

**QUANTIFICATION DE L'EROSION
A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT
DE L'OUED EL KOUDGI**

(1) BERGAOUI MOHAMED

(2) ZIADI KHALIFA

RESUME

Lors des dernières décennies, le pays a observé un rythme accélère dans la mise en valeur de ces ressources hydrauliques.

Cependant, en vue de connaître préalablement l'importance des volumes de tranches mortes réservés aux atterrissements dans les retenues de barrages, afin d'assurer une longévité adéquate des réservoirs, cette communication met en exergue l'étude entreprise pour affiner la compréhension et la quantification de l'érosion.

Elle expose certaines méthodes de calcul des apports solides tout en adoptant une nouvelle méthodologie se basant sur l'utilisation des cartes topographiques et des photos aériennes.

MOTS CLEFS: érosion, érosion hydrique, ravinement, sédimentation.

ABSTRACT:

In the last decades, the exploration of hydrolic ressources has been paid more attention to decision makers. Therefore, the present erosion studies have given nisights to comprehend and quantify erosion mecanism for the protection of oued CHIBA reservoir and to extend the life span of dam and other sites.

Sediment yields are calculated theoritically by SOGREA, FOURNIER, CAVRILOVIC and Wishmeir formulaes. Those are compared with current erosion assessment given by the permanent CHIBA sediment yield station . Wishmeir formulae has been applied by using data from thematic maps compiled from areal photographs and a basic topographic maps.

KEYS WORDS : runoff, ravine erosion, sedimentation

- (1) - Ecole Supérieure de Ingénieurs de l'Equipement Rural de Medjez el Bab (Tunisie).
- (2) - Ministère de l'Agriculture, D / C-E-S, Tunis

I - INTRODUCTION

La Tunisie est un pays très venté. Le régime pluviométrique est irrégulier surtout en automne où l'on observe des averses de fortes intensités. Ces dernières accélèrent le ruissellement et provoquent même des inondations. Ainsi, la couche de terre arable se trouve transporter pour être déposée par la suite dans les lits des oueds et au niveau des retenues des barrages. C'est la raison pour laquelle il convient de développer les mesures anti-érosives afin de conserver l'eau et le sol qui sont une richesse naturelle et un des éléments de base de la vie, et pour cela, il faut quantifier l'érosion et en déterminer les facteurs.

II - L'EROSION

C'est sous l'action des divers agents érosifs et de la dégradation des berges et des lits des ravins que les sédiments transportés par les eaux du ruissellement proviennent.

L'érosion générale du sol peut prendre plusieurs formes :

- * - L'érosion hydrique qui se manifeste par la création des ravins dans les zones de conservation des eaux de ruissellement et par la dégradation de la couche superficielle des sols dont les pentes présentant une forme convexe.
- * - L'érosion par éboulement qui est due aux glissements des berges et des ravins.
- * - L'érosion par solifluxion qui se manifeste par le glissement des terrains argileux.

Qu'elle provienne de l'un ou l'autre de ces types, l'érosion n'engendre que des problèmes délicats à surmonter. En effet, la progression de ces dépôts solides engendre une perte de la capacité de stockage du réservoir, altère le rôle habituel des organes d'exploitation de l'ouvrage et raccourcit sa durée de vie. Par ailleurs, elle entraîne la sédimentation des plaines inondables.

III - CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

Cette étude est réalisée au niveau du bassin versant de l'oued EL Khoudgi qui est un sous bassin de l'oued Chiba. Cette zone est localisée dans la région du Cap-bon, (délégation de Menzel Bouzelfa, cf.fig. 1 - plan de situation). Elle couvre une superficie de 6275 Ha et a une retenue de $7,86 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ qui connaît actuellement un problème d'envasement.

La précipitation moyenne annuelle, dans cette région, est de l'ordre de 523 mm avec une variabilité plus au moins importante. Le mois d'octobre est le plus pluvieux avec 80 mm en moyenne. Les mois de Septembre à Février constituent la saison humide. Le climat est de type sub-humide inférieure.

Ce bassin versant est caractérisé par une forte pente, surtout dans les djebels et les collines où elle dépasse 30 % (dans les versants des montagnes de Sidi Abderrahmen). Il a une forme légèrement allongée et un coefficient de ruissellement de l'ordre de 15%. La carte physiographique, la carte de l'érosion (établie à partir des photos-aériennes) et les observations de terrain ont permis de constater que:

- * - Les formes d'érosion les plus marquées sont celle en nappe, par griffe et par ravinement

au niveau des parties concaves de la pente. La végétation la plus abondante, au piémont du djebel est arbustive et la plus part des terres sont réservées aux parcours.

- * - Le bassin versant, objet de notre étude, a une forme rectangulaire et une orientation générale Nord-Sud avec une chaîne de montagne qui forme la limite Nord, dont elle représente la largeur.

Dans le bassin versant d'oued El Khoudji, on trouve les unités pédologiques suivantes:

- * - Un sol non évolué, non climatique et un sol peu évolué, sol d'érosion. Ces sols sont le résultat d'érosion intense.
- * - les vertisols et paravertisols qui occupent la majeure partie du bassin versant au niveau des vallées. Ils se caractérisent par un profil différencié avec une forte teneur en argile gonflante.
- * - Les sols calcimorphes et les sols à Mull qui occupent le versant sud du djebel Abderrahmen. Dans les piémonts cultivés, le labour provoque une modification du profil dans sa structure.

Ayant ainsi cerner le type d'érosion au niveau du bassin d'oued El Khoudji (érosion hydrique), nous allons exposer certaines méthodes de calcul de l'érosion (formule universelle, formules de Fournier, SOGREAH et Cavrilovic) en comparant pour chacune de ces méthodes les valeurs théoriques aux valeurs mesurées.

IV - EVALUATION DE L'EROSION HYDRIQUE

La formule Universelle de perte en sol s'écrit sous la forme :

$$A = R * K * LS * C * P,$$

dans laquelle,

A : *perte en terre (tonne/Ha).*

R : *indice de pluie. Il représente le nombre d'unité de l'indice d'érosivité ou d'agressivité moyen annuel des pluies (caractérise la force érosive d'une pluie).*

K : *indice d'érodibilité du sol.*

LS : *les facteurs topographiques qui tiennent compte de l'effet de la longueur de la pente (L(m)) et de sa déclivité (S%) sur l'intensité de l'érosion.*

C : *indice de culture qui prend en considération l'influence des pratiques culturales et du couvert végétal.*

P : *facteur conservation du sol.*

Elle porte le nom de WISCHMEIER et SMITH et a pour but de prédire la perte en sol. Elle est appliquée sur quatre vingt deux parcelles (unités pédologiques) de superficie totale égale à 1371 Ha et dont la pente moyenne est de l'ordre de 20 %

La méthodologie à suivre pour le calcul de R est détaillée dans le rapport de M.H AHMEDI (1990). La valeur de l'érosion spécifique globale est de 4674 t/km²/an. C'est l'érosion en nappe globale qui est provoquée essentiellement par l'énergie cinétique de la pluie, sans prendre en considération l'érosion par ravinement.

Afin d'évaluer l'état de dégradation au niveau d'un bassin versant et d'analyser son degré d'instabilité potentielle, plusieurs calculs ont été établis par des géomorphologues. En 1965, CAVRILOVIC a pu utiliser ces indices sous forme d'une équation empirique de type :

$$W = T X \pi \sqrt{Z^3}$$

et

$$W_T = W * S$$

avec :

W : perte en terre en $m^3/km^2/an$.

W_T : perte en terre moyenne sur le bassin versant. (m^3/an)

T : coefficient de température.

X : pluie moyenne annuelle (mm).

S : surface du bassin versant (km^2)

Z : coefficient de l'érosion relative.

Malheureusement, cette formule présente plusieurs lacunes. Le coefficient de l'érosion (**Z**), est très délicat à estimer. En effet, il est fonction du couvert végétal, de la structure lithologique et pédologique du bassin versant et du degré de processus érosif. Donc, la bonne évaluation de l'érosion restera tributaire de tous ces coefficients.

L'utilisation de cette équation, dont les étapes de calcul se trouvent dans le rapport de M.H AHMEDI (1990), a donné une érosion spécifique de l'ordre de 1716 $t/km^2/an$.

Dans cette formule, on tient compte de tous les facteurs qui accélèrent l'érosion (topographie, texture du sol, couvert végétal...). Mais, l'effet des fortes intensités de pluies n'apparaît pas et on utilise plutôt la pluie moyenne.

Quant à la formule de FOURNIER, elle permet d'évaluer l'érosion globale. Elle est décrite par

$$AS = a * x + b$$

x = p^2/p' : indice climatique

P : pluie du mois le plus chargé de l'année (mm)

P' : pluie annuelle (mm)

AS : apport solide en $t/km^2/an$

a et b : coefficients de corrélation.

Sur la période de 1965 à 1989, l'apport solide annuel estimé par cette méthode est de 482 $t/km^2/an$.

Enfin l'utilisation de la méthode de SOGREAH qui est décrite par :

$$AS = 350 * R^\alpha$$

a donné une valeur de 658,477 $t/km^2/an$

Dans cette dernière équation, R est l'écoulement moyen annuel (mm/an). Il est égale à 67,6 mm

alpha est un coefficient dépendant de la perméabilité du sol dans notre cas $\alpha = 0.15$, donc on a:

$$AS = 350 * R^{0.15}$$

$$AS = 658,477 \text{ t/km}^2/\text{an}$$

VI - EROSION PAR RAVINEMENT

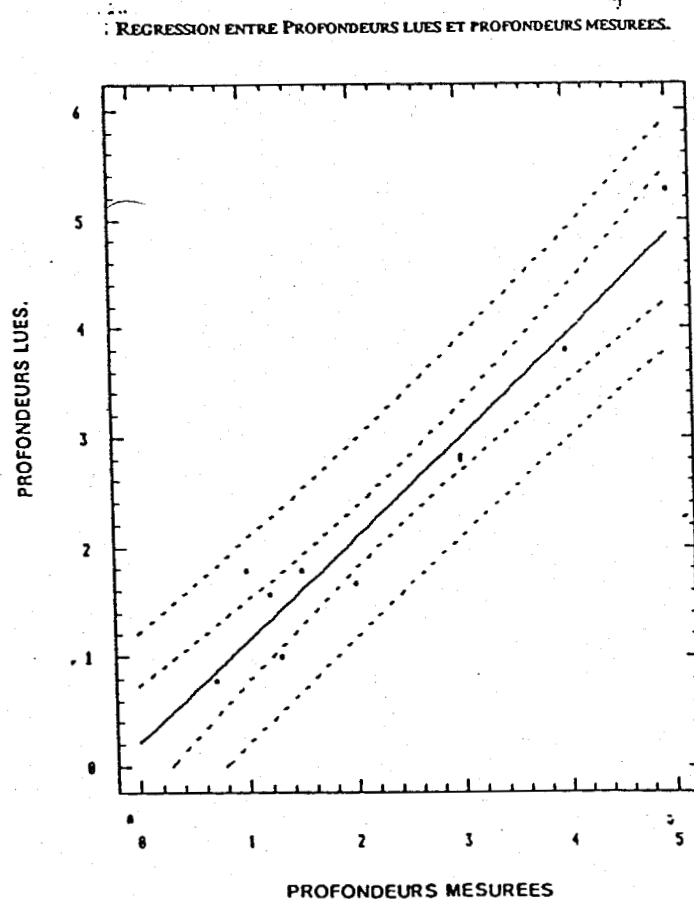
Afin d'évaluer la perte du sol par ravinement, on propose une nouvelle méthode basée sur les photos aériennes de deux missions (1974, 1989)

Tout d'abord, nous avons retenu deux hypothèses:

- * - les ravins principaux sont assimilés à un trapèze (talus de 3/2)
- * - les ravins secondaires et tertiaires ont des sections en forme de V, avec des talus de 1/1.

Dans un premier temps, en utilisant le bar-parallax, on a déterminé les profondeurs des ravins (bien entendu à partir des photos). Ensuite, on a complété ces valeurs obtenues par des mesures de profondeurs sur le terrain. La corrélation entre valeurs estimées et mesurées, est relativement très bonne ($r = 0.97$), voir figure 2.

Figure 2



Enfin, on a estimé la section moyenne transversale, en utilisant la série de mesures des profondeurs et des largeurs. La section d'un cours d'eau principal est donnée par :

$$S = (l-H/3) * H$$

avec

- S : section du cours d'eau en m^2
- H : $(Z_r^2 / (Z_r * P_r)) * \delta p$
- H₀ : profondeur du ravin en m
- Z_r : hauteur du sol au dessus du lit du ravin (m)
- p : différence de bar-parallax entre le lit du ravin et sa berge
- l : est la largeur du ravin mesurée à partir des photos aériennes.

La section des ravins secondaires et tertiaires est donnée par

$$s = H \cdot l/2$$

Pour les deux missions (1974, 1989) les résultats des pertes du sol sont regroupés dans le tableau n°1 ci-dessous.

Tableau 1 - Perte du sol par ravinement (missions 1974 et 1989)

	Terrain	section moyenne m ²	longueur du ravin Km	Volume 10 ³ m ³	Volume total 10 ³ m ³	Δ V 10 ³ m ³
1974	Ravins primaires	44,8	18	806	1 265,13	240,15
	Ravins secondaires et tertiaires	9,37	49	459,13		
1989	Ravins primaires	55,63	18,5	1 029,15	1 505,28	
	Ravins secondaires et tertiaires	10,35	46	476,13		

Ainsi, la différence en longueur des ravins, en utilisant les deux missions, nous a permis d'évaluer l'érosion par ravinement. Elle est égale à 240. 15 10³ m³.

Pour l'oued El Khoundji, la surface du bassin versant est de 13,7 km², on trouve une perte en sol de 11. 7 m³/ha/an.

Les ravins principaux ont tendance à s'éroder par les berges, mais ils conservent généralement leurs longueurs. Les lits subissent un changement de lieu. Les ravins secondaires et tertiaires, considérés les moins stables, se mettent à s'éroder en longueur.

Pour l'évaluation de la vitesse moyenne de dégradation, il faudrait définir des unités pédagogiques et géologiques dans les quelles on établira une étude détaillée sur le ravinement et faire évaluer la surface de chaque parcelle et calculer la section moyenne pondérée.

De même, une bonne estimation de l'érosion par ravinement doit se faire avant tout, en procédant à une série de mesure de longue durée (une mesure par an) avec du matériel adéquat.

Enfin, l'érosion par ravinement est due aux pluies de fortes intensités de pluie qui provoquent des crues. Il serait très judicieux d'effectuer des mesures après chaque crue.

Suite à l'évaluation de l'érosion par ravinement, on a pu tirer les conclusions suivantes :

- * la méthode utilisée paraît donner des résultats convaincants qui pourraient faciliter le travail sur terrain.

- * sur une assez longue période, 15 ans dans notre cas, les ravins principaux semblent conserver la même longueur (voir tableau n°1) et donc sont relativement érodés par les berges.
- * par contre les petits ravins ont tendance à s'éroder en longueur. On observe, une augmentation moyenne de 200 m/an. En aval, les profondeurs des ravins semblent diminuer ce qui pourrait être expliqué par la sédimentation.
- * les sols calcimorphes sont plus sensibles à l'érosion par ravinement que les vertisols. Par ailleurs, en utilisant cette approche fondée et basée sur les photos aériennes, l'établissement d'une carte d'érosion potentielle pourrait être un document fort important au niveau du plan d'aménagement des bassins versants.

Ainsi, en se basant sur le principe de superposition des cartes et ayant déjà pris connaissance des données de la zone étudiée, l'élaboration d'une telle carte sera possible.

VII - CAMPAGNE DE MESURES

La mesure directe des dépôts solides dans les retenues reste le moyen le plus fiable. Dans ce but, trois campagnes de mesure de l'envasement ont été effectuées dans la retenue du barrage Chiba dont El Khoundji est un affluent.

La première, faite en 1975 par l'ORSTOM, a donné un volume de vase de 2.650.000 m³ durant une période de 8 ans.

La seconde campagne, faite par la direction Générale des Travaux Hydrauliques en 1981, donne un volume de 1.150.000 m³.

La troisième campagne, faite durant la période d'exploitation du barrage (1967-1987), donne un apport solide total de 2.659.066 m³.

Or de 1981 à 1987, l'apport solide est de 1.509.000 m³. On constate, que durant cette dernière période, l'érosion s'est accentuée sans qu'il y ait de crues exceptionnelles. Ceci peut être dû à la surexploitation des terres, aux mauvaises façons culturales et au défrichement des forêts.

VIII - COMPARAISON DES RESULTATS

Sans entrer trop dans les détails des formules, on a essayé dans un premier volet de quantifier l'érosion. Dans ce second volet, on procède à une comparaison des résultats d'application des méthodes utilisées.

Tout d'abord, en s'appuyant sur les campagnes de mesure de l'envasement (1967, 1987), le volume total des apports solides est de 2.659.066 m³ (soit une érosion spécifique de 2624 t/km²/an).

Cette valeur mesurée, qui reste d'ailleurs la plus fiable et la plus proche de la réalité, est 4 à 5 fois plus importante que celles trouvées par Fournier et SOGREA (voir tableau n° 2, ci-après).

L'utilisation de la méthode de CAVRILLOVIC a donné un résultat qui ne dépasse pas 65% DE la valeur mesurée. En fait, ces trois méthodes, qui ne sont pas fondées sur les mêmes principes et ne s'appliquent pas de la même façon, sous-estiment l'érosion.

Quant à l'utilisation de la formule de WISCHMEIER (appuyer par l'emploi des photos aériennes); elle semble surestimer l'érosion.

Tableau 2 - Comparaison des résultats

	Valeur mesurée	Fournier	Sogreah	Cavrillovic	Wischmeier et Smith
érosion spécifique t/Km ² /an	2624	482	659	1716	5000
R%	1	18	25	65	190

*R% rapport entre valeur calculée et valeur mesurée

En effet, la valeur trouvée est presque la double de la valeur mesurée. Certes, elle met, d'ores et déjà, en évidence les difficultés rencontrées lors de son application. Cependant, bien qu'elle ne s'applique pas à des parcelles ayant une pente de plus de 24% qu'elle ne tienne pas compte du mode de déplacement des particules et n'inclue pas l'érosion par ravinement, l'approche de WISCHMEIER reste la plus intéressante pour les champs des paysans.

IX - CONCLUSION

La première conclusion de ce travail concerne l'utilisation des modèles d'évaluation du transport solide. Les formules théoriques qui ne sont pas appliquées correctement ne peuvent donner que des résultats erronés.

Ainsi, on propose d'adapter les modèles existants, en les calant et testant sur des données locales avant de se lancer dans leurs utilisation, et d'en développer d'autres en s'appuyant sur des données tunisiennes.

Sur le plan fondamental de la quantification de l'érosion, nous avons pu montré qu'il était possible d'utiliser des formules comme celle de WICHMEIER, au niveau de champs. Toutefois, le résultat d'application de ces dernières reste tributaire des paramètres du modèle utilisé.

Enfin, nous avons montré que la mesure sur terrain du dépôt solide reste le moyen le plus sûr. Il nous semble que des progrès sensibles sont à attendre dans ce domaine avec le développement d'appareils de mesures fiables et avec la prise en compte, lors du développement des modèles du transport solide, du type et de la nature des phénomènes engendrant l'érosion.