

**QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE  
sur les micro-bassins versants de TEBABA (Tunisie centrale)**

**BERGAOUI Mohamed (\*), CAMUS Henri (\*\*), NOUVELOT Jean François.(\*\*\*)**

---

**Résumé :** le but de cette étude est de connaître les facteurs explicatifs des processus d'érosion et de tenter de modéliser le transport solide du à l'érosion hydrique dans la zone semi-aride de Tunisie centrale en s'appuyant sur les observations effectuées au niveau de trois micro-bassin versants expérimentaux durant la période 1987-1994. Le traitement et l'analyse des données nous ont permis d'aboutir aux résultats suivants :

l'averse génératrice d'écoulement peut être définie par la notion de précipitation limite de ruissellement. Le transport solide pourrait être expliqué par l'intensité de la pluie, le débit maximum et la lame ruisselé. Enfin, la tranposabilité du modèle d'un bassin à l' autre est liée au problème d'échelle de transfert.

**Mots clés :** bassin versant, semi-aride, précipitation, ruissellement, transport solide, modélisation.

**ABSTRACT : MODEL FOR SEDIMENT TRANSPORT IN CATCHMENT AREAS IN  
TEBAGA CENTRAL TUNISIEN**

The objective of this study is to determine the factors invalved in the processes of erosion and to attempt to develop models for sediment transport due to water erosion in the semi-arid region in central Tunisia this study is based on observations recorded at three experimental catchment areas during the 1987-1994 period.

The data anlysis shawed the following results. Rainfall that generates erosion can be defined by the characteristics of the precipitation in association with runoff. The sediement transport can be expained by the rainfall intensity, the maximum volume and the eroded area. The transposition of the model from one catchment to the next is associated with the transfer scale.

**key words :** Catchment, Rainfall, Runoff, Sediment transport, semi-arid, modelling

---

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

(\*\*) Hydrologue, mission ORSTOM de Tunis (Tunisie).

(\*\*\*) Hydrologue, mission ORSTOM de Gomez Palacio (Mexique)

## INTRODUCTION

Dans les zones semi-arides, voire arides, caractérisées par des précipitations rares et très irrégulières mais souvent agressives, les facteurs climatiques ont un rôle considérable sur les pertes en terre. En effet, en arrivant au sol, la pluie agit de différentes manières à savoir : la hauteur de pluie les particules du sol détachées par l'effet de splash se trouvent par la suite transportées par ruissellement. Dans les cas les moins favorables, ces particules finiront, en un temps plus ou moins long, par venir se déposer dans les retenues, provoquant ainsi leur envasement, limitant par la même leur capacité de stockage et bien sur 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 et de maîtriser les processus élémentaires et mis en évidence. Une fois cette connaissance acquise, il est alors possible de générer un modèle, physique ou déterministe, pour quantifier les sédiments transportés.

Les résultats présentés dans cette note sont relatifs aux observations faites sur les micro-bassins expérimentaux de Tebaga au cours de la période 1987-1994. Nous avons dans un premier temps, étudié les conditions de ruissellement en introduisant la notion de pluie limite. Ensuite, en prenant en compte les averses génératrices d'écoulement et d'érosion, nous avons ajusté un modèle statistique de régression multiple qui a donné des résultats satisfaisants. Enfin, nous avons étudié l'effet d'échelle sur le modèle retenu.

## I - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES MICRO-BASSINS VERSANTS DE TEBAGA

Les micro-bassins versants expérimentaux de TEBAGA sont situés dans le bassin versant de l'oued Ez-Zioud sur le djebel Semmama à une quinzaine de kilomètres de la ville de Sbeitla (Tunisie centrale ; cf. fig ). L'oued Ez-Zioud conflue avec les oueds Ed-Dhiar et oued Diss pour former l'oued El Hissiane. (cf. fig.n°1).

### I 1 Caractéristiques physiques.

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

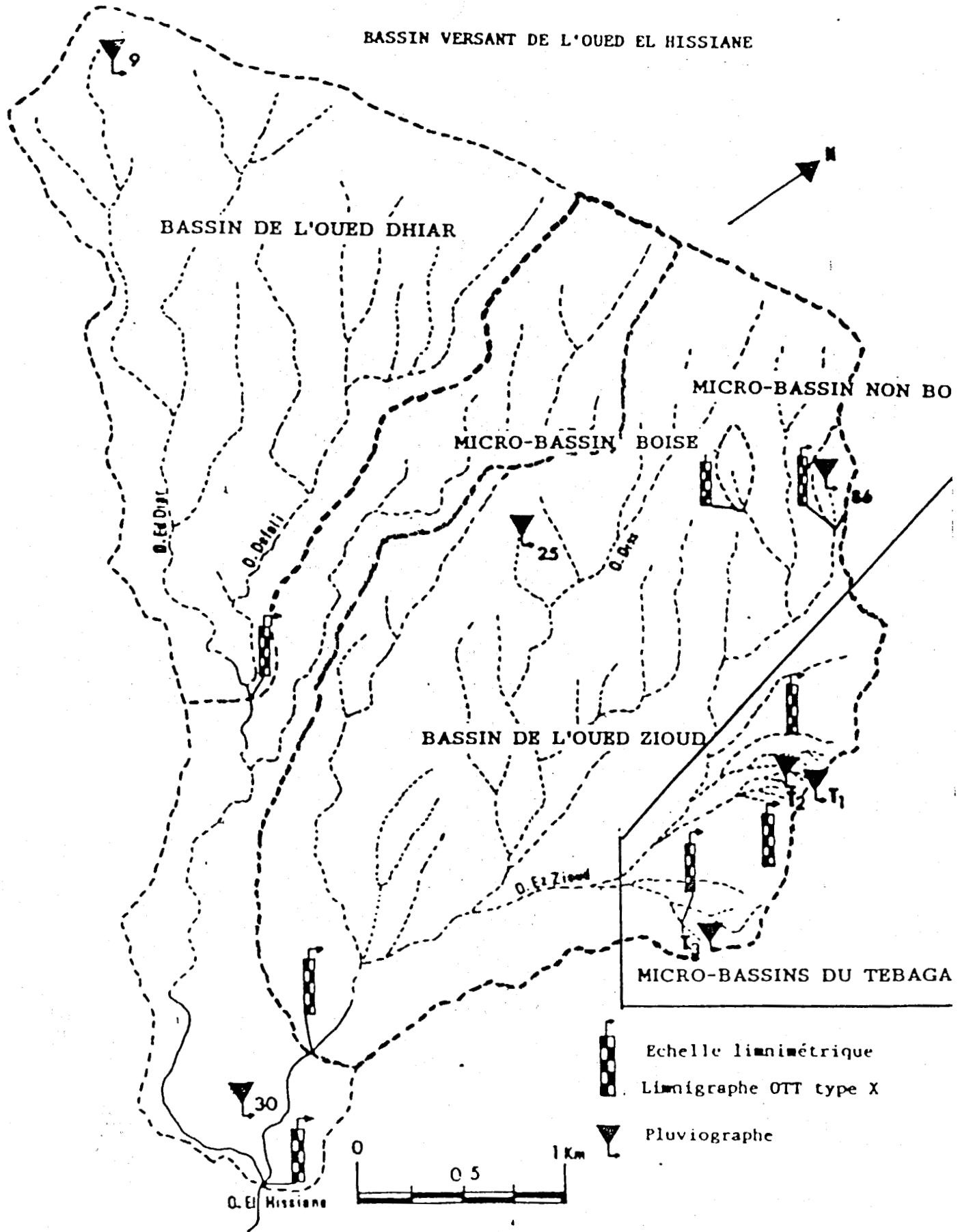


Fig. 1 - Le bassin versant de l'Oued EL HISSIANE

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

Nom du bassin versant		TEBAGA 1	TEBAGA 2	TEBAGA 3
Surface	km <sup>2</sup>	0,0081	0,0079	0,0332
Périmètre	Km	0,360	0,360	0,750
Coefficient de forme : Kc		1,13	1,20	1,15
Longueur du rectangle équivalent	Km	0,103	0,129	0,229
Largeur du rectangle équivalent	Km	0,078	0,061	0,180
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	m/km	567	400	250
Indice de pente de ROCHE : Ip	m/km	0,79	0,66	0,46
Dénivelée spécifique : Ds	m	53,5	35,5	45,51

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 pluviométriques et possèdent en plus une série de fosses à sédiments pour la mesure du transport solide [Camus H. et al., 1987]. Ce dernier est récupéré dans la fosse à sédiments, vidée et récurée après chaque crue, dans la mesure où les événements ne sont pas trop rapprochés dans le temps. Les dépôts sont ensuite séchés à l'air, pour être ensuite pesés et analysés en laboratoire.

## I 2 - AMENAGEMENTS ANTI-EROSIFS

Les travaux d'aménagement anti-érosifs des trois micro-bassins versants ont été réalisés 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 Tebaga 1 et Tebaga 3 ont été achevés en octobre 1990, ceux de l'oued Ez-Zioud au courant de l'année 1992. Le micro-bassin de Tebaga 2 a été conservé en l'état comme bassin-témoin.

Une mise en défens a 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 dans le lits des oueds". Le rôle des cordons pierreux est avant tout d'intercepter une partie du ruissellement et surtout de permettre le stockage des matériaux grossiers. Ces cordons disposés parallèlement aux courbes de niveaux jouent également un rôle de frein hydraulique en augmentant la rugosité du sol par ailleurs déjà élevée.

## II Analyse du ruissellement.

L'étude est développée à partir des données collectées durant la période 1987-1994. Pour le micro-bassin de Tebaga 2, non aménagé, on dispose ainsi de 7 années de mesures. Pour les deux autres bassins, la chronique des valeurs se divise en deux ; l'une avant aménagement de 1987 à 1990, l'autre après aménagement de 1990 à 1993. Tous les résultats du dépouillement des données brutes se trouvent dans le rapport de Mouelhi 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 du 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>	22,8	26,5	26,3
<i>Hauteur ruisselée maximale (mm)</i>	3,7 (08/08/1989)	4,9 (08/08/1989)	5,2 (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 peut-être à attribuer, en partie, aux erreurs de mesures.

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

	<i>TEBAGA 1</i>	<i>TEBAGA 2 (sans aménagement)</i>	<i>TEBAGA 3</i>
<i>Période d'observation</i>	1990 - 1994	1990 - 1994	1990 - 1994
<i>Nombre total d'événements</i>	160	160	137
<i>Nombre d'événements engendrant un ruissellement</i>	56 (33%)	56 (33%)	36 (23%)
<i>Hauteur ruisselée (mm)</i>	38,1	79,8	30,8
<i>Hauteur ruisselée maximale (mm)</i>	5,5 (06/11/1992)	14,1 (06/11/1992)	7,7 (06/11/1992)

Le pourcentage des crues engendrant du 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 probablement de la superficie 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 79.8 mm pour TEBAGA2 ne dépasse pas 38.1 mm sur TEBAGA1, soit une diminution de l'ordre 50%.

## II.1 Pluie limite de ruissellement

Pour définir la pluie limite de ruissellement, sur un bassin versant déterminé, on est parti du raisonnement suivant : le volume de crue est ramené à une lame d'eau supposée uniforme sur l'ensemble de la superficie du bassin versant. Une lame d'eau ruisselée de 1 mm correspond à un volume de  $10 \text{ m}^3$  par hectare.

Nous avons séparé les averses qui ont provoqué du ruissellement, en 3 classes : averses telles que la lame ruisselée est inférieure à 0.8 mm, averses ayant donné une lame ruisselée supérieure à 0.8 mm et une troisième classe d'averses sans ruissellement.

Ainsi, a pu être tracé un graphique représentant la variation de la hauteur d'averse en fonction de l'intensité maximale en 5 minutes ( fig n°2 ). Nous avons séparé les points correspondant à chaque classe par une courbe de forme hyperbolique et nous avons cherché le minimum oblique de l'hyperbole en traçant la tangente à cette courbe afin de déterminer une constante limite de ruissellement.

Ainsi, la constante limite de ruissellement représente le produit de la pluie (mm) par l'intensité maximale en 5 minutes ( mm/h). Elle est de l'ordre de  $100 \text{ mm}^2/\text{h}$ , ce qui correspond par exemple à une pluie de 10 mm tombant avec une intensité maximale en 5 minutes de 10 mm/h.

## II.2 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, provoquée en général par une averse de courte durée et de forte intensité.

Pour toute la période d'observation, 1987-1994, nous avons calculé, pour chaque année, la pluie totale et le poids du transport solide. Les tableaux n° 4,5 et 6 ci-dessous regroupent les résultats correspondant aux trois micro-bassins.

Tableau n°4 : TEBAGA 1

année	87	88	89	90	91	92	93	94
pluie (mm)	19.5	113.8	103.5	303	115	267	95	76.5
T.S (kg)	29.7	122.4	4035	1155.7	359.3	679	401	281.7
nbre de crues	3	14	13	23	9	19	9	5
Max.T .S /crue (kg)	28	53.4	2285	299.6	232.7	277.5	199	249

Tableau n°5 : TEBAGA 2

année	87	88	89	90	91	92	93	94
pluie (mm)	19.5	113.8	103.5	303	115	267	95	76.5
T.S (kg)	19.7	132.6	3354	1312.6	975.5	5400	4294	4631.4
Nbr.de crues	2	11	10	19	8	15	8	5
max du T.S/crue (kg)	18.1	51.4	1502	290	536	2259	2297.5	3512.8

Tableau n°6 : TEBAGA 3

année	87	88	89	90	91	92	93	94
pluie (mm)	35	212	202	415	390	209	205	60
T.S (kg)	0	275	5560	3249.6	194.5	110.7	71.2	81.1
nbre.de crues	0	10	7	18	5	10	3	4
max du T.S/crue (kg)	0	85.5	4008	979.6	93.8	61	35.6	47.7

Le nombre moyen de crues, sur toute la période d'observation, ayant engendré ruissellement et transport solide est de l'ordre d'une dizaine. Mais il est important de souligner qu'à partir de l'année 1990 au cours de laquelle le nombre de crues a été particulièrement élevé, il est fréquent que plus de la moitié du transport solide annuel correspond à une seule crue. La valeur moyenne du transport solide, au Tebaga2 sur 8 ans, est de 2515 kg/an, soit 318.5 t/km<sup>2</sup>/an (surface = 0.79 ha). Le transport solide maximum est de 4446.6 kg/an/ha, soit 444.6 t/km<sup>2</sup>/an (4.45 t/ha/an).

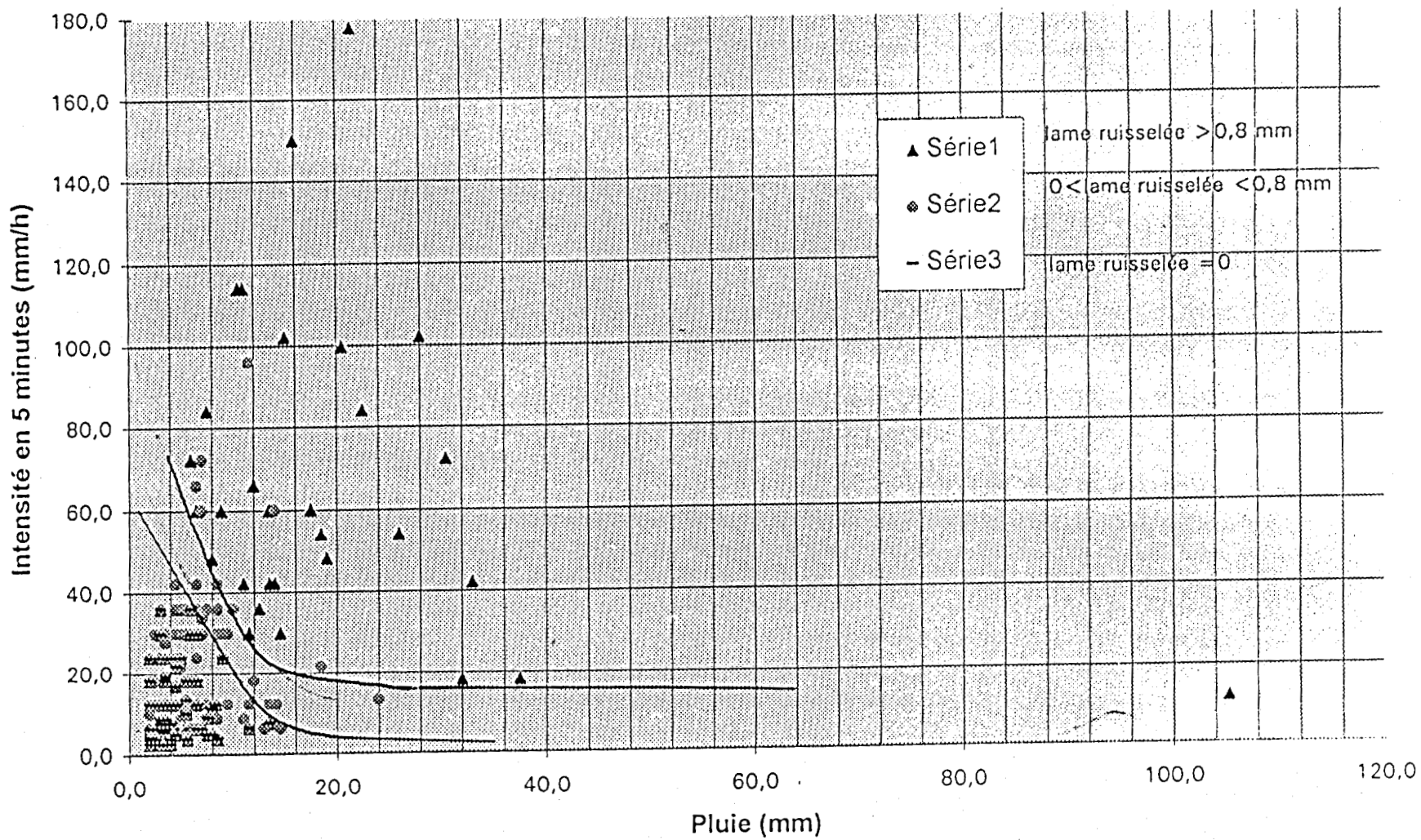
Pour la même période d'avant aménagement, 1987-1990, le transport solide spécifique est de 1.52 t/ha/an sur le Tebaga2 et de 1.65 t/ha/an sur le Tebaga1. Pour la période 1990-1994, le transport solide spécifique est de 4.8 t/ha/an pour le Tebaga2 alors que sur Tebaga1, il n'est plus que de 0.53 t/ha/an.

Le poids solide spécifique, sur Tebaga3, est de 0.91 t/ha/an avant l'aménagement du micro-bassin et de 0.034 t/ha/an après aménagement.

Le poids spécifique moyen du transport solide est du même ordre de grandeur au niveau des deux micro-bassins de Tebaga 1 et 2 (1.65, 1.52). L'écart relatif est de l'ordre de 8%. Par contre, après aménagement, l'écart relatif est de 90% le poids spécifique à Tebaga 1 ayant chuté très fortement. Cette différence tend à prouver l'efficacité des aménagements anti-érosifs réalisés sur Tebaga 1 et 3.

Fig. 2

### PLUIE LIMITE DE RUISSELEMENT TEBAGA2 1987-1994





Ainsi, les particules transportées au cours des crues se trouvent piégées en amont des différents cordons et barrages en pierres sèches. Il s'agit en grande partie des particules grossières (sable, gravier, galets). Les particules très fines en suspension ne sont pas ou peu piégées par ces travaux.

### III) MODELISATION DU TRANSPORT SOLIDE

Dans le but de déterminer les paramètres explicatifs du transport solide, et de proposer un modèle simple, basé sur une approche statistique, nous avons fondé notre démarche sur l'analyse des corrélations multiples, la variable à expliquer étant le transport solide considéré au niveau de chaque événement pluviométrique.

Le transport solide nécessite, comme toute action, une source d'énergie. De nombreux auteurs ont montré le rôle de la pluie (Smith et Wischmeir 1978, Henensal 1986, Keith et Cooley, 1980). L'énergie des gouttes précipitées désagrège les fines particules du sol qui peuvent ensuite être entraînées par le ruissellement en fonction de sa capacité de transport. Ce mécanisme commence avec le ruissellement en nappe (ELLISON, 1944 et 1945), mais très rapidement, surtout dans le cas de pentes relativement fortes, se créent des rigoles puis des ravines où le rôle érosif du ruissellement peut devenir très important

#### III.1 Etude des corrélations multiples

Le phénomène de transport solide se manifeste lors d'un événement averse-crue. C'est à dire, lorsque la pluie provoque, en plus de l'arrachement des particules du sol par l'énergie cinétique engendrée par son intensité, un ruissellement important. Nous avons sélectionné, dans un premier temps, tous les événements ayant engendré du ruissellement. Pour Tebaga 2 (bassin témoin), on a ainsi observé 100 événements dont plus de 50% ont donné un transport solide ne dépassant pas 10 kg. Nous avons testé plusieurs modèles de régressions multiples en prenant comme critère de validation le coefficient de détermination et le graphique des résidus. Nous avons ainsi constaté que les variables les plus explicatives du transport solide sont le débit maximum ( $Q_m$ ), la lame ruisselée ( $L_r$ ) et l'intensité maximale de la pluie en 30 minutes ( $I_{30}$ ).

L'étude de régressions multiples a porté sur 100 événements qui répondaient aux critères choisis. Pour le micro-bassin de TEBAGA 2 (non aménagé), les variables explicatives, citées ci-dessus, supposées être indépendantes, expliquent à elles seules 97% de la variance du transport solide.

Le modèle retenu est le suivant :

$$(1) \quad P_t = (10.56 \cdot Q_m + 6.03 \cdot L_r^2 + 0.029 \cdot (I_{30})^3) - 0.7 \cdot (I_{30})^2$$

avec:  $P_t$  transport solide (kg)

$Q_m$  débit maximum (l/s)

$L_r$  lame ruisselée (mm)

$I_{30}$  intensité maximale en 30 minutes (mm/h).

Le graphique de la figure n°3 représente le résultat du modèle venant de l'analyse par méthode de stepwise ainsi que le graphique des résidus, allure aléatoire, du même modèle.

Fig. 3

Plot of TEB2RR95.Pt

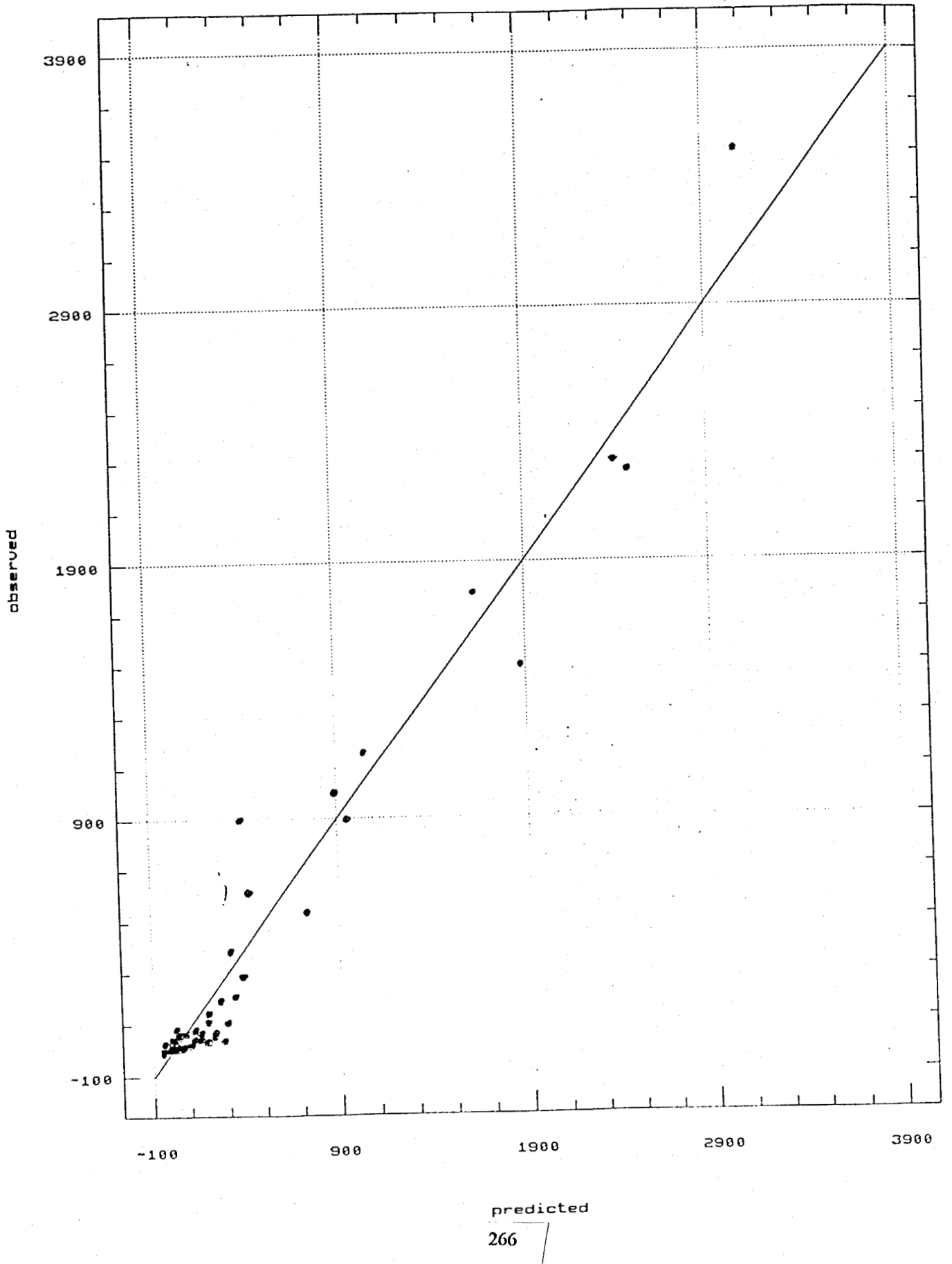
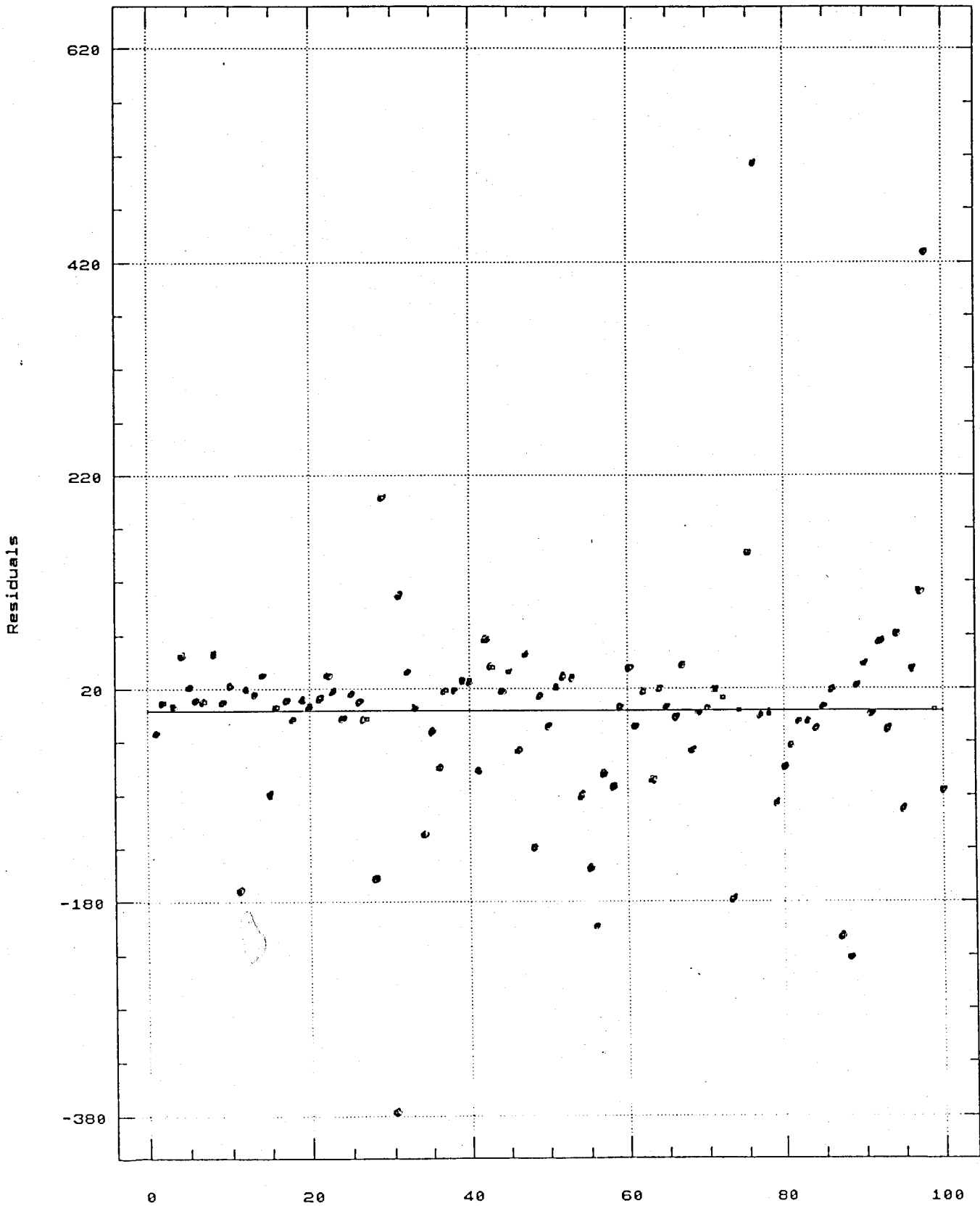


Fig.3 (suite)

Residual Plot for TEB2RR95.Pt



Index

267

### III.2. Modèle Proposé.

Ensuite, nous avons appliqué le modèle à toutes les averses qu'elles aient ruisselé ou non, en retenant les critères suivants :

- si la constante limite de ruissellement est vérifiée, c'est à dire si elle est supérieure à 100 mm<sup>2</sup>/h (seuil déterminé lors de l'étude de la pluie limite de ruissellement), le transport solide est calculé par l'équation retenue, si non il est pris égale à zéro.
- si le poids du transport solide calculé est négatif, on lui attribue également la valeur zéro.

Le modèle total s'écrira alors :

- si  $I5 \cdot P < 100 \text{ mm}^2/\text{h}$      $Pt = 0$
- si  $I5 \cdot P > 100 \text{ mm}^2/\text{h}$      $Pt = f(Qm, Lr, I30)$ , équation n°1, avec toutefois
- si  $(Qm, Lr, I30) < 0$      $Pt = 0$

Le modèle total est calé en utilisant à la fois des critères numériques et graphiques. En effet, ayant déterminé les variables explicatives par la méthode Stepwise, parmi les fonctions critères citées dans la littérature, nous avons retenu :

L'erreur relative donnée par :

$$C1 = (1/N) \cdot \text{somme}((Vc - Vo)/Vo) \quad (2)$$

Vo : valeur observée

Vc : valeur calculée

N : nombre de couples de valeurs

Vom : valeur moyenne

La fonction critère de Nash ( Nash et Sutcliffe 1970) donnée par :

$$C2 = 1 - \text{somme}((Vo - Vc)^2) / \text{somme}(Vo - Vom)^2 \quad (3)$$

Ce critère mesure l'amélioration apportée par le modèle par rapport à l'utilisation de la valeur de tendance centrale Vom. comme prédicteur.

La quantité suivante:

$$C3 = \text{somme}(Vo - Vc)^2 / \text{somme}(Vo^2) \quad (4)$$

Dans notre cas l'erreur relative trouvée est égale à - 0.01

le coefficient de Nash est de 85 %, il est différent du coefficient de détermination.

$$C3 = 0.452$$

Pour illustrer la qualité du modèle, nous avons présenté dans le même système d'axes, les valeurs observées et calculées. Le graphique de la figure n° 4 représente la chronique des valeurs observées et calculées.

Enfin, pour juger de la cohérence des deux séries ( observée et calculée), on a représenté le graphique des valeurs cumulées, fig. n° 5.

Fig.4

transport solide observé et calculé  
tebaga 2, 1987-1994

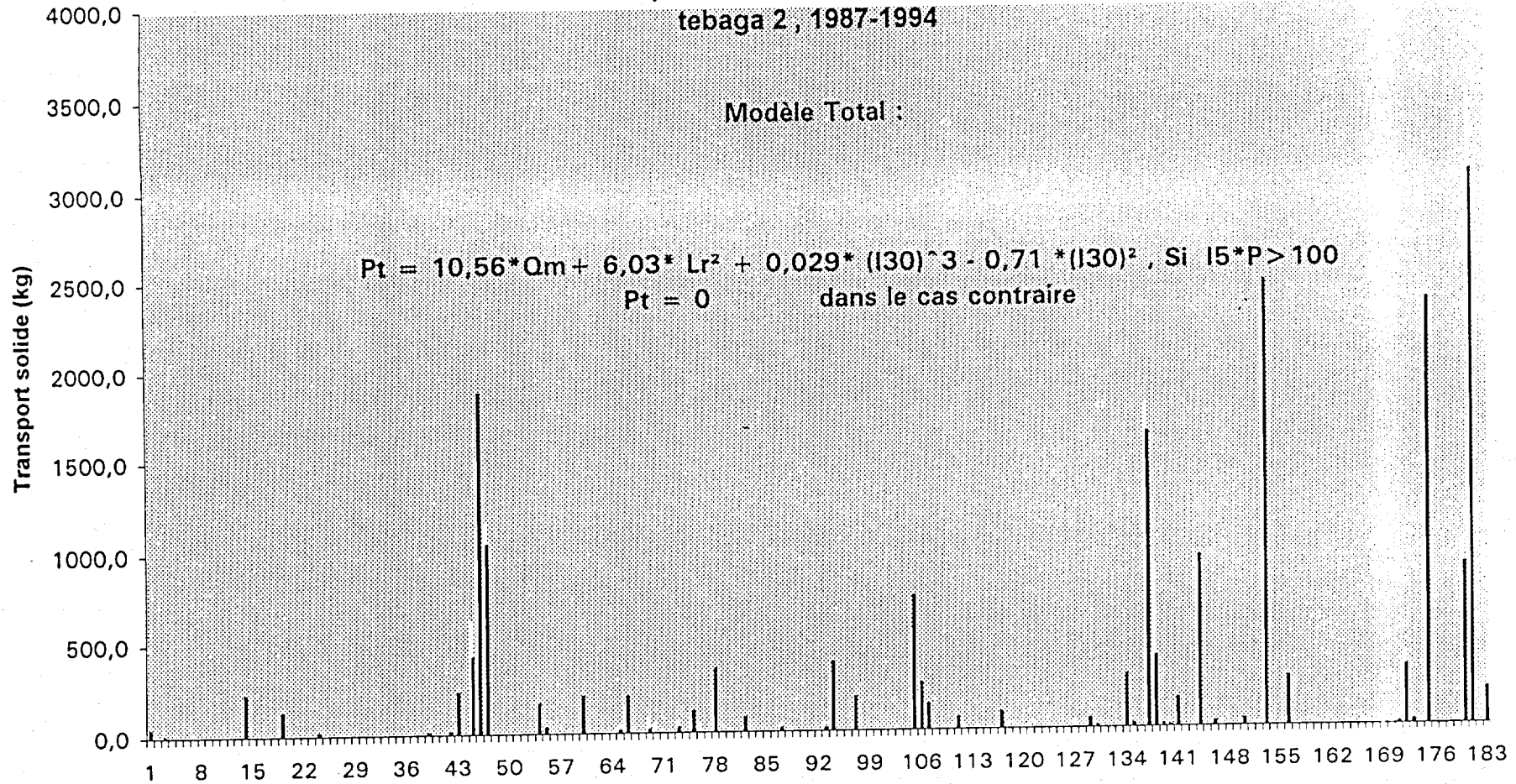
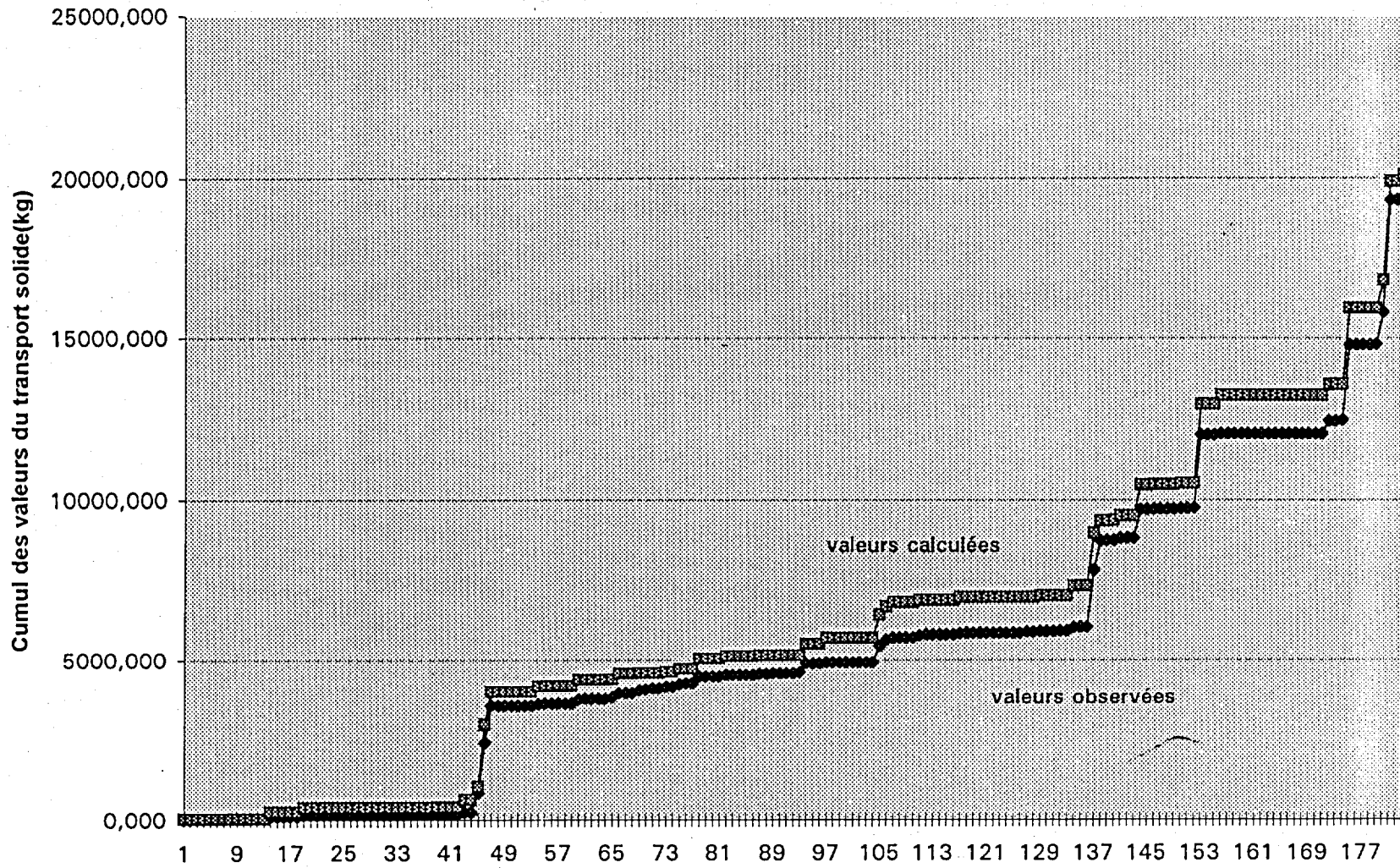


Fig.5

Courbe des valeurs cumulées  
Tebaga 2 , 1987-1994

270



Dans le modèle, on peut supposer que le terme positif représente le transport par effet splash et ruissellement, alors que le terme négatif correspondrait à la redéposition des particules qui ne parviennent pas à l'exutoire du bassin. Ce résultat semble indiquer que la quantité de transport solide qui arrive à l'exutoire du bassin versant au cours d'un événement averse-crue, est fonction, en plus des variables indiquées ci-dessus, d'un stock de sédiments disponible pour le transport.

### III.2.1 Validation du modèle

Afin de juger la stabilité du modèle, nous avons réalisé un nouveau calage sur les trois-quarts des événements sélectionnés ci-dessus (77 événements) et utilisé le quart restant (23 événements) pour la validation. Les valeurs des paramètres de l'équation de régression ont peu varié avec un coefficient de détermination de 97 %.

$$Pt = 10.50Qm + 5.98Lr^2 + 0.029 I30^3 - 0.70(I30)^2 \quad (5)$$

Dans l'ensemble le modèle reconstitue mieux les fortes valeurs que les faibles valeurs. Le coefficient de Nash calculé sur les valeurs prises pour valider le modèle est de 98 %. Nous pouvons en conclure que ce modèle est stable.

### III 2.2. Transposition spatiale

#### III 2.2.1. Avant Aménagement

Pour appliquer le modèle de régression proposé sur les deux autres micro-bassins versants expérimentaux (Tebaga1 et 3), nous avons cherché un coefficient de transfert en tenant compte des remarques suivantes :

- La superficie du bassin versant est intégrée dans le débit maximum ( $Q_m$ ) qui à lui seul explique 84 % du transport solide.
- L'arrachement des particules solides est fonction de la force de cisaillement due au ruissellement. Cette dernière qui est proportionnelle à la pente intervient avec une puissance  $3/2$ , ce qui laisse à supposer que  $Q_m$  ne peut intégrer qu'incomplètement le rôle du relief. En effet, en se référant à la formule de Strichlers le débit est proportionnel à la racine carrée de la pente.

le coefficient de transfert a donc été pris égal au rapport des pentes des micro-bassins.

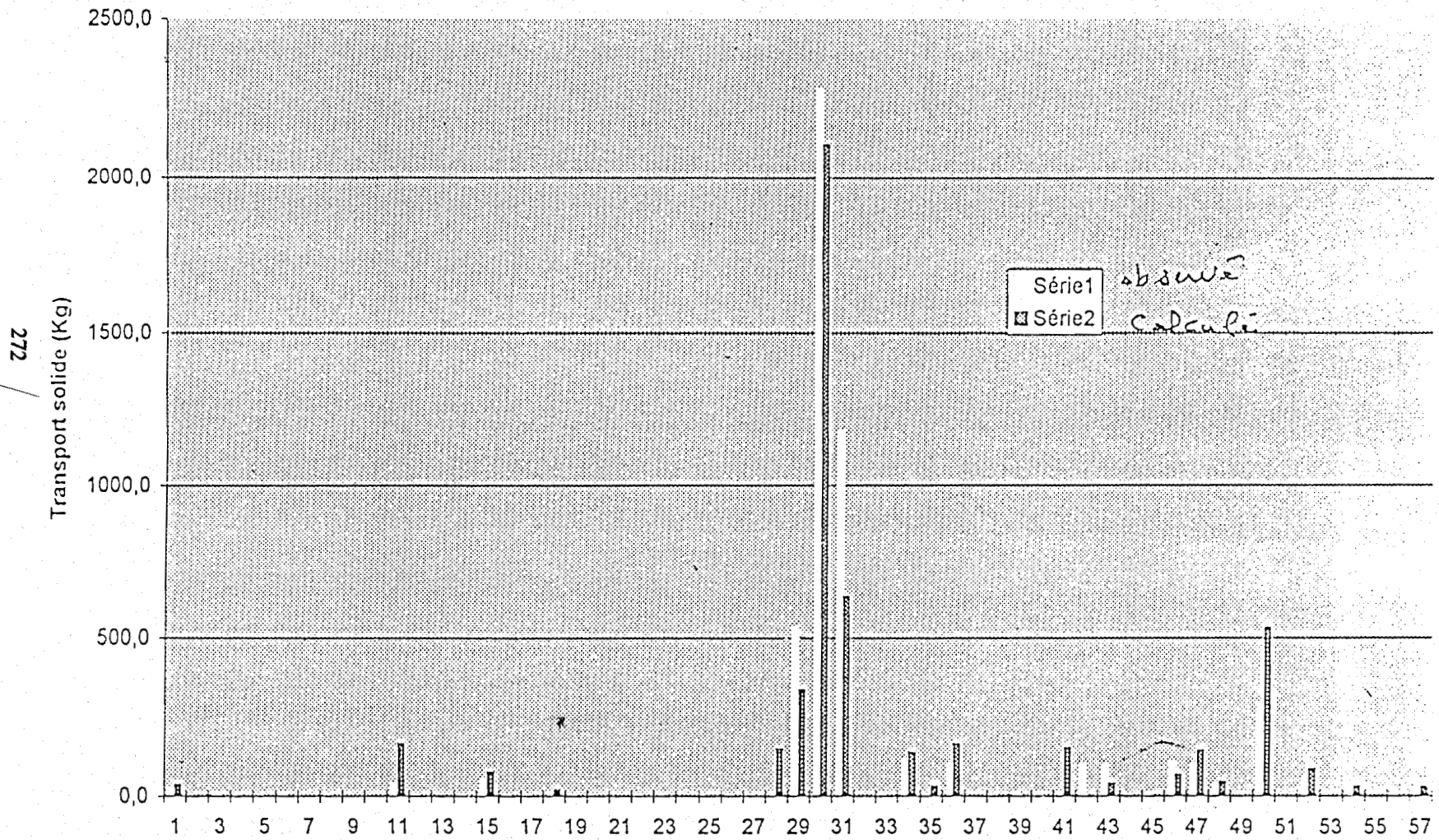
L'application du modèle sur les données de Tebaga1, échantillon de 57 valeurs, (avant aménagement) nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

Le modèle de régression validé sur Tebaga 2 reste valable moyennant l'utilisation d'un coefficient de transfert  $CT_{12}$  égale 1,43 ( $I_{g1}/I_{g2}$ ) En effet, en retenant les mêmes fonctions critères, numériques et graphique, le modèle peut simuler correctement le transport solide (figure n° 6). Les valeurs de fonctions critères sont égales à  $C1 = -0.107$ ,  $C2 = 0.92$  et  $C3 = 0.071$ . Ce dernier est égale à 0.066 pour Tebaga2.



Fig.6

Transport solide observé et calculé  
Tebaga 1 avant aménagement





### III.3. Interprétation des résultats

Dans le modèle proposé, la partie positive de la relation permettant de calculer  $P_t$  représenterait le poids des particules arrachées par splash ou par ruissellement puis transportées sur une distance plus au moins longue, la partie négative représentant la part de transport qui se déposerait avant d'arriver à l'exutoire. Le modèle retenu, applicable uniquement aux bassins non aménagés, semble expliquer correctement les variations du transport solide observé au cours d'années d'hydraulicité sensiblement différentes. Sa transposabilité à d'autres bassins versants naturels n'est possible qu'en appliquant un coefficient de transfert fonction de leur pente supposée relativement homogène. Cette dernière condition limite probablement son application à des superficies ne dépassant pas quelques hectares.

Par ailleurs, il est intéressant de souligner qu'après aménagement des micro-bassins, le débit maximal de crue est le seul facteur explicatif significatif. La lame ruisselée, qui représente la totalité du ruissellement et l'intensité maximale en 30 minutes interviennent peu ou pas, bien que ces différents facteurs ne soient pas indépendants, on peut penser que les ouvrages de conservation des sols neutralisent la capacité d'arrachement et d'entraînement d'une partie du ruissellement (y compris les particules détachées par effet splash) en diminuant sensiblement les vitesses d'écoulement. D'ailleurs, il a été montré (Bergaoui M., 1994) que les hydrogrammes de crues avaient une forme sensiblement plus aplatie que celle des hydrogrammes observés en condition naturelles.

L'approche proposée n'inclut pas le couvert végétal du sol, qui joue un rôle important dans les phénomènes d'érosion liés à la pluie et au ruissellement. Il faut cependant, préciser que sur les bassins étudiés, la végétation ne croît d'une manière significative que lors des années de forte pluviosité. En règle générale, le sol reste dénudé.

## VI CONCLUSIONS

Au cours de cette étude, il a été possible de définir un seuil minimal, prenant en compte la hauteur totale de l'averse et l'intensité maximale en 5 minutes à partir duquel l'averse pourra engendrer ruissellement et érosion. Ce seuil est à prendre en considération lors de la modélisation de la relation pluie-débit-transport solide.

Dans les conditions naturelles, le transport solide est expliqué par le débit maximum, la lame ruisselée, et l'intensité maximale de pluie en 30 minutes (130). En effet, l'érosion hydrique observée est due essentiellement au détachement des particules du sol par les précipitations, intensité, ainsi qu'à leur arrachement et à leur transfert par le ruissellement. Néanmoins, l'équation du modèle général, proposé, indique l'existence de deux termes; le premier exprimant effectivement l'effet splash ainsi que l'érosion et le transport par ruissellement et le second indiquant un phénomène de dépôt. Ce phénomène de redéposition est lié à la capacité de transport des sédiments tant sur les versants que dans les rigoles.

Cette approche globale, comme toute satisfaisante pour la prévision des pertes en terre à partir des seules données hydro-pluviométriques d'un bassin ayant fait l'objet d'un minimum de mesures d'érosion, se prête mal à une transposition spatiale des relations mises en évidence. Si dans le meilleur des cas le formalisme du modèle est transposable d'une échelle spatiale à une autre, les paramètres ne le sont pas. C'est pour cela que des différents transferts liés à la pente ont été proposés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bolline A. et al. 1988** Provisional Rainerosivity map of Belgium-Assesment of erosion.(eds)M.De Boodt et D.gabriels,pp.111-120
- Bergaoui Med.,Camus H. 1994** Etude statistique des averse sur le bassin versant de l'oued ez-zioud (Djebel semmama, Tunisie centrale).Les Annales Maghrébines de l'Ingénieur8(2):--
- 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
- Delhoume J.P., Barbery J. 1985.** Etude en mulieu semi-aride ( djebel semmama). Ruissellemnt et érosion en zone montagneuse en Tunisie centrale. resultats 1975-1978.
- Ellison W.D. 1945.** Two devices for measuring erosion.Agr.Engr.25:53-55
- Gafrej R. 1993** Modélisation Conceptuelle Du Transfert Des Matiers En Suspension . Effets D'échelles Spatio-Temporelle. Thèse De Doctarat . Université Paris 6.Oct. 1993
- 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.
- Joffre R. 1987.** Notice des cartes de la végétation du bassin versant de l'oued el hissiiane.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
- Mouelhi S. 1993** Impact des travaux antiérosif.Micro-bassin de Tebaga.Stage d'été, Juillet - Aout 1993. ORSTOM-Tunis,pp..
- Nash, J.E. et Sutcliffe, J.V. 1970** river flow forecasting through conceptual models.part I. a discussion of principles J. of Hydrol, Vol X, n03,pp.282-290
- 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.
- STCS-Système D'analyses Statistiques Et Graphiques De Statistical Graphics Corporation. "STATGRAPHICS ".1988.**
- Wischmeier,w.h.-1959** A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation.Soil sci. Soc. Amer.proc. n° 23, pp. 246-249.
- 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.

Pour Tebaga 3, échantillon de 38 valeurs, le coefficient de transfert CT23 trouvé est de 0.63 ( $Ig3/Ig2$ ). Les fonctions critères sont égales à  $C1 = 1.4$ ,  $C2 = 0.85$  et  $C3 = 0.12$ .

On remarque que les écarts entre la chronique des valeurs observées et celle des valeurs calculées à l'aide du modèle transposé sont plus faibles pour Tebaga1 que pour Tebaga3. On peut supposer que pour ce dernier micro-bassin dont la superficie correspond à quatre fois celle de Tebaga 1 et Tebaga 2, l'hypothèse de pente uniforme n'est qu'imparfaitement vérifiée.

### III.2.2 Après Aménagement

L'analyse statistique qui ne concerne que les micro-bassins aménagés, Tebaga1 et Tebaga2, a été menée comme expliquée précédemment. Les équations de regression retenues sont les suivantes :

$$\text{Tebaga 1} \quad Pt = 4.54 Qm \text{ avec } R^2 = 89 \% \quad (6)$$

$$\text{Tebaga 3} \quad Pt = 0.367 Qm \text{ avec } R^2 = 80 \% \quad (7)$$

Seul le débit maximum de crue  $Qm$  a un pouvoir explicatif significatif.

En gardant la même variable explicative, avant aménagement, on trouve:

$$\text{Tebaga 1} \quad Pt = 16.17 Qm \text{ avec } R^2 = 84 \% \quad (8)$$

$$\text{Tebaga 3} \quad Pt = 7.14 Qm \text{ avec } R^2 = 80 \% \quad (9)$$

Les rapports entre coefficient de regression avant et après aménagements sont de 3.56 pour Tebaga1 ( $16.17/4.54$ ) et de 19.5 pour Tebaga 3 ( $7.14/0.367$ ). Ainsi, l'impact des travaux, par piégage du transport solide, serait sensiblement plus important sur Tebaga 3 que sur Tebaga 1. On sait, en effet, que les aménagements ont été réalisés avec plus de rigueur et de soin sur Tebaga3, en sélectionnant les matériaux entrant dans la confection des cordons pierreux et en effectuant de nombreux contrôles topographiques.

**RESEAU  
EROSION**



**Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION**

**Pour citer cet article / How to cite this article**

Bergaoui, M.; Camus, H.; Nouvelot, J. F. - Quantification du transport solide sur les micro-bassins versants de Tebaba (Tunisie centrale), pp. 257-275, Bulletin du RESEAU EROSION n° 16, 1996.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : [beep@ird.fr](mailto:beep@ird.fr)