (Delhoume et Barbery, 1985). La végétation des trois micro-bassins versants se répartit selon trois classes: ligneux, ligneux bas et herbacées d'après l'étude phyto-écologique globale du bassin versant de l'oued El Hissiane (Joffre, 1987)

Chacun des trois micro-bassins versants est équipé d'appareils de mesure de la pluviométrie, de la limnimétrie et du transport solide [Camus H. et al., 1987]. Ce dernier est récupéré dans une fosse à sédiments, vidée et récurée après chaque crue, dans la mesure où celles-ci ne sont pas trop rapprochées dans le temps. Les dépôts sont séchés à l'air, pour être ensuite pesés et analysés au laboratoire.

I 2 - AMENAGEMENTS ANTI-EROSIFS

Le plan d'aménagement en travaux anti-érosifs des trois micro-bassins versants de Tebaga, a été réalisé en même temps que celui du bassin versant de l'oued Ez-Zioud, sous la direction de l'équipe de la Conservation des Eaux et des Sols de Kasserine en 1990. Les travaux sur les bassins de Tebaga (Tebaga 1 et Tebaga 3) ont été achevés en octobre 1990, ceux de l'oued Ez-Zioud courant 1992.

Une mise en défens avait été tentée sur les deux micro-bassins versants de Tebaga 1 et de Tebaga 3, afin d'éviter le surpâturage ou l'exploitation des ligneux hauts. Ces micro-bassins versants, compte tenu de leur morphologie et surtout de leurs pentes, sont aménagés en travaux de type "cordons, murets ou encore petits barrages en pierres sèches". Le rôle des cordons pierreux est avant tout d'intercepter le ruissellement et surtout de permettre ainsi le stockage des matières solides en amont du cordon. Ces cordons disposés parallèlement aux courbes de niveaux jouent donc un rôle de frein hydraulique en augmentant la rugosité du sol puis en favorisant la formation de zone à faible pente.

II DONNEES

L'étude est développée en se basant sur les données collectées durant la période 1987-1993. Pour Tebaga 2, non aménagé, on dispose ainsi de 7 années de mesures. Pour les deux autres, il y a eu deux campagnes de mesures; une avant aménagement de 1978 à 1990, l'autre après aménagement de 1990 à 1993. Tous les résultats du dépouillement des données brutes se trouvent dans le rapport de Moulhi S., 1994.

Les tableaux n°2 et 3, donnent pour chaque micro-bassin, le nombre total d'événements enregistrés, avant et après aménagement ainsi que le pourcentage d'entre eux ayant engendrés un ruissellement.

tableau n°2 : événements avant aménagement anti-érosif. 1987-1990

	<i>TEBAGA 1</i>	<i>TEBAGA 2</i>	<i>TEBAGA 3</i>
<i>Période d'observation</i>	1987 - 1990	1987 - 1990	1987 - 1990
<i>Nombre total d'événements</i>	110	110	102
<i>Nombre d'événements engendrant un ruissellement</i>	44 (40%)	44 (40%)	29 (28%)
<i>Hauteur ruisselée (mm)</i>	22,80	26,51	26,31
<i>Hauteur ruisselée maximale (mm)</i>	3,70 (08/08/1989)	4,89 (08/08/1989)	5,17 (22/08/1989)

Le pourcentage des averses ayant provoqué un ruissellement sur TEBAGA 1 est identique à celui de TEBAGA2. Ceci n'est pas surprenant compte tenu de leur proximité et de leurs caractéristiques physiques et géomorphologiques très semblables.

La somme des hauteurs ruisselées sur TEBAGA1 et TEBAGA 2 est quasi identique. La faible différence est peut-être à attribuer, en partie, aux petites erreurs de mesures.

tableau n° 3 : événements après aménagement anti-érosif. 1990-1993

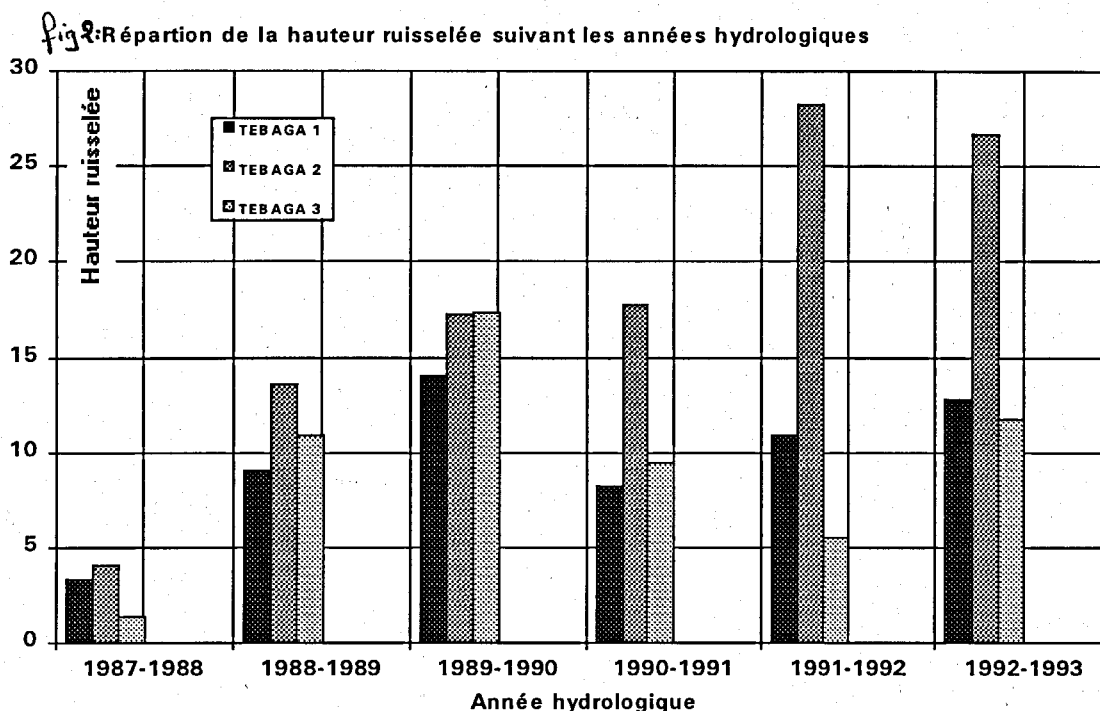
	<i>TEBAGA 1</i>	<i>TEBAGA 2</i>	<i>TEBAGA 3</i>
<i>Période d'observation</i>	1990 - 1993	1990 - 1993	1990 - 1993
<i>Nombre total d'événements</i>	155	155	132
<i>Nombre d'événements engendrant un ruissellement</i>	51 (33%)	51 (33%)	31 (23%)
<i>Hauteur ruisselée (mm)</i>	38,10	79,82	30,78
<i>Hauteur ruisselée maximale (mm)</i>	5,46 (06/11/1992)	14,07 (06/11/1992)	7,72 (06/11/1992)

Le pourcentage des crues engendrant un ruissellement sur TEBAGA3, que ce soit avant ou après aménagement, est inférieur à celui relatif à TEBAGA1 ou TEBAGA2. Ceci montre bien, l'effet des caractéristiques physiques en général et de la pente en particulier.

Au cours de la seconde phase après aménagement des TEBAGA1 et 3, on constate une différence significative dans le comportement hydrologique de ces deux bassins. La hauteur ruisselée égale à 38,1 mm pour TEBAGA1 atteint 79,8 mm sur TEBAGA2, soit une diminution de l'ordre 52%.

Les lames ruisselées maximales observées sur TEBAGA1 et TEBAGA2, toutes deux liées à la crue du 06/11/92, sont respectivement de 5,46 mm et 14,07 mm. Pendant cette deuxième phase, on assiste donc à une diminution par événement, de l'ordre de 61%.

Nous avons porté sur le graphique ci-dessous, figure n°2, pour chaque micro-bassin versant, les valeurs des hauteurs ruisselées correspondants à chaque année hydrologique afin de montrer l'impact des travaux anti-érosifs sur le ruissellement.



On observe qu'en l'absence de traitement anti-érosif, les valeurs des hauteurs ruisselées pour chaque micro-bassin versant sont très voisines. Par contre, après aménagement de Tebaga 1 et 3, la diminution est très significative.

On peut d'ores et déjà conclure que les travaux de conservation des eaux et des sols permettent une réduction globale significative du ruissellement, dépassant 52%, réduction pouvant dépasser 60% pour les crues les plus fortes.

III IMPACT SUR LES HYDROGRAMMES DE CRUES

Par définition, la crue est la réponse d'un bassin à une averse ou à un épisode pluvieux (ROCHE, 1986). Son étude est liée à des grandeurs qui, d'une part, décrivent la variation du débit et, d'autre part, caractérisent l'événement pluvieux qui en est la cause.

L'objectif de cette partie de l'étude est d'obtenir une représentation globale de la forme et des caractéristiques moyennes et maximales des crues observées, afin de quantifier l'impact des travaux anti-érosifs réalisés sur deux des trois micro-basins versants expérimentaux étudiés.

III .1 Analyse des crues :

Après un examen de toutes les crues observées, et au vu du tracé des hydrogrammes, nous avons pu classer l'ensemble des crues en deux groupes:

- crues complexes, résultant d'une averse complexe, à plusieurs pics ;
- crues à pointe unique provoquées par une averse de courte durée et de forte intensité.

Dans cette partie de l'étude, on s'est intéressé uniquement à l'étude des crues simples.

Pour cela, nous avons tracé, pour chaque micro-bassin, les hydrogrammes enveloppes et médians.

La méthodologie adoptée est la suivante:

Les hydrogrammes sont tous centrés sur la pointe maximale de crue. Ensuite, on prend les valeurs maximales par tranche pour l'hydrogramme enveloppe, et la moyenne des valeurs pour l'hydrogramme médian. Sur les averses correspondantes à ses hydrogrammes, nous avons procédé de la même façon pour tracer les hydrogrammes médians et enveloppes.

L'examen des hydrogrammes tracés, figure n°3 et n°4, montre que les crues sont écrêtées après aménagement du micro-bassin versant. En effet, l'hydrogramme passe d'une forme très aigue à une autre plus étalée (cas des Tebaga 1 et 3). Cette diminution du débit maximum s'accompagne d'une augmentation du temps de base et d'une diminution du volume ruisselé. Les conclusions suivantes sont à retenir :

- une diminution significative du débit maximum (variation en moyenne de l'ordre de 32% jusqu'à un maximum de 50%) ;
- une augmentation du temps de montée de l'ordre de 3 à 5 minutes ;
- une augmentation du temps de base de l'ordre de 20 à 35 minutes.

micro bassin versant de TEBAGA I

hydrogrammes moyens

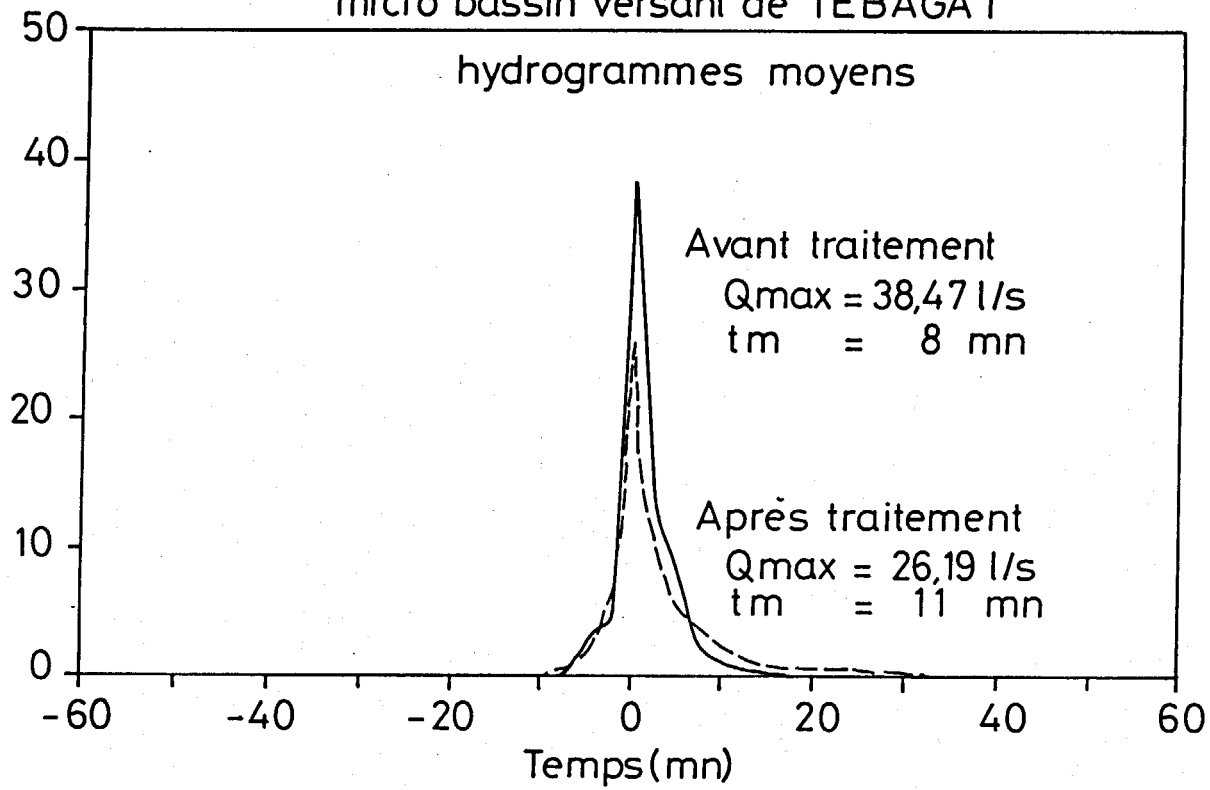
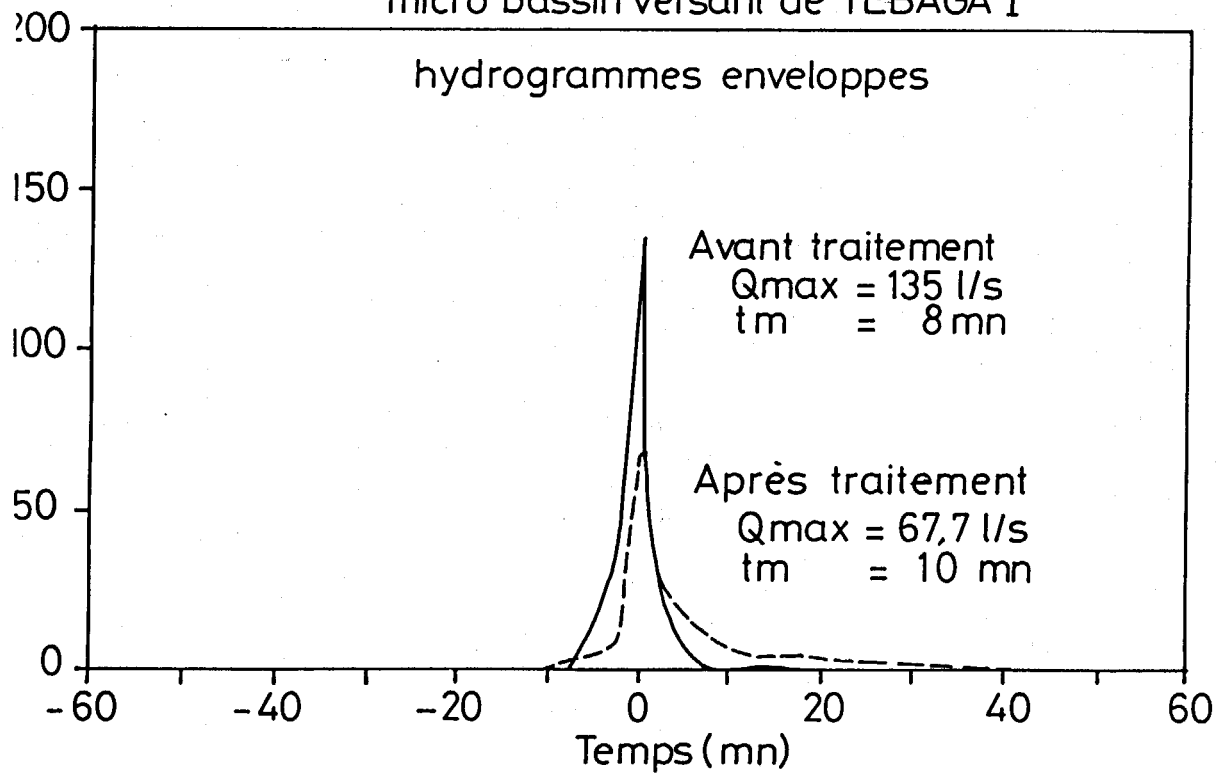


Fig. 3_ hydrogrammes moyens et enveloppes

micro bassin versant de TEBAGA I

hydrogrammes enveloppes



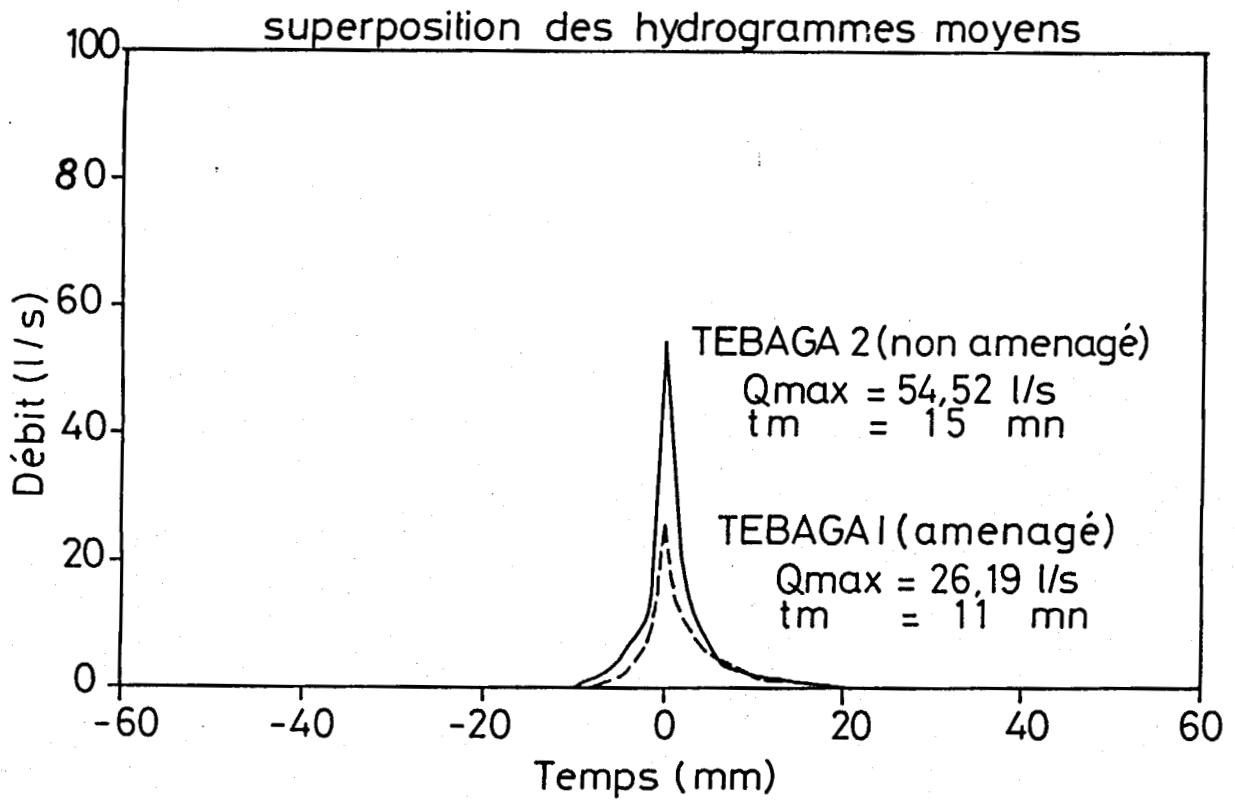
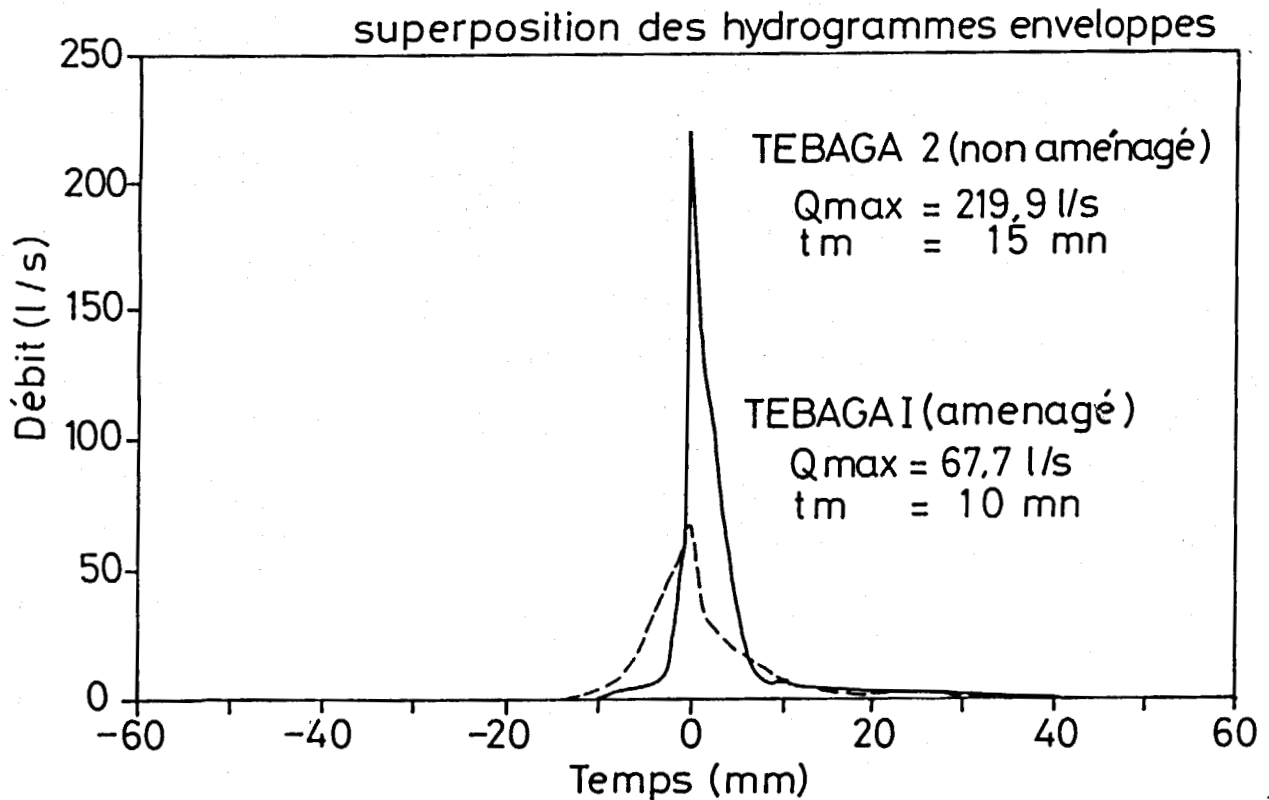


Fig.4 - superposition des hydrogrammes moyens et enveloppes



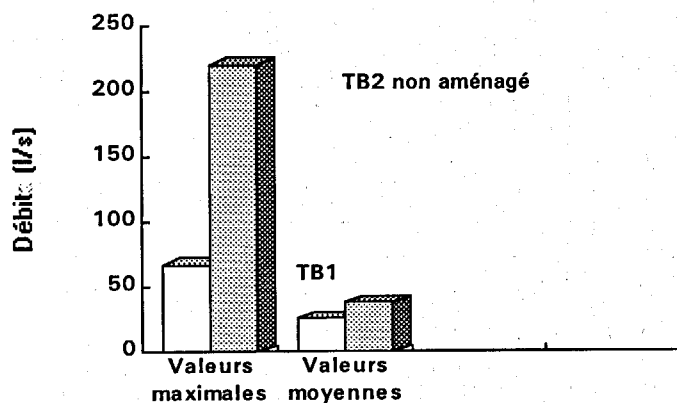
La superposition des hydrogrammes obtenus pour TEBAGA1 après aménagement et pour TEBAGA2, bassin témoin, figure n°4, nous a permis de tirer les résultats suivants, regroupés dans le tableau n°4.

Tableau n°4: Comparaison des débits maximums observés à tebaga 1 et 2.

	<i>TEBAGA 1 (Après aménagement)</i>	<i>TEBAGA 2 (Non aménagé)</i>	<i>Rapport % Q1/Q2</i>	<i>Ecart relatif % (Q2-Q1)/Q2</i>
<i>Débit maximum (l/s) (Hydrog. enveloppe)</i>	67,7	219,9	31	69
<i>Débit maximum (l/s) (Hydrog. moyen)</i>	26,19	54,52	48	52

Le graphique de la figure n°5, donnée ci-dessous, montre l'impact des travaux de conservation des eaux et des sols sur le débit maximum.

Fig 5: IMPACT DES TRAVAUX DE C. E. S SUR LE DEBIT MAXIMUM DE CRUE



Suite aux travaux de conservation des eaux et du sol, les débits maximums ont subis une diminution très nette. L'écart relatif, par rapport au bassin témoin, varie de 52% (en moyenne) à 69%(au maximum). En ce qui concerne le volume ruisselé, on a constaté une baisse de l'ordre de 30%.

IV - IMPACT DES TRAVAUX ANTI-EROSIFS SUR LE TRANSPORT SOLIDE

Pour montrer l'impact significatif des travaux anti-érosifs sur le transport solide, nous donnons dans le tableau ci dessous la valeur du transport solide spécifique annuel (tonne/ha) mesurée sur les trois micro-bassins versants.

Tableau n°5 : transport solide spécifique annuel(t/ha)

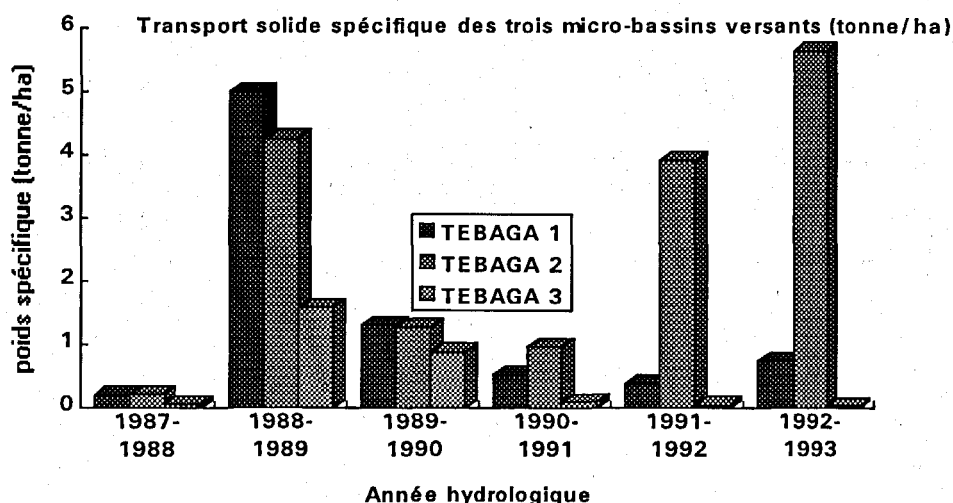
	1987-1988	1988-1989	1989-1990	1990-1991	1991-1992	1992-1993
TEBAGA1	0,195	5,001	1,308	0,518	0,390	0,748
TEBAGA2	0,204	4,265	1,276	0,964	3,918	5,649
TEBAGA3	0,063	1,585	0,892	0,088	0,035	0,032
R12 %	96	117	102	54	10	13
R32 %	31	37	70	9	1	0,6

On remarque que les rapports R1/2 (Tebaga1/tebaga2) et R3/2 (Tebaga3/tebaga2) diminuent très sensiblement à partir de 1990-1991.

L'érosion sur le micro-bassin versant de TEBAGA1 semble un peu plus importante que sur le TEBAGA2 pour les trois années correspondant à l'absence d'aménagements. En effet, un rapport moyen de 1,05 existe entre le transport solide spécifique annuel à TEBAGA1 par rapport à TEBAGA2, mais après aménagement, ce rapport n'est plus que de 0,26. Ce qui signifie qu'après aménagement, le transport solide a subi une réduction de l'ordre de 79%. Sur Tebaga3, le transport solide diminue également très sensiblement après aménagement, passant de 1.6 tonne par hectare en 1988 à 0.032 tonne par hectare en 1992.

Dans le but de mieux visualiser le rôle des travaux anti-érosifs, nous avons représenté sur le graphique de la figure n°6, les variations du transport solide durant toute la période d'observation 87- 93.

Figure n°6:



On peut noter qu'à partir de la quatrième année les valeurs de transport solide restent fortes sur TEBAGA2, alors qu'elles diminuent sensiblement sur le TEBAGA1 et Tebaga 3.

Ainsi, après aménagement des micro-bassins, le transport solide a subi une réduction de l'ordre de 79%. Les particules transportées au cours des crues se trouvent piégées en amont des différents cordons et barrages en pierres sèches

V) ESSAI DE MODELISATION DU TRANSPORT SOLIDE

Dans le but de déterminer les paramètres explicatifs du transport solide, en tenant compte des aménagements, et de proposer un modèle simple basé sur une approche statistique, nous avons basé notre démarche sur l'analyse des corrélations multiples entre la variable à expliquer (transport solide) et les variables explicatives (pluie, débit,...).

Le transport solide nécessite comme toute action une source d'énergie. En ce qui concerne l'érosion hydrique, cela commence par la pluie et s'étend au ruissellement. Tous les auteurs confirment que le facteur essentiel de l'érosion est la pluie (Smith et Wischmeir 1978, Henensal 1986, Keith et Cooley, 1980). L'énergie des gouttes de pluie désagrège les fines particules du sol qui peuvent ensuite être entraînées par le ruissellement.

Certes, ce mécanisme est observé sur les terrains de pentes moyennes ou plates (ELLISON, 1944 et 1945), ou s'observe un ruissellement en nappe. Très rapidement, surtout lorsque les pentes sont relativement fortes, se créent des rigoles puis des ravines ou le rôle érosif du ruissellement peu devenir très important.

V 1 ETUDE DES CORRELATIONS MULTIPLES.

Le phénomène de transport solide se manifeste lors d'un événement averse-crue. C'est à dire, lorsque la pluie engendre du ruissellement. Il est donc important de s'appuyer sur un certain nombre de paramètres définissant la séquence averse-crue.

Le traitement a été fait sur les données observées au niveau des micro-bassins versants de TEBAGA1 (avant et après aménagement) et TEBAGA2 (1987-1993). Pour ce dernier, la taille de l'échantillon est de 32 valeurs, tandis que pour celui de TEBAGA1, elle est de 16 avant aménagement et 19 après aménagement. Les événements analysés correspondent à ceux utilisés lors de l'étude des hydrogrammes des crues.

V..1.1 - Cas de TEBAGA1 avant aménagement :

Dans un premier temps nous avons procédé à une analyse de la matrice de corrélations partielles liant toutes les variables sélectionnées, afin d'analyser leur indépendance et d'évaluer le poids de chacune des variables explicatives dans la détermination de la variable à expliquer. Ensuite, ont été testés plusieurs modèles de régressions multiples en utilisant comme critère de validation le coefficient de détermination et le graphique des résidus.

le modèle retenu, dans le cas du Tebaga1, est le suivant :

$$Pt = (50,29 + 0,18*Qm + 126,19*Lr^2 + 0,07*130^3) - 1,32 *130^2$$

Figure n°7: corrélation entre valeurs observées et valeurs estimées.
Tebaga 1 avant aménagement

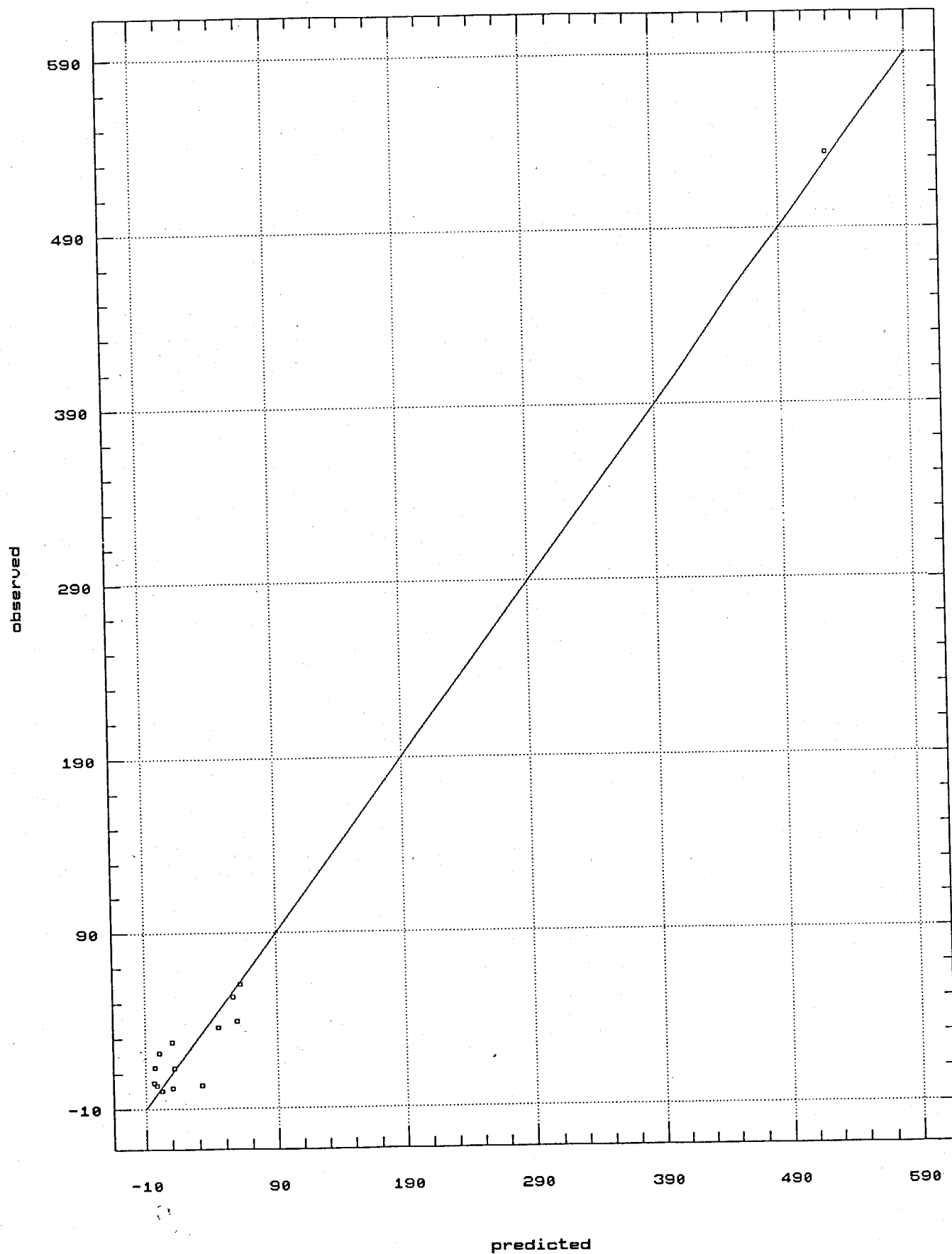
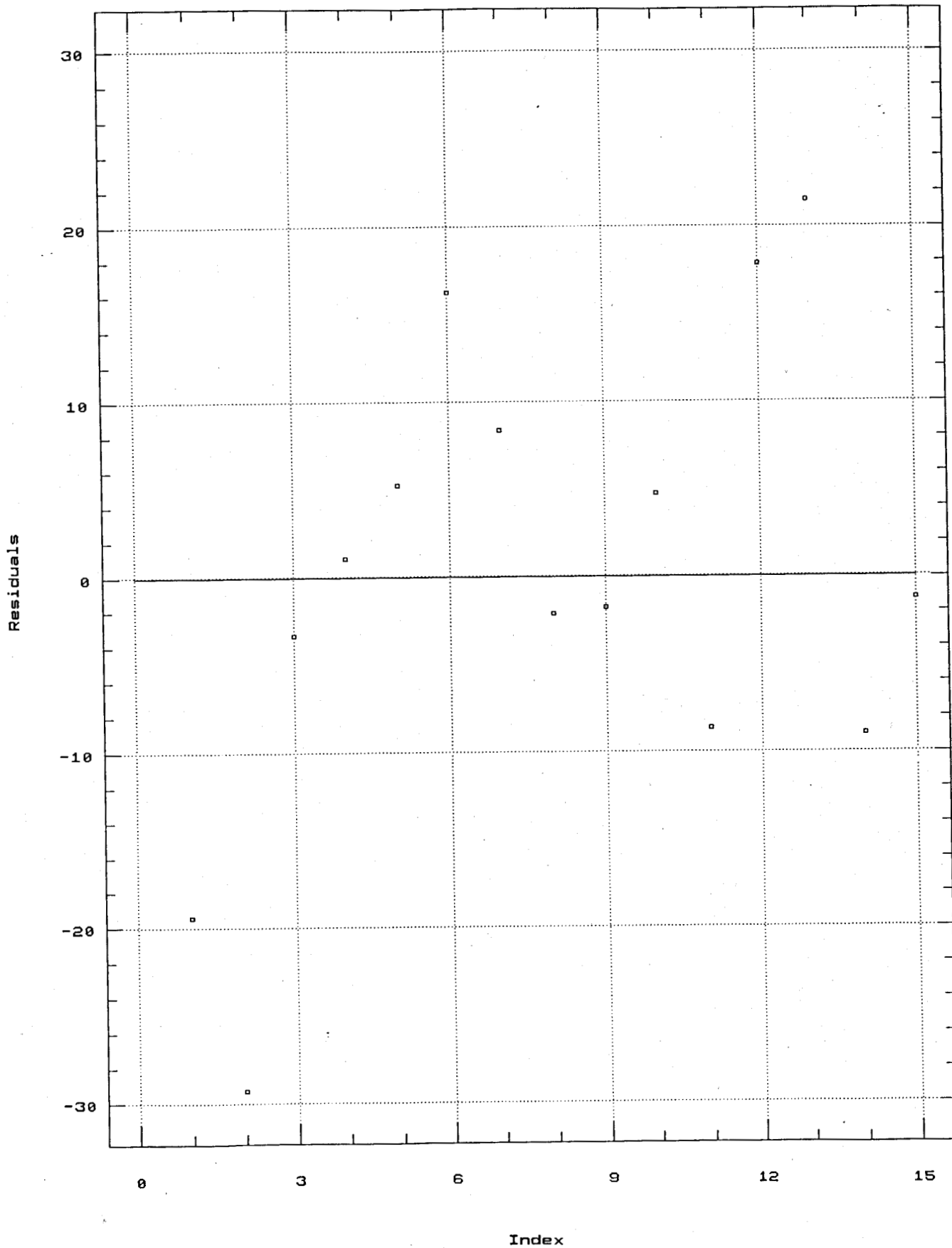


Figure n° 7 (suite) : graphique des résidus



avec:

Pt: poids du transport solide, en kg

Qm: débit maximal de crue, en l/s

Lr: hauteur de la lame ruissellée, en mm

I30: intensité maximal en 30 minutes, en mm/h

Pour un nombre de 16 observations le coefficient de détermination est de 98%, sachant toutefois que la lame ruissellée explique à elle seule 92 % de la variance du transport solide.

Le graphique des résidus confirme la qualité de la régression retenue (fig 7).

VI .1.2 - Cas de TEBAGA1 après aménagement :

En procédant de la même façon pour Tebaga1 après aménagement, nous avons constaté que le débit maximum (Qm) était la variable explicative principale du transport solide, suivie de l'intensité, mais que la lame ruissellée n'avait aucune influence.

Le modèle retenu est le suivant :

$$Pt = (8,38*Qm + 0,01*I30^3) - 0,14*I30^2$$

avec un coefficient de détermination de 97% et un nombre d'observation de 19 (fig n° 21).

Le graphique des résidus montre bien une allure aléatoire, ce qui confirme la régression retenue. (fig n° 8)

VI .1.3 - Cas de TEBAGA2 (non aménagé) :

Pour le micro-bassin de TEBAGA2 (non aménagé), nous constatons que les variables les plus explicatives sont la lame ruissellée (Lr) et le débit maximum (Qm). Elles expliquent 98% de la variance du transport solide.

Le modèle retenu est le suivant :

$$Pt = (5,96Qm + 21,8*Lr^2 + 0,003*I30^3) - 0,1*I30^2$$

avec un coefficient de détermination de 98% calé avec 32 valeurs.

Le graphique de la figure n°9 ci-après, illustre la qualité du modèle.

Figure n°8: corrélation entre valeurs observées et valeurs estimées.
Tebaga 1 après aménagement

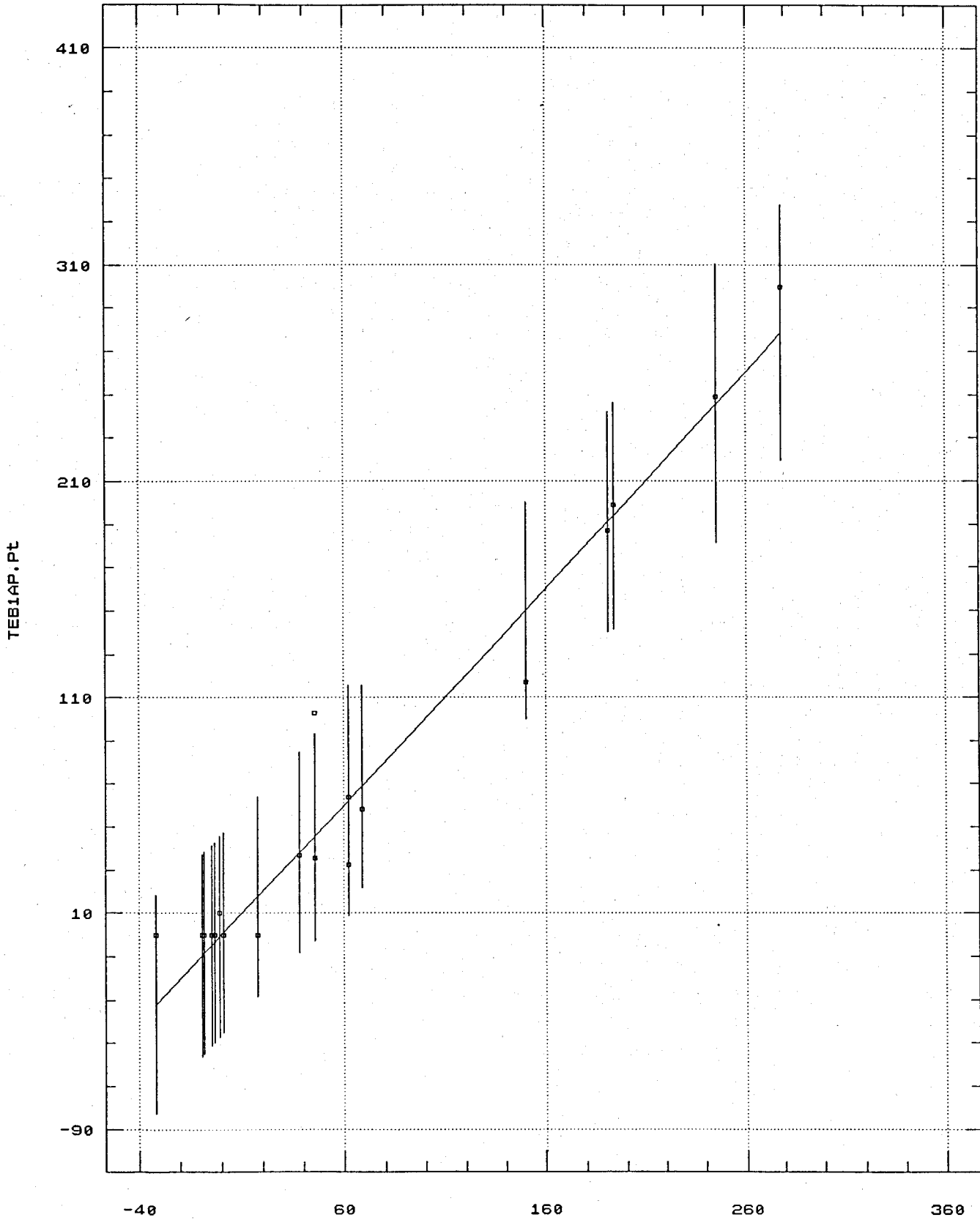


Figure n° 8 (suite) : graphique des résidus

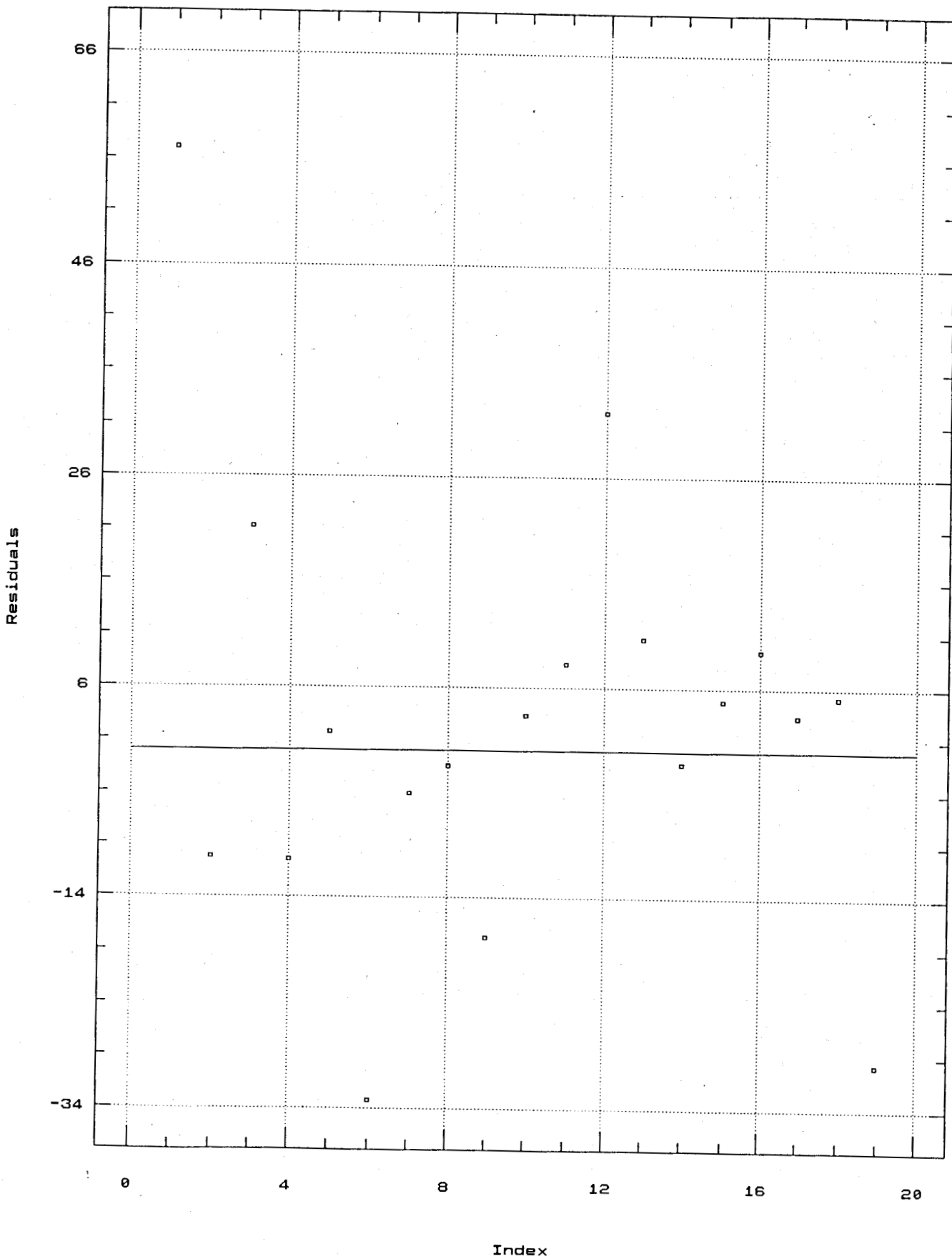
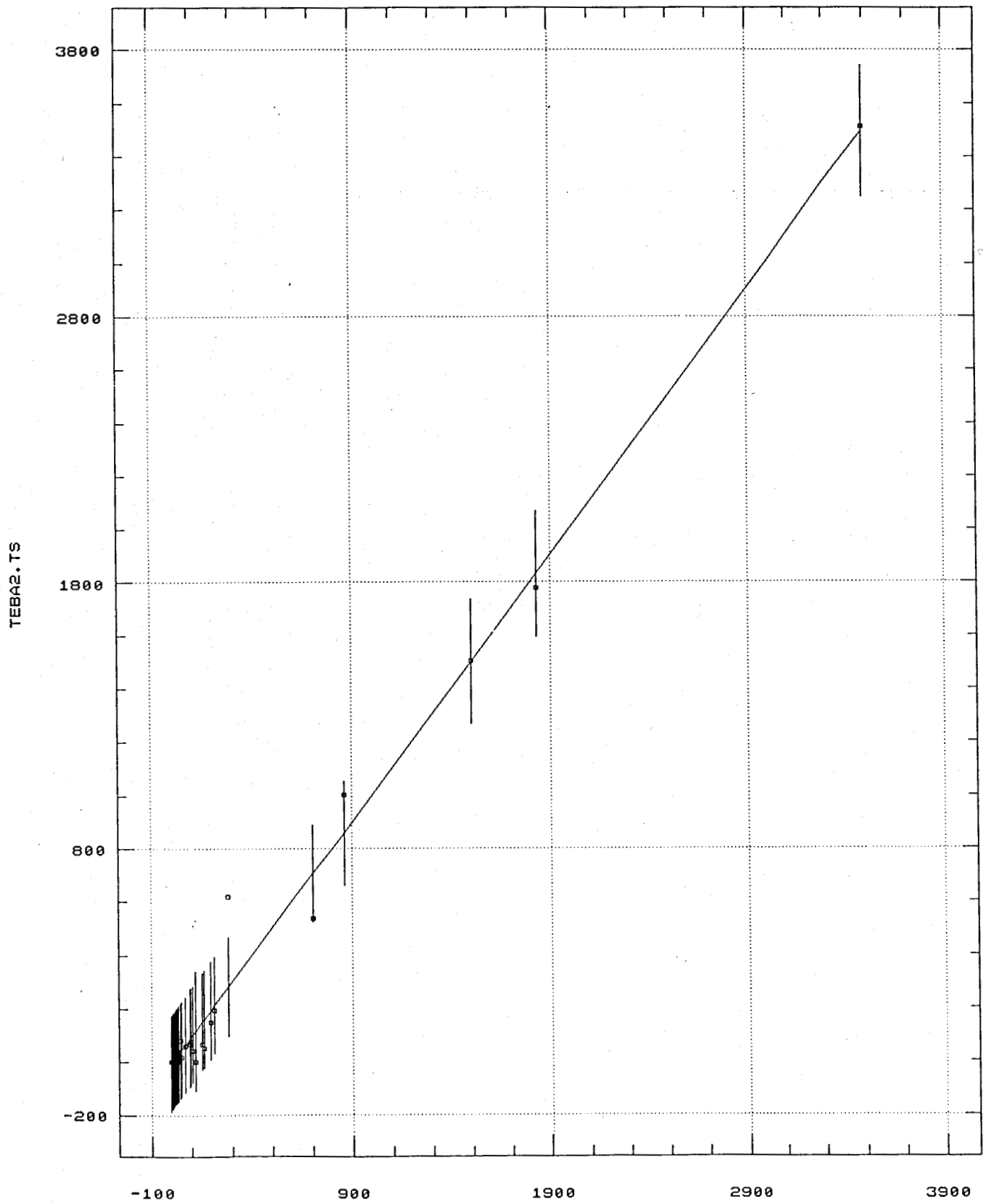


Figure n° 9 :

Predicted and Observed Values
with 95% intervals for predictions

— Fitted
◻ Observed



Predicted

V.2 - Interprétations :

Pour les différents modèles proposés, la partie positive représente le poids des particules arrachées par splash ou par ruissellement, tandis que la partie négative représente le transport qui s'est sans doute redéposé avant d'arriver à l'exutoire. Certes les modèles retenus semblent expliquer correctement les variations du transport solide. Cependant, il faudrait optimiser les paramètres des modèles ajustés empiriquement (Rosenbrock, 1960) et les valider. Il serait intéressant, de plus, de vérifier leur transposabilité à des bassins versants. Par ailleurs, on a constaté qu'avant aménagement des micro-bassins versants, le paramètre qui explique le plus le transport solide est la lame ruisselée. Par contre, après aménagement la lame ruisselée est remplacée par le débit maximum en premier lieu, puis à l'intensité en 30 minutes. Ce qui laisserait à penser que les plus forts débits jouent alors un rôle important, une partie du ruissellement restant peu actifs.

Ceci peut s'expliquer par le fait que le ruissellement se trouve freiné par les différents traitements de conservation des eaux et du sol sauf dans le cas de crues suffisamment fortes (débit et intensité importants).

Dans notre approche, nous n'avons pas inclus le couvert végétal du sol, qui joue un rôle important dans les phénomènes d'érosion hydrique. Il faut préciser que sur les bassins étudiés, la végétation croît d'une manière significative que lors des années de bonne pluviosité. En règle générale le sol est presque nu.

CONCLUSION

La comparaison du comportement hydrologique et du transport solide observés sur les micro-bassins de Tebaga durant deux campagnes de mesures, avant traitement (87/90) et après traitement (90/93), nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

- avant aménagement l'hydrogramme (enveloppe et médian) de crue présente un seul pic avec un temps de montée très court, une phase de décrue rapide et un débit de pointe très important. Après aménagement, la forme de l'hydrogramme est plus étalée, le temps de réponse est beaucoup plus long avec surtout un temps de base plus important et un débit de pointe (Q_m) réduit de 50%.

- diminution du volume ruisselé évalué à près de 30%.

- diminution très nette du transport solide évalué à près de 80%. Il reste à savoir si au fil des années, l'impact de ces travaux n'ira pas en s'aggravant.

- le transport solide pourrait être expliqué par la lame ruisselée, le débit maximum et l'intensité maximale de pluie en 30 minutes (I_{30}). En effet, l'érosion hydrique observée est due essentiellement au détachement des particules du sol par les précipitations (Intensité) et le ruissellement, ce dernier étant lui-même lié aux précipitations.

Certes, notre approche globale nous a permis de mettre en évidence l'impact des travaux anti-érosifs sur le ruissellement et l'érosion. Toutefois, une analyse par événement averse-crue devrait être envisagée afin de déterminer:

- la position de l'intensité maximale de l'averse ainsi que la forme et les caractéristiques de l'hydrogramme type.

- la quantité de sédiments, transportés par charriage, redéposée au cours d'une averse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bergaoui Med., Camus H. 1994** Etude statistique des averse sur le bassin versant de l'oued ez-zhoud (Djebel semmama, Tunisie centrale). Les Annales Maghrébines de l'Ingénieur 8(2):19 p.
- Camus H. et al. 1987**-Rapport d'installation de 3 micro-bassins versants expérimentaux dans la région de Sbeitla pour l'évaluation de l'impact des travaux anti-érosifs de la CES. DGRE/ORSTOM/CEs, 26p. Tunis
- Mouelhi S. 1993** Impact des travaux antiérosif. Micro-bassin de tebaga. Stage d'été, Juillet - Aout 1993. ORSTOM-Tunis, pp..
- Ellison W.D. 1945.** Two devices for measuring erosion. Agr. Engr. 25:53-55
- Henensal P. 1986** L'érosion externe des sols par l'eau. Approche quantitative et mécanismes. Rapport de recherche du laboratoire des ponts et chaussées .n° 138, 76p.
- Delhoume J.P. , Barbery J 1985.** Etude en milieu méditerranéen semi-aride (de jebel semmama). Ruissellement et érosion en zone montagneuse en Tunisie centrale. Résultats 1975-1978.
- Joffre R. 1987.** Notice des cartes de la végétation du bassin versant de l'oued el hissiane. Centre ORSTOM -Tunis, multigr. 16p. Tunis
- Keith R. et Cooley R. 1980** Erosivity values for individual desing storms. J. of Irr. and Dra., vol. 106, (Juin), pp. 135-145
- Roche M. 1963** hydrologie de surface. Ed. Gauthier, Villars, multigr., n 424p. Paris
- Rosenbrock H.H. 1960.** An automatic method of finding the greatest of least value of function. Computer J., Vol. 3, pp. 175-184.
- Rampon A. 1987.** Sédimentation et barrages. Erosion et transport. Les dépôts dans les barrages. Division mécanique des sols et génie civil. CEMAGREF, antony. mémoire n°18, 210p.
- Wischmeir W.H. et Smith D.D. 1978.** Predicting rainfall erosion losses. Aguide to conservation planning U.S. Departement of Agriculture. Agriculture Handbook n° 537, 58p.