

Mesure et Modélisation de l'Erosion Hydrique des Sols agricoles au Maroc et au Québec

**Marc Duchemin¹, Moncef Benmansour²,
Asmae Nouira² et Jacques Gallichand³**

¹*Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA)
2700 rue Einstein Sainte-Foy, Québec, Canada, G1P 3W8 : Marc.Duchemin@irda.qc.ca*

²*Centre National de l'Énergie, des Sciences et des Techniques Nucléaires (CNESTEN)
Rabat, MAROC, B.P 1382 R.P. 10001 : benmansour@cnesten.org.ma;
nouira@cnesten.org.ma*

³*Université Laval, Département des Sols et de Génie Agroalimentaire
Pavillon Comtois, Québec, Canada, G1K 7P4 : Jacques.Gallichand@sga.ulaval.ca*

Abstract

Soil degradation due to water erosion affects most of agricultural lands in Morocco and Québec (Canada). This phenomenon causes a progressive reduction of soil natural fertility, sedimentation of water reservoirs and decline in water quality. Reliable information about soil erosion is essential in order to evaluate the severity of the problem and to optimize strategies for soil conservation and sustainable crop production. The aim of this project, is to study water erosion in agricultural soils through two pilots sites, in Morocco and Quebec, by considering the aspects related to the erosion estimation methodologies and those of soil conservation techniques.

1. Introduction

L'érosion hydrique constitue un processus de dégradation des sols qui affecte une grande partie des terres agricoles du Maroc et du Québec (Canada). Les pertes de sols peuvent engendrer une réduction progressive de la fertilité du sol et du rendement agricole, l'envasement des cours d'eau et une diminution de la qualité des eaux. Au Maroc, une vingtaine de bassins versants localisée en amont des principaux barrages sont jugés prioritaires et les zones à haut risque d'érosion représentent environ 11 millions d'hectares. Au Québec, les sols à bon potentiel agricole couvrent moins de 2 millions d'hectares et l'érosion hydrique affecte 10% des terres agricoles en monoculture. Le gouvernement du Québec a identifié 33 cours d'eau dont la qualité est fortement dégradée par les activités agricoles des bassins versants. Le besoin d'assembler des renseignements fiables sur les pertes de sol est essentiel afin d'évaluer l'ampleur du problème d'érosion et d'optimiser les stratégies d'aménagement des bassins versants qui permettront d'assurer un développement agricole durable. Ce projet, vise à étudier l'érosion hydrique des sols en milieu agricole en s'intéressant aux aspects de conservation des sols et des eaux.

2. Matériels et méthodes

2.1 Techniques de diagnostic de l'érosion :

2.1.1 Radioéléments

Le Césium-137 et le Béryllium-7 ; radioéléments d'origines artificielle (essais nucléaires) et naturelle respectivement, déposés à la surface du sol par les précipitations, ont été utilisés dans cette étude comme marqueurs des particules fines du sol. L'estimation des taux d'érosion ou de déposition de sol peut être déterminée par la mesure de la perte ou du gain des inventaires des radioéléments (en Bq.m⁻²) par rapport à la valeur d'une référence locale établie dans un champ stable non perturbé (ex. prairie, forêt). Alors que les taux d'érosion estimés à partir du ¹³⁷Cs sont associés à des épisodes d'érosion relativement longues (demie-vie de 30 ans), ceux estimés à partir du ⁷Be offre la possibilité de suivre l'évolution à court terme (demie-vie de 53 jours) des mouvements de sol suite à un changement des pratiques agricoles. Au Maroc, le potentiel d'application de la technique de ¹³⁷Cs a été démontré par Benmansour et al., (2000), Bouhlassa et al., (2000) et Nouira et al., (2003). Cette technique a aussi été utilisée au Québec pour estimer les pertes de sol à l'échelle du champ et du bassin versant (ex : Bernard et Laverdière, 1992; Mabit et al. 2004).

2.1.2 Modélisation

Les modèles informatiques permettent de simuler l'impact des activités agricoles et des mesures de conservation sur la qualité de l'eau et des sols. L'emploi particulier des modèles d'érosion tel que l'équation universelle de perte de sol révisée RUSLE (Renard et al., 1997) permet d'estimer les taux d'érosion annuelle à partir de paramètres locaux (pluie, sol, topographie, culture). Afin de rendre la gestion des données plus conviviale, les spécialistes de l'érosion ont élaboré des systèmes informatiques adaptés aux besoins des utilisateurs; le logiciel RUSLE2 en est un exemple. La plupart des modèles mathématiques proposés pour relier l'érosion hydrique aux pertes de ¹³⁷Cs supposent que les pertes de sol sont proportionnelles aux réductions de l'activité spécifique en ¹³⁷Cs d'un sol labouré. Puisque la modélisation de l'érosion par le ¹³⁷Cs témoigne de l'ensemble des mouvements de sol à long terme, elle a été envisagée pour valider les modèles d'érosion et de transport sédimentaire (ex: Montgomery et al., 1997; Duchemin et al., 2002).

2.1.3 Mesures aux champs

En ce qui concerne la quantification *in situ* des taux d'érosion, les méthodes généralement utilisées reposent sur l'aménagement de parcelles expérimentales dotées de systèmes de mesure des flux d'eau et de collecte des sédiments transportés par le ruissellement. Suite aux précipitations, les eaux de ruissellement s'écoulent vers l'aval des parcelles où elles sont captées par des collecteurs et dirigées vers un dispositif de mesure et d'échantillonnage. Les paramètres mesurés suite aux précipitations sont les volumes d'eau ruisselée et les concentrations de matières en suspension (MES). Cette technique permet d'étudier l'influence des systèmes de gestion agricole sur les processus d'érosion.

2.2 Sites expérimentaux

2.2.1 Site du Maroc

L'étude marocaine s'est déroulée dans un champ agricole appartenant au domaine de « Marchouch » de l'INRA, localisé à environ 70 km au sud-est de Rabat. Occupant une pente de 17 %, le site est constitué de parcelles de 4 mètres de largeur par 22 mètres de longueur où le labour des céréales (blé et lentille) en semi-direct est comparé au labour conventionnel. Le sol présente une texture argileuse. La précipitation moyenne annuelle est de 405 mm. Pour la méthode des radioéléments, l'échantillonnage repose sur l'approche « transect » où les échantillons de sol sont collectés le long de la pente (100 m) du champ. Dans le cas du ⁷Be, les prélèvements sont effectués à l'intérieur des parcelles. Les échantillons de sol ont été prélevés à l'aide de tubes cylindriques en aciers qui sont introduits jusqu'à 30 cm de

profondeur pour la détermination du ^{137}Cs et 5 cm pour le ^7Be . Des champs de référence stables localisés non loin du site d'étude ont été identifiés. La modélisation avec RUSLE permet de comparer les taux d'érosion aux points des transects.

2.2.2 Site du Québec

Le dispositif expérimental québécois a été aménagé à la Ferme expérimentale de l'IRDA située à St-Lambert-de-Lauzon, à environ 30 km au sud de Québec. Il se compose de 6 parcelles de 3 mètres de largeur par 32 mètres de longueur sur un sol limoneux dont la pente est de 4,5%. Une culture de maïs-grain (*Zea mays L.*) a été établie sur les parcelles. La précipitation moyenne annuelle est de 1000 mm. Les traitements utilisés consistent en différentes techniques de travail de sol (labour, chisel et semis-direct). Chaque parcelle est munie d'un capteur d'eau de ruissellement de 3 m de largeur installé en aval des parcelles. Un système de canalisation constitué de tubes en PVC de 5 cm de diamètre relie les capteurs aux équipements de mesure (auge basculeur) et d'échantillonnage (réservoir). Ces mesures, combinées aux caractéristiques topographiques et pédologiques des parcelles, servent à alimenter le modèle d'érosion RUSLE. La procédure utilisée pour échantillonner les sols destinés aux analyses des radioéléments (^{137}Cs et ^7Be) est similaire à celle utilisée au Maroc.

3. Résultats et discussion

3.1 Estimation des taux d'érosion pour le site du Maroc

L'activité moyenne en ^{137}Cs des champs de référence est de 1440 Bq.m^{-2} alors que la zone d'érosion (activités $< 1440 \text{ Bq.m}^{-2}$) représente environ 70% de la superficie du site. Le taux d'érosion moyen obtenu par le modèle de conversion « *Mass balance 2* » (Walling et He, 1999) est de $18 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ alors que l'érosion nette correspond à une valeur de $11 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$. La détermination du taux d'érosion en appliquant le modèle RUSLE aux points des transects conduit à une valeur moyenne de $20 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$, similaire à celle obtenue avec le ^{137}Cs . Les valeurs en ^7Be du champ de référence pour 2004 et 2005 sont de 120 et 101 Bq.m^{-2} respectivement. Les activités en ^7Be du champ étudié sont comprises entre 50 et 180 Bq.m^{-2} . Les valeurs moyennes des taux d'érosion correspondant à l'événement de mars 2004 (précipitation de 48 mm) sont de 10 t.ha^{-1} pour le semi direct et de 16 t.ha^{-1} pour le labour conventionnel, alors qu'en mars 2005 (précipitation de 34 mm), les taux moyens sont estimés à 6 et 8 t.ha^{-1} . Ces premiers résultats suggèrent une réduction des taux d'érosion pour les sols soumis aux pratiques de conservation en semi direct.

3.2 Estimation des taux d'érosion pour le site du Québec

Un premier essai de mesures aux champs a été effectué d'avril à novembre 2003 sur des parcelles en culture d'orge. Les résultats obtenus indiquent des taux d'érosion moyen de $0,147 \text{ t.ha}^{-1}$ pour le labour conventionnel comparativement à $0,018 \text{ t.ha}^{-1}$ pour le semis direct. Un mauvais fonctionnement du système de mesure des volumes d'eau serait à l'origine des ces faibles taux d'érosion. Des simulations effectuées avec le modèle RUSLE pour les parcelles d'orge ont conduit à des pertes annuelles de sol de $5,8 \text{ t.ha}^{-1}$ pour le labour conventionnel et de $1,5 \text{ t.ha}^{-1}$ pour le semis direct. Une application de la technique de traçage des sédiments avec ^{137}Cs indique que l'activité moyenne des champs de référence était de 2442 Bq.m^{-2} alors qu'elle atteignait 1773 Bq.m^{-2} pour les sols agricoles. Le taux d'érosion moyen obtenu par le modèle de conversion « *Mass balance 2* » était de $5,3 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$. Pour l'application de la technique de ^7Be , le nombre d'échantillons prélevés jusqu'à présent ne permet pas de tirer des conclusions définitives sur les valeurs des taux d'érosion.

4. Conclusion

Les premiers résultats de ce projet ont permis de quantifier l'érosion hydrique des sols agricoles au Québec et au Maroc par différentes techniques et d'évaluer l'efficacité des méthodes de conservation des sols. Pour le site du Maroc, les mesures d'érosion par l'emploi du ^7Be ont montré qu'un sol soumis à un labour conventionnel accusait un taux d'érosion plus élevé qu'un sol soumis au semis direct. Par ailleurs, les taux d'érosion estimés par le modèle RUSLE conduisaient à des valeurs proches de celles estimées par le ^{137}Cs . Pour le site du Québec, les premières mesures aux champs ont permis de confirmer que le labour conventionnel engendrait une érosion plus élevée que le travail en semi direct. Le traçage des sédiments au ^{137}Cs a fourni une première indication du taux annuel moyen d'érosion à long terme pour le site de St-Lambert-de-Lauzon. L'emploi du modèle RUSLE a permis d'estimer l'impact environnemental de différents systèmes de gestion agricole à un moindre coût.

5. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le personnel technique du CNESTEN et de l'IRDA pour leur implication lors des échantillonnages et des analyses de radioéléments. Ce projet a été rendu possible grâce à la participation financière de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) et du Réseau Érosion & GCES. Les auteurs expriment également leur gratitude à M. Claude Bernard (IAEA) pour ses précieux conseils.

6. Références

- Benmansour, M., M. Ibn Majah, H. Marah, T. Marfak et D.E. Walling (2000). Use of the ^{137}Cs technique in soil erosion in Morocco - Case study of the Zitouna basin in the north. Proceeding of an International Symposium on Nuclear Techniques in Integrated Plant Nutrients, Water and Soil management . IAEA/FAO, pp.308-315.
- Bernard, C., M.R. Laverdière et A.R. Pesant (1992). Variabilité de la relation entre les pertes de césium et de sol par érosion hydrique. *Geoderma* (52):265-277.
- Bouhlassa, S., M. Moukhchane et A. Aiachi (2000). Estimates of soil erosion and deposition of cultivated soil of Nakhla watershed, Morocco, using ^{137}Cs technique and calibration models. *Acta Geologica Hispanica* (35):239-249.
- Duchemin, M., L. Mabit, M. Lachance, C. Bernard, G. Morin, R. Lagacé et M.R. Laverdière (2002). Évaluation du bilan sédimentaire d'un petit bassin versant agricole à l'aide de CEQÉROSS et des mesures au césium-137. *Agrosol* 13(1):23-34.
- Mabit L., M. Duchemin, M. R. Laverdière et C. Bernard (2004). Quantification de l'érosion hydrique et étude de l'origine des sédiments colmatant la frayère de la rivière Boyer (Québec). *Vecteur Environnement* 37(2):80-89.
- Montgomery, J.A., A.J. Busacca, B.E. Frazier et D.K. McCool (1997). Evaluating soil movement using cesium-137 and the revised universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal* (61):571-579.
- Nouira, A., E.H. Sayouty et M. Benmansour (2003). Use of ^{137}Cs technique for soil erosion study at (Casablanca region) agricultural land in Morocco. *Journal of Environmental Radioactivity* (68):11-26.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool et D.C. Yoder (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Agricultural Handbook 703, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington D.C., 404 p.
- Walling, D.E et Q. He (1999). Improved models for deriving estimates of soil redistribution rates from ^{137}Cs measurements. *J. Environ. Qual.* (28): 611-622.