

## **Appréciation des phénomènes d'érosion hydrique des terres agricoles et de l'impact économique des travaux de protection**

CLAUDE MICHEL

*Division Hydrologie, CEMAGREF, Parc de Tourvoie, 92160 Antony, France*

RESUME On s'intéresse, dans ce document, à l'érosion hydrique des terres agricoles et l'on développe trois remarques à ce sujet.

(a) Problème de l'estimation correcte de la fréquence des événements d'érosion grave. Il est d'usage, pour estimer la fréquence d'apparition d'une érosion grave d'évaluer le nombre de tels événements pendant une durée donnée, dans une région donnée. En un lieu précis, ce calcul peut conduire à un biais important et il est proposé une autre méthode d'estimation de la fréquence.

(b) On examine les conséquences économiques de l'érosion dans deux cas de figure différents. Conséquences, d'une part, sur la rentabilité de travaux de lutte contre l'érosion et, d'autre part, sur la rentabilité d'un aménagement des terres agricoles accroissant indirectement les risques d'érosion.

(c) Devant les difficultés d'estimation *a priori* du risque d'érosion, il semble préférable d'estimer ce risque à partir d'une enquête auprès des utilisateurs des sols agricoles et de ne faire intervenir l'USLE (Wischmeier & Smith, 1965) que comme un instrument de cohérence et d'extrapolation spatiale des résultats de l'enquête.

### **APPRECIATION DE LA FREQUENCE DES EVENEMENTS D'EROSION GRAVE**

Il convient tout d'abord de rappeler le rôle prépondérant de la pluie dans tout phénomène d'érosion grave. Or, cette pluie est en général mal connue à l'endroit même où se produit un cas d'érosion grave, à cause de la très grande hétérogénéité spatiale de la pluviométrie et de la faible densité du réseau de mesures.

Dans ces conditions, une approche usuelle consiste à évaluer le nombre d'événements graves observés pendant une période donnée, dans une région donnée. On obtient ainsi une fréquence annuelle en divisant ce nombre par la durée de la période. Mais cette fréquence est relative à une région toute entière et non pas à un lieu défini. Or les décisions prises en matière d'aménagement, par un agriculteur par exemple, sont prises en un lieu précis et nécessitent donc la connaissance de la fréquence des événements en ce lieu même.

Une étude antérieure (Galea, 1980) a permis de quantifier le rapport entre un événement de fréquence donnée en un lieu fixé et l'événement maximal de même fréquence pouvant se produire en un

point quelconque d'une région homogène. Avant de résumer les résultats de cette étude, précisons ci-après le phénomène étudié et les notations employées. Nous nous intéressons à la pluie tombée en  $t$  heures, dans une région où la loi suivie par la pluie maximale est la même en tous points. Désignons par  $T$  la période de retour. Notons  $P_L$  la pluie maximale en un point donné et  $P_A$  la pluie maximale observée sur une région d'aire  $A$ . Dans les conditions suivantes:

$$7 \leq A \leq 104 \text{ km}^2$$

$$0.2 \leq T \leq 10 \text{ ans}$$

$$1 \leq t \leq 24 \text{ h}$$

et dans le climat du Bassin Parisien, on a

$$P_A(T)/P_L(T) = 1 + [\ln(1 + A)] * [0.03 + 0.026 \ln T + 0.32 \exp(-t/20)] \quad (1)$$

A titre d'exemple, considérons une zone vulnérable d'aire  $A = 200 \text{ km}^2$  et intéressons nous aux quantités de pluie tombées en  $1 \text{ h}$  de fréquence décennale. La pluie maximale locale est supposée suivre la relation:

$$P_L = 15T^{0.35} \quad (2)$$

Donc, pour  $T = 10$ ,  $P_L \approx 34 \text{ mm}$ ,  $P_A(T) / P_L(T) = 3.09$ .

Ainsi la pluie maximale sur l'ensemble de la zone de  $200 \text{ km}^2$  a pour quantile décennal  $105 \text{ mm}$ , ce qui est considérable et correspond à une pluie locale de période de retour voisine de  $260 \text{ ans}$ .

Par conséquent, un épisode pluvieux qui, pour une petite région de  $200 \text{ km}^2$  se produit avec une fréquence décennale, a en fait au niveau local une période de retour  $26$  fois plus grande. Les calculs précédents permettent donc d'apprécier la fréquence en un lieu fixé d'un phénomène exceptionnel que l'on rencontre plus couramment dans une région donnée.

## CONSEQUENCES ECONOMIQUES DE L'EROSION

Les dégâts annuels dus à l'érosion des sols agricoles sont très variables d'une année à l'autre. Leur estimation monétaire peut être assimilée à une variable aléatoire à distribution fortement dissymétrique telle que la loi Log-normale. Notons  $D$  cette variable aléatoire et soient  $D_0, D_1, \dots, D_i, \dots$  ses réalisations annuelles successives. Le coût actualisé des dommages est la variable  $\mathcal{D}$ :

$$\mathcal{D} = D_0 + D_1/(1 + a) + D_2/(1 + a)^2 + \dots + D_i/(1 + a)^i + \dots \quad (3)$$

où  $a$  représente le taux d'actualisation. Un calcul simple montre que

$$E(\mathcal{D}) = E(D) (1 + a)/a, \text{ et } \text{var}(\mathcal{D}) = \text{var}(D) (1 + a)^2 [a(2 + a)] \quad (4)$$

Bien que  $D_0, \dots, D_i, \dots$  soient des variables log-normales et dans la mesure où  $\alpha$  est assez faible, la somme  $\mathcal{D}$  est approximativement une variable normale.

Considérons maintenant deux types d'opérations tendant à améliorer l'exploitation du sol cultivable, et examinons ces deux opérations d'un point de vue économique. Pour un agriculteur donné, en l'absence de système d'assurance contre les érosions graves, le critère à retenir est de garantir la réussite de toute opération d'aménagement. Cette garantie aura toujours des limites. Il convient donc de fixer ces limites pour que le risque correspondant soit acceptable. Nous pourrions par exemple décider de la faisabilité d'une opération s'il y a une probabilité égale à 0.9 que le bénéfice actualisé global soit positif. La première opération que nous considérerons consistera en travaux de défense des sols, la deuxième en un agrandissement des parcelles pour en améliorer l'exploitation.

#### *Travaux de défense des sols*

Soit  $\mathcal{C}$  le coût actualisé de ces travaux. Et notons  $\alpha$  la proportion dans laquelle d'érosion est diminuée de leur fait. Le bénéfice global de l'opération est  $\mathcal{B} = \alpha\mathcal{D} - \mathcal{C}$ , où  $\mathcal{C}$  est une dépense certaine et  $\alpha\mathcal{D}$  une diminution aléatoire des dommages actualisés. Le critère choisi conduit à respecter la relation:

$$E(\mathcal{B}) - 1.28 [\text{var}(\mathcal{B})]^{0.5} > 0 \quad (5)$$

On en déduit:

$$\mathcal{C} < \alpha [E(\mathcal{D}) - 1.28(\text{var}(\mathcal{D}))^{0.5}] \quad (6)$$

#### *Travaux d'agrandissement des parcelles*

Si l'on tient compte uniquement de l'amélioration de l'exploitation, ces travaux conduisent à un bénéfice actualisé noté  $\mathcal{R}$ . Or ces travaux ont une incidence indirecte sur l'érosion par accroissement des longueurs de pente. Notons  $\alpha$  la proportion dans laquelle les dégâts dus à l'érosion sont augmentées consécutivement à cette opération.

Le bénéfice global de l'opération est alors  $\mathcal{B} = \mathcal{R} - \alpha\mathcal{D}$ . Le même critère que précédemment conduit à la condition:

$$\mathcal{R} > [E(\mathcal{D}) + 1.28 (\text{var}(\mathcal{D}))^{0.5}]$$

#### *Exemple numérique et comparaison des résultats*

Prenons le cas du vignoble alsacien particulièrement affecté par les phénomènes d'érosion. En se fondant sur une étude concernant les dégâts causés à ce vignoble (Schwing, 1978), on peut estimer que  $\ln(D)$  est une variable normale de moyenne 7 et d'écart-type 1.3 ( $D$  exprimé en francs 1978). Dans ce cas, et avec un taux d'actualisation de 0.08, on aboutit aux deux conditions:

$$\mathcal{C} < 16\,300 \alpha \quad \text{et} \quad \mathcal{R} > 52\,700 \alpha$$



Avec  $\alpha = 20\%$ , on obtient, respectivement:

$$C < 3300 \text{ F ha}^{-1} \quad \text{et} \quad R > 10\,500 \text{ F ha}^{-1}$$

En ce qui concerne la première opération on voit que le montant des travaux autorisés est modeste et que seules des techniques légères, à l'exclusion de gros investissements de génie civil, sont acceptables. Quant à la deuxième opération on constate l'importance du chiffre obtenu: une aggravation de seulement 20% de l'érosion pourrait dans certains cas annuler un effet positif consécutif à l'agrandissement des parcelles, évalué à  $10\,500 \text{ F ha}^{-1}$  en négligeant cette conséquence dommageable. On peut conclure de l'examen de ces deux exemples numériques que l'érosion crée des problèmes difficiles, soit quand on cherche à en réduire les effets, soit quand on sous-estime son influence dans un aménagement foncier.

### ESTIMATION DU RISQUE D'ÉROSION

La quantification de l'érosion est un problème très délicat. L'approche la plus connue est celle de l'USLE (Wischmeier & Smith, 1965)

$$E = R K L S C P$$

où:

- E perte de sol,
- R érosivité des pluies,
- K érodibilité du sol,
- L facteur lié à la longueur de la parcelle,
- S facteur lié à la pente de la parcelle,
- C facteur lié au couvert végétal,
- P facteur lié aux pratiques antiérosives.

Cette formule propose une quantification de l'érosion en nappe sur une parcelle de terre.

Les résultats que l'on obtient par application de cette formule sont entachés d'une erreur très importante. Il est à noter toutefois qu'une amélioration très sensible y a été apportée (Williams & Berndt, 1977) en introduisant à la place du facteur pluie un facteur écoulement égal à la puissance 0.56 de produit du volume écoulé par le débit de pointe. Cependant, ces quantités sont également très difficiles à estimer. Il résulte de ces considérations que des estimations *a priori*, en valeur absolue, de l'érosion des sols agricoles sont très difficiles à effectuer.

En fait, en matière d'aménagement foncier, ce qui est important, c'est de prévoir les modifications de l'érosion et non pas sa valeur exacte. Il s'agit donc de rechercher un taux d'évolution compte tenu des travaux proposés. On pourra alors utiliser l'USLE en valeurs relatives. Si  $\alpha$  est ce taux d'évolution:

$$\alpha = \frac{K'}{K} \cdot \frac{L'}{L} \cdot \frac{S'}{S} \cdot \frac{C'}{C} \cdot \frac{P'}{P} \quad (7)$$

où les facteurs primés représentent ceux prévisibles après



aménagement et compte tenu des nouvelles cultures envisageables.

Le calcul de ce taux d'évolution représente encore un travail important qui devrait pouvoir être évité lorsque c'est possible. Pour ce faire, il faut déterminer les cas où l'évolution attendue de l'érosion n'a que très peu de chances d'être dommageable. Considérons comme acquis le fait que l'érosion diffuse va de pair avec l'érosion grave. De même admettons que les modifications d'érosion dues à l'aménagement des sols agricoles sont plus faibles que celles dues aux variations de pluies. Ces deux hypothèses permettent d'estimer la sensibilité d'une région d'après l'existence, voir la fréquence, des phénomènes d'érosion grave. La procédure pour apprécier l'impact d'un aménagement des sols agricoles pourrait donc être la suivante:

(a) Y a-t-il eu dans la région étudiée des cas d'érosion grave? Si la réponse est négative, on peut, d'après les hypothèses précédentes, faire l'économie d'une estimation des modifications de l'érosion en estimant *a priori* celle-ci négligeable.

(b) Si la réponse est positive, on regarde parmi les facteurs  $K$ ,  $L$ ,  $S$ ,  $C$ ,  $P$ , ceux qui sont modifiés après aménagement et on recherche pour le produit de ces facteurs la valeur minimale constatée sur les parcelles ayant subi une érosion grave. Par exemple, supposons que les facteurs concernés soient  $L$  et  $S$ , et soient  $(LS)_0$  la valeur minimale de  $(LS)$  parmi les parcelles ayant subi une érosion grave. On effectuera alors le calcul de  $\alpha$  pour toutes les parcelles de la région où le produit  $LS$  est supérieur à  $(LS)_0$ . Selon les valeurs obtenues, il conviendra de prendre des mesures pour annuler ou limiter l'effet, au regard de l'érosion, des travaux d'aménagement envisagés.

## CONCLUSION

Le problème posé par l'érosion hydrique des sols agricoles est complexe et, dans l'état actuel des choses, une quantification *a priori*, en valeur absolue, n'est guère fiable. Pour apprécier l'impact de travaux d'aménagement des sols on est fort heureusement conduit à n'effectuer que des calculs en valeurs relatives. En admettant des hypothèses vraisemblables, on peut limiter ces calculs à des zones définies par rapport aux parcelles ayant subi dans le passé des phénomènes d'érosion grave. Cette approche met l'accent sur l'importance primordiale du facteur pluviométrie et cela d'autant plus que l'on a pu montrer que l'obtention de pluies très importantes est phénomène courant dès lors que l'on s'intéresse à l'occurrence de telles pluies dans toute une région.

REMERCIEMENTS Nos remerciements vont à l'Atelier Central du Ministère de l'Environnement (M. Charles Lilin), dont le financement a contribué à l'élaboration de ce document qui toutefois n'engage pas le dit Ministère.

## REFERENCES

- Galea, G. (1980) Analyse quantitative du phénomène de pluie ponctuelle maximale sur une surface; coefficient d'épicentrage des averses de 1 à 24 h. *Mémoire no. 14, CEMAGREF, Groupement d'Antony.*
- Schwing, J.F. (1978) L'évaluation du poids économique de l'érosion dans le vignoble alsacien. Colloque de Strasbourg, September, 1978.
- Williams, J.R. & Berndt, H.D. (1977) Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *J. Hydraul. Div. ASCE* 20(HY6).
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1965) Predictive rainfall-erosion losses from crop land east of the Rocky Mountains. *USDA Agricultural Handbook* no. 282.