

Simulation d'un bilan hydrique régional / I. el-Khazen ; sous la direction de Dr M. el Moujabber. — Extrait de : Annales de recherche scientifique. — N° 5 (2004), pp. 197-207.

Bibliographie. Figures.

I. Précipitations (Météorologie) — Liban. II. Urbanisation — Liban. III. Forêts — Exploitation — Liban. IV. Bilan hydrologique — Liban. V. Erosion — Liban.

Moujabber, M. el

PER L1049 / FA193886P

# SIMULATION D'UN BILAN HYDRIQUE RÉGIONAL

I. EL-KHAZEN

*Sous la direction de*

**Dr M. EL MOUJABBER**

*Université Saint-Esprit de Kaslik*

*Faculté des Sciences Agronomiques*

*B.P. 446, Jounieh, Liban*

## RÉSUMÉ

*Les érosions constituent un problème considérable dans le monde entier. On peut les trouver au Liban sous deux formes différentes : érosion éolienne qui s'effectue par le vent et érosion hydrique causée par les précipitations. Ces précipitations se répartissent soit par stockage à la surface du sol, soit par infiltration dans le sol, soit par ruissellement de surface. L'étude effectuée sur des maquettes représentatives de la région de Yahchouch (casa de Kesrouan) a pour but de trouver une combinaison entre les paramètres qui influencent le ruissellement par conséquent l'érosion. Le sol en tant que structure et texture, les pluies en tant que quantité et intensité, le couvert du sol que ça soit de l'urbanisation ou de la végétation et enfin la pente du terrain représentent les paramètres de cette étude.*

*Ce travail de modélisation a permis d'extraire une équation pour le ruissellement et une autre pour l'érosion. Le paramètre qui a le plus d'influence est le pourcentage de la pente qui augmente le taux de ruissellement et d'érosion alors que la végétation est le paramètre qui les réduit le plus. Ces équations ont montré une grande validité en ce qui concerne l'étude. Pour l'application de ces équations dans la vie pratique, il faut agrandir l'échelle des paramètres afin que ces équations soient plus généralisées.*

**Mots-clés :** *Précipitations, bilan hydrique, érosion hydrique, urbanisation, couvert forestier, modèle.*

## ABSTRACT

*The erosions constitute an enormous problem all over the world. We can find them in Lebanon in two different forms: wind erosion and water erosion caused by rain. The rainwater is ramified either by being reserved on the surface of the ground or by infiltration to the soil or by run-off. The goal of the study done on the representative model of Yahchouch region (Kesrwan caza) is to find a combination between the parameters causing run-off and those causing erosion. The parameters of this study are: the ground in terms of structure and texture, the rain in terms of quantity and intensity, the land cover composed by urbanization or by vegetation and the slope inclination.*

*The research done on the representative model led to two equations: one with a run-off factor and the other with an erosion factor. The slope inclination is the parameter that has the higher influence in increasing the level of the run-off and the erosion while the vegetation decrease these levels. These equations prove crucial validity of this study. Applying these equations dictate expanding the implemented scale to the real perimeter.*

**Key words:** *Rainwater, water balance, run-off, water erosion, urbanization, vegetation layer, model.*

## INTRODUCTION

Le développement urbain des sociétés est en état de croissance continue. Cette urbanisation mène à la destruction de nombreuses forêts. On assiste donc à un déboisement massif des collines et montagnes. Ces montagnes arides ne peuvent plus retenir l'eau des précipitations où la formation de ruissellement hydrique entraîne des quantités énormes de terre et différents matériaux. Les activités humaines néfastes sont représentées principalement par l'excavation chaotique des sols pour l'implantation des carrières et la construction des habitats résidentiels et des routes, l'expansion urbaine et la déforestation (incendies et coupes abusives) (Bou Kheir *et al.*, 2001a). L'érosion est énorme, ce qui cause des destructions dans les surfaces aménagées et une très grande perte d'eau.

De vastes régions du monde sont en butte à l'érosion éolienne, l'une des causes majeures de désertification. L'érosion éolienne se produit lorsque la terre est dépourvue de végétation, et elle est particulièrement grave dans les régions arides et semi-arides soumises longtemps à la surcharge et au surpâturage (FAO, 1993).

L'érosion hydrique est la forme d'érosion la plus répandue, elle cause des dégâts massifs dans pratiquement tous les pays en développement. Elle sévit là où des terres escarpées sont imprudemment cultivées et où des terres légèrement en pente sont laissées exposées aux effets de fortes pluies pendant un certain temps (FAO, 1993). C'est un problème environnemental reconnu mondialement qui cause la dégradation de la productivité des sols et de la qualité de l'eau ainsi qu'il augmente la probabilité d'inondation (Ouyang et Bartholic, 2001).

Le Liban, localisé sur la côte Est de la Méditerranée a un climat méditerranéen maritime, humide dans toute la zone côtière, dans les pentes occidentales de la montagne libanaise et même le Sud de la Békaa et le Sud-Ouest de l'Anti-Liban (Dubertret, 1955). Les précipitations annuelles varient de 200 mm/an à l'extrême Nord du plateau de la Békaa, à 1500 mm/an sur les sommets du Mont-Liban. La moyenne générale des précipitations pour le pays est de 843 mm/an (El-Fadel, 2002).

L'eau précipitée peut être stockée, infiltrée comme elle peut ruisseler en surface et ceci en fonction de la texture et la structure du sol ainsi que du couvert du sol. La répartition de l'eau dépend aussi de la quantité et de l'intensité des pluies et de la pente que représente le sol. Le bilan hydrique comprend le ruissellement hydrique, la percolation et l'infiltration dans le sol ainsi que l'évaporation qui a lieu.

Le ruissellement de surface correspond à un transfert latéral d'eau qui, au niveau d'une parcelle agricole, constitue, selon les cas, un apport ou une perte d'eau. Au niveau de l'ensemble d'un bassin versant, ces eaux de ruissellement collectées vers l'exutoire du bassin se traduisent par l'apparition d'une crue temporaire.

La présence d'un couvert forestier a tendance à réduire le ruissellement. Des expérimentations en vraie grandeur de déforestation totale d'un bassin versant ont fait apparaître, à l'exutoire, une augmentation du débit du cours d'eau de l'ordre de 10%, l'augmentation étant fonction de l'exposition au rayonnement solaire du bassin versant (Grosclaude, 1999).

Le travail de recherche est basé sur l'établissement d'un modèle simple de quantification du ruissellement superficiel donc du bilan hydrique ainsi que de l'érosion.

La modélisation est le fait d'établir des modèles formalisés, notamment en automatique, en informatique et en recherche opérationnelle.

Les problèmes de l'érosion dans le monde ont recours à des modèles d'études afin qu'on puisse réduire les transferts latéraux et leurs dégâts. La navigation sur Internet a permis à un modèle universel, le RUSLE (Revised Universal Soil Erosion Equation), et au Système d'Information Géographique (SIG) d'estimer les érosions et la perte de sol érodé (Ouyang et Bartholic, 2001).

Il existe quelques modèles fonctionnant dans la région méditerranéenne. Le modèle le plus utilisé est basé sur l'équation universelle de perte de terre (USLE, Universal Soil Loss Equation) établi par Wischmeier et Smith (1958, 1978), pour des prédictions à long terme (> 20) concernant l'érosion en nappe et en rigoles dans des parcelles agricoles (Bou Kheir *et al.*, 2001b).

Un autre modèle adapté à la région côtière libanaise qui ne prend pas en compte le facteur (L : la longueur de la pente) mais introduit le facteur capacité d'infiltration des roches (Bou Kheir *et al.*, 2001b).

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

La région choisie, pour mener l'étude, est celle de Yahchouch caractérisée par de fortes pentes avec une altitude allant de 200m à 1200m. Cette région typique du versant Ouest du Mont-Liban, présente une grande combinaison entre l'urbanisation et les différentes couvertures végétales.

Le travail s'effectue sur des maquettes qui représentent la région de Yahchouch ayant la même structure et texture de sol.

Les maquettes sont soumises à des pluies artificielles afin de pouvoir mesurer la quantité d'eau de ruissellement et de drainage dans le but de déterminer le bilan hydrique des modèles et par simulation de la région. L'utilisation de différentes combinaisons entre les différents couverts de sol ainsi que les différentes intensités de pluie et les différentes pentes a montré la présence de plusieurs paramètres qui influencent le bilan hydrique régional.

L'eau ruisselante était récoltée et mesurée (en ml) afin qu'on puisse calculer le rapport ruissellement/ quantité de pluie. On laisse après l'eau décantée pour pouvoir récupérer la quantité de sol perdue pendant la pluie c.à.d la gravité de l'érosion.

Cette expérience a eu lieu sur des pentes de 50 % et de 70 % :

Pour des différents couverts de sol :

- 100 % sol nu
- 50 % sol urbanisé + 50 % sol couvert de végétation
- 100 % sol couvert de végétation.

Pour deux intensités de pluie différentes :

- 3.222 mm/min
- 6.121 mm/min

Après l'application de la pluviométrie, le sol érodé subit un dessèchement dans l'étuve à une température de 105°C pour une durée de 24h dans le but de déterminer la quantité (en gramme) de sol perdu pour 1 m<sup>2</sup> de terrain.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de l'étude pédologique du profil Al-Khandaq de la région de Yahchouch et apparaît comme suit :

- Forme du sol : pente, raide (gradient de pente fort ).
- Abondance de cailloux à la surface : 5-15%.
- Erosion ≈ 0% (pente terrassée).
- Très faible érosion de surface.
- Profondeur des racines : >1,50 cm.
- Drainage de surface : bien.
- Profil de drainage : drainage bien modéré.

Description du profil à étudier :

- Horizon A<sub>0</sub> : 0-28 cm ayant une texture sablo-limoneuse avec de la tourbe.
- Horizon A<sub>1</sub> : 28-90 cm ayant une texture sablo-limoneuse.
- Horizon A<sub>2</sub> : 90-150 cm ayant une texture limono-sableuse.

En conclusion, le sol du profil Al Khandaq est un sol sableux ayant une très forte perméabilité.

Pour identifier l'équation de ruissellement, il faut premièrement indiquer les paramètres qui affectent le bilan et qui sont :

- La pente.

La pluviométrie :

- La quantité qui est la même pour toutes les expériences.
- L'intensité qui change suivant les expériences. Cette intensité a pris deux valeurs différentes durant les essais : 3.222 mm/min et 6.121 mm/min.

Le pourcentage d'argile est constant car la texture du sol est restée la même tout le long des expériences.

Couvert du sol :

- Urbanisation
- Végétation.

Le ruissellement collecté des maquettes durant les expériences.

Chaque expérience contient tous les paramètres cités au- dessus.

Pour trouver l'équation du ruissellement corrélant les paramètres, 48 mesures contenant les différentes valeurs des 7 paramètres ont été introduites dans le programme (STATGRAPHICS 5.0.). Le programme a marqué la présence d'un paramètre qui est le même dans toutes les expériences et qui est le pourcentage d'argile qui n'a pas varié tout le long des collectes des données.

Par suite, le modèle a été réduit à 6 paramètres et les mêmes résultats sont introduits dans le programme et l'équation déduite des échantillons en utilisant l'analyse d'une régression multiple linéaire, est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{RUISSELLEMENT} = & -46.4179 + 278.65 * \text{PENDE} + 0.13739 * \text{QUANTITE} \\ & -7.52271 * \text{INTENSITE} + 49.6196 * \text{URBANISATION} \\ & -191.88 * \text{VEGETATION.} \end{aligned}$$

$$\text{Avec : } R^2 = 0.946166$$

Le StatAdvisor du programme a indiqué que la relation entre le bilan hydrique et les 5 autres paramètres est statistiquement significative à un niveau de 99 % puisque tous les paramètres ont une valeur  $p < 0,01$ .

L'équation de l'érosion présente les mêmes paramètres que celle du ruissellement parce que sans ruissellement il n'y a pas d'érosion hydrique.

Pour trouver l'équation de l'érosion corrélant les paramètres, 48 mesures contenant les différentes valeurs des 7 paramètres ont été introduites dans le programme (STATGRAPHICS 5.0.). Le programme a marqué la présence d'un paramètre qui est le même dans toutes les expériences et qui est le pourcentage d'argile qui n'a pas varié tout le long des collectes des données.

Par suite, le modèle a été réduit en 6 paramètres et les mêmes résultats sont introduits dans le programme et l'équation est venue comme suit en utilisant l'analyse d'une régression multiple linéaire.

L'équation déduite des échantillons est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{EROSION} = & -907.274 + 2357.01 * \text{PENDE} + 0.64809 * \text{QUANTITE} \\ & -100.989 * \text{INTENSITE} + 136.039 * \text{URBANISATION} \\ & - 536.937 * \text{VEGETATION} \end{aligned}$$

Avec :  $R^2 = 0.811755$

Le StatAdvisor du programme a indiqué par rapport à la table de l'ANOVA que la relation entre le bilan hydrique et les 5 autres paramètres est statistiquement significative à un niveau de 99 %. Mais il conseille d'enlever le paramètre URBANISATION car ce terme n'est pas statistiquement significatif à un niveau de 90% puisqu'il a une valeur  $p = 0.2657$  donc supérieur à 0.10.

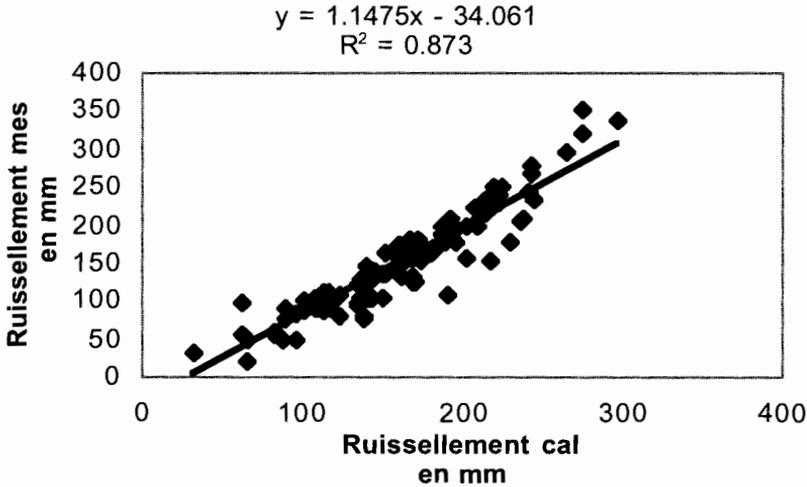
En éliminant le paramètre URBANISATION du modèle on obtient l'équation finale :

$$\begin{aligned} \text{EROSION} = & -862.844 + 2342.29 * \text{PENDE} + 0.634998 * \text{QUANTITE} \\ & -101.328 * \text{INTENSITE} - 538.408 * \text{VEGETATION} \end{aligned}$$

Avec :  $R^2 = 0.806052$

Le StatAdvisor du programme a indiqué que la relation entre le bilan hydrique et les 4 autres paramètres est statistiquement significative à un niveau de 99 % puisque tous les paramètres ont une valeur  $P < 0.01$ .

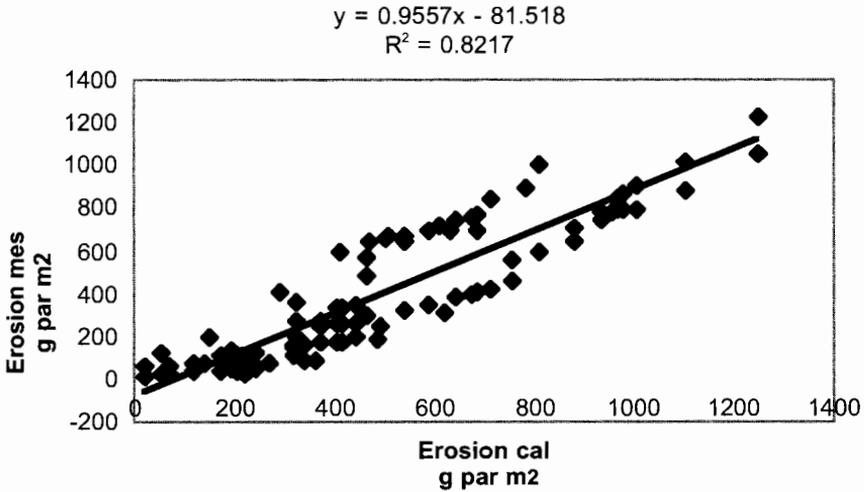
Pour la validation de l'équation du bilan hydrique, 130 données collectées des expériences effectuées sur les maquettes ont été utilisées dans l'équation dans le but de trouver la corrélation entre le bilan hydrique calculé à l'aide de l'équation et le bilan hydrique mesuré à l'aide des expériences effectuées sur les maquettes.



**Figure 1.** La validité de l'équation de ruissellement par rapport aux valeurs du ruissellement mesuré.

D'après le graphe ci-dessus (Fig. 1), on aperçoit une corrélation élevée de 0.873 indiquant la relation existante entre le bilan hydrique mesuré et le bilan hydrique calculé ce qui montre que l'équation du bilan hydrique est valide. En plus, la pente de l'équation qui est égale à 1.1475, est très proche de l'unité ce qui signifie que le modèle est performant et les points du modèle suivent presque la première bissectrice.

Pour la validation de l'équation de l'érosion, 130 données collectées des expériences effectuées sur les maquettes ont été utilisées dans l'équation afin de trouver la corrélation entre l'érosion calculée à l'aide de l'équation et l'érosion mesurée à l'aide des expériences effectuées sur les maquettes.



**Figure 2.** Validité de l'équation de l'érosion par rapport aux valeurs de l'érosion mesurée.

D'après le graphe ci-dessus (Fig. 2), on aperçoit une corrélation de 0.8217 qui est une corrélation élevée indiquant la grande relation existante entre l'érosion mesurée et l'érosion calculée, ce qui montre que l'équation du bilan hydrique est valide. De même que dans le graphe précédent, on remarque la pente de l'équation qui est égale à 0.9557, est très proche de l'unité, ce qui signifie que les points du modèle suivent presque la première bissectrice indiquant la haute performance du modèle.

## CONCLUSION

Les résultats encourageants de cette étude, nous poussent, toutefois avant de pouvoir généraliser le modèle, à le tester sur des réalités différentes.

En effet, la texture et l'effet du compactage ainsi que les pentes devraient être étudiés davantage.

En outre, l'utilisation de ces modèles d'apparence simple serait intéressant à grande échelle ; c'est ainsi que l'utilisation des nouvelles technologies comme la télédétection et le Système d'Information Géographique (SIG) seraient de grande utilité à ce propos, ce qui permettra la comparaison avec des modèles plus élaborés et plus utilisés dans le monde.

Cette approche semble être réalisable surtout que la réalisation des cartes digitalisées de la topographie, l'occupation du sol et la pédologie sont disponibles au Liban. Les informations douteuses sont l'intensité de pluie ainsi que la vérification, sur le terrain, de la validité de ces modèles.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOU KHEIR, R., GIRARD, M.C., SHABAN, A., KHAWLI, M., FAOUR, G., et DARWICH, T. 2001a. Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière montagneuse du Liban. *Télédétection*, (2): 1-22.
- BOU KHEIR, R., GIRARD, M-CL., KHAWLI, M., et ABADALLAH, C. 2001b. Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens. Etude et gestion des sols. (8): 231-245.
- DUBERTRET, L., 1955. Carte géologique du Liban au 1/20000. E. Beyrouth, République libanaise, Ministère des travaux publics.
- EL-FADEL, M., 2002. Water Resources in Lebanon Current Situation and Future Needs: 2.
- FAO, 1993. Protéger et produire. FAO Rome, Italie : 36.
- GRIL, J.-J. et DUVOUX, B., 1991. Maîtrise du ruissellement et de l'érosion. CEMAGREF (ed.) :14-15.
- GROSCLAUDE, G., 1999. L'eau. Milieu naturel et maîtrise, tome 1. INRA : p. 20-24.
- OUYANG, D., et BARTHOLIC, J. 2001. Web-Based GIS application for soil erosion prediction.
- THORNES, J-B., 1995. Mediterranean desertification and the vegetation cover. *In: Desertification in a European context: physical and socioeconomic aspects.* FANTACHI, R., PETER, D., BALABANIS, P., RUBIO, J-L. (ed.). European Commission Report EUR 15415. 169194.