

**APPLICATION DU MODEL DE PERTE EN TERRE REVISE 'RUSLE' AUX
TERRAINS FORESTIERS DU PLATEAU CENTRAL DU MAROC**

Yassin*M., S. El Bahi, K Renard et M. El Wartiti

* Centre National de la Recherche Forestière, BP. 763, Rabat-Agdal, Maroc

Résumé

L'érosion est un processus complexe: il concerne l'arrachement, le transfert et la sédimentation de particules par l'eau. A l'échelle de la parcelle, elle se manifeste par une perte en éléments fertilisants qui se traduit par une baisse de la productivité du sol. Plusieurs méthodes ont été développées pour étudier ce phénomène, cependant la modélisation mathématique reste la plus efficace pour sa quantification.

Une centaine de parcelles type « Wishmeier » ont été installées dans différentes régions du Maroc pour calibrer le modèle américain « Revised Universal Soil Loss Equation » selon les conditions climatiques, édaphiques et l'utilisation du sol du Maroc. Le modèle intègre l'ensemble des facteurs qui déterminent le phénomène d'érosion.

$$A=RKLS\text{C}P$$

- Où
- A : la perte en sol moyenne annuelle
 - R : le facteur érosivité de la pluie
 - K : le facteur érodabilité du sol
 - LS : le facteur topographique
 - C : le paramètre du couvert végétal
 - P : le facteur des pratiques anti-érosives.

Dans le présent article, les résultats et données recueillies au niveau de deux postes forestiers situés dans le Plateau central sont présentés. Le facteur R mesuré par un data logger a donné 168 MJ*mm/ha*h et 185,75 MJ*mm/ha*h pour l'année 1997 respectivement à Lalla Regraga et Aïn Guernouch et la perte en sédiments varie entre 2819,99 Kg/ha et 48,77 Kg/ha.

1. INTRODUCTION

Parallèlement à la politique d'étude et d'aménagement des bassins versants, le Ministère délégué auprès du Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes, chargé des Eaux et Forêts a conclu, avec le PNUD et la FAO, le Projet MOR/93/010 pour, entre autres, l'adaptation de l'équation universelle révisée de perte en terre «RUSLE» (Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., Mc COOL D.K. and Yoder D.C., 1997) aux conditions du Maroc. Ce modèle intègre l'ensemble des facteurs qui gouvernent le phénomène de l'érosion et les simulations représentent des valeurs moyennes annuelles de perte en terre. L'érosion est traduite comme fonction de : l'erosivité des pluies et du ruissellement (R); la susceptibilité des sols à l'érosion (K) ; de la topographie du terrain (LS) ; le couvert végétal (C) et les pratiques de conservation (P).

L'adaptation du modèle passe par trois étapes: Une première relative au développement de trois bases de données spécifiques au Maroc (climatique, culturelle et celle de travail du sol). La seconde est relative à la conversion au niveau du logiciel des unités anglaises aux unités du système SI, ainsi que la traduction des écrans de l'Anglais en français. La dernière étape, consiste en la validation du modèle moyennant des mesures directes de l'érosion. Le présent article présente quelques résultats de mesures effectuées dans la région de Rabat, sur terrain forestier, pendant l'année 1997 et le premier semestre 1998.

2. MATERIEL ET METHODES

Quoique relativement coûteuse, la méthode des parcelles d'érosion reste la plus utilisée et la plus fiable. Elle consiste en une portion rectangulaire de terrain de dimension déterminée (22 m de long sur 3 à 5 m de large), limitée sur tous les côtés par une tôle galvanisée.

Après étude du milieu physique et délimitation des unités physiographiques sur le terrain, deux parcelles juxtaposées témoins sont installées pour connaître l'érosivité de la pluie dans la zone et l'érodabilité des sols représentatifs de l'unité physiographique. D'autres parcelles sont installées sur différents types de végétation. La description détaillée de ces parcelles est représentée sur les tableaux 1 et 2.

Après chaque averse l'eau recueillie dans les réservoirs est mesurée et des échantillons d'un litre sont prélevés et leur concentration en matière solide déterminée. Ce qui permet d'avoir l'érosion globale au niveau de la parcelle. Le recouvrement du sol et sa rugosité sont mesurés à l'aide d'un profilomètre durant chaque saison et le code de perméabilité pour le calcul de K est défini après mesure de l'infiltration par la méthode du double anneau.

L'expérimentation est menée au niveau des postes forestiers de Lalla Regraga et Aïn Guernouch faisant partie du bassin versant de l'Oued Korifla (où d'autres études sont en cours).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. LE FACTEUR R : Erosivité de la pluie

A chaque site de mesure un pluviomètre enregistreur est installé et l'énergie de chaque averse est calculée à partir des données des pluviogrammes. L'averse est divisée en intervalles d'intensité uniforme et une équation d'énergie-intensité est utilisée pour chaque intervalle. Elle

Tableau 1. Description des parcelles d'érosion installées au poste forestier de Lalla Regraga.

PARCELLE N°	4011	4012	4013	4014	4015	4016
LONGUEUR	21,9 m	21,9 m	10,8 m	11,45 m	22 m	22 m
LARGEUR	3 m	3,9 m	2,75 m	3,25 m	3,2 m	11 m
SUPERFICIE	65,7 m ²	85,41 m ²	29,7 m	37,2 m ²	70,4 m ²	242 m ²
ALTITUDE	320 m	320 m	320 m	320 m	310 m	290 m
EXPOSITION	WNW	WNW	NNW	NNW	NNW	N
PENTE	31%	31%	39,5%	39,5%	37%	38%
VEGETATION	Asphodelus microcarpa Tapsia gargarica	Asphodelus microcarpa Tapsia gargarica	Chamaerops humilis Asphodelus microcarpa	Chamaerops humilis Asphodelus microcarpa	Arisarum vulgare Arislochia betica Tapsia gargarica Pistacia lentiscus	Tetraclinis articulata

Tableau 2. Description des parcelles d'érosion installées au poste forestier de Aïn Guernouch

PARCELLE N°	4021	4022	4023	4024	4025
LONGUEUR	21,9 m	21,9 m	22 m	21,3 m	22 1m
LARGEUR	3 m	3 m	9,4 m	2,9 m	2,9 m
SUPERFICIE	65,7 m ²	65,7 m ²	206,8 m	61,77 m ²	64,09 m ²
ALTITUDE	600 m	600 m	600 m	600 m	600 m
EXPOSITION	NW	NW	WNW	SW	N
PENTE	19%	19%	17,16%	29,5%	15%
VEGETATION	Asphodelus microcarpa Chamaerops humilis Rumex bucephalophorus Arisarum vulgare Tapsia gargarica Diploaxis catolyca Ormenis mixta	Asphodelus microcarpa Chamaerops humilis Rumex bucephalophorus Arisarum vulgare Tapsia gargarica Diploaxis catolyca Ormenis mixta	Le chêne liège	Rumex-bucephalophorus Lavandula stoechas Cistus monspeliensis Urginia sp. Asphodelus microcarpa Montisallca salmontica Bellis silvestris	Asphodelus microcarpa Cistus monspeliensis Lavandula stoechas Bellis silvestris Tapsia gargarica Arisarum vulgare Chamaerops humilis

est de la forme :

$$e = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05i)]$$

avec (e) MJ/ha*mm de pluie et (i) en mm/h. Les calculs sont faits pour chaque averse puis additionnés pour trouver la valeur annuelle utilisant la formule :

$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^m (E)(I_{30})_k \right]_j$	<p>Avec :</p> <p>E: énergie cinétique totale de l'averse I_{30}: Intensité maximale des pluies durant 30 mn J: indice de nombre d'années pour faire la moyenne. K: indice du nombre d'averses en chaque année. N: nombre d'années utilisées pour obtenir R moyen. M: nombre d'averses dans chaque année. R: érosivité annuelle de la pluie.</p>
--	--

Le résultat de l'application de cette formule pour les deux sites a montré qu'à Lalla Regraga, l'énergie totale de la pluie pour 1997 est 168 MJ*mm/ha*h, tandis qu'elle est de 32,85 MJ*mm/ha*h pour le premier semestre de 1998. Pour le site de Aïn Guernouch elle est respectivement de 185,75 MJ*mm/ha*h et 14,14 MJ*mm /ha*h.

3.2. LE FACTEUR K : Erodabilité du sol

La méthode de calcul de ce facteur par le nomographe (Wischmeier et al. 1971) reste la plus utilisée. Sa forme algébrique est donnée par :

$$K = [2,1 * 10^{-4} (12 - MO) M^{1,14} + 3,25(s-2) + 2,5(p-3)] / 100$$

Avec :

- K : érodabilité du sol exprimé en t ha h/ha MJ mm
- MO : % de la matière organique
- M : (%de sable fin +%de limon)
- s : la classe de structure
- p : le code de la perméabilité

L'ensemble des données recueillies sur les caractéristiques physico-chimiques du sol sont introduites dans le programme «RUSLE», une correction due à la présence des éléments grossiers en surface est faite. Le résultat (sortie du programme) est le K exprimé en système américain (ton.acre.hour/hundreds of acre. foot. ton in). Pour le convertir en Système International (t.h/MJ.mm) on multiplie par 0,1317. Ces valeurs sont présentés dans le tableau 3. La parcelle 4024 montre la plus grande érodabilité.

3.3. LE FACTEUR LS : Facteur topographique

La longueur de la pente (L) et son degré (S) sont des facteurs représentant la topographie de la parcelle. Pour des objectifs d'expérimentation, les parcelles utilisées pour déterminer les facteurs L et S, ont une surface plane. La simulation de ce facteur par le RUSLE nécessite le choix d'une table des valeurs LS. Celle ci, dépend de conditions du sol et de son aptitude à l'érosion. La sélection d'une table, peut être fonction, soit des propriétés innées du sol (texture et structure), soit du degré avec lequel le sol est modifié suite à une perturbation mécanique (généralement, les sols perturbés produisent une érosion élevée). Pour les deux sites de Lalla Regraga et Aïn Guernouch la table [4-1] du Guide d'utilisation de 'RUSLE' a été utilisée. Les valeurs de ce facteur sont données dans le tableau 4. On remarque que, dans le site de Lalla

Tableau 4. Valeurs du facteur LS pour les parcelles des postes forestiers de Lalla Regraga et Aïn Guernouch.

PARCELLE N°	4011	4012	4013	4014	4015	4016	4021	4022	4023	4024	4025
LONGUEUR (m)	21,9	21,9	10,8	11,45	22	22	21,9	21,9	22	21,3	22,1
PENTE (%)	31	31	39,5	39,5	37	38	19	19	17,16	29,5	15
FACTEUR LS	4.40	4.40	3.30	3.30	5.84	5.84	2.84	2.84	2.18	4.40	2.18

Tableau 5. Occupation du sol dans les parcelles des postes forestiers de Lalla Regraga et Aïn Guernouch.

PARCELLE N°	4011	4012	4013	4014	4015	4016	4021	4022	4023	4024	4025
OCCUPATION DU SOL (%)											
CAILLOUX	0,7	0,0	0,0	0,0	1,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GRAVIERS	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,8	14,6	14,2	4,1	17,2	12,7
LITTIERE	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	40,2	49,7	75,0	61,4	58,9
BASE	11,1	3,0	1,5	1,6	2,0	1,9	6,7	2,6	1,5	0,0	5,9
SOL NU	1,2	3,0	5,8	3,2	7,9	34,7	14,8	7,2	10,3	21,0	5,2
ARBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	69,4	67,5	0,0	0,0	71,8	0,0	0,0
ARBUSTE	0,0	0,0	53,8	69,7	0,0	0,5	0,0	0,0	6,6	29,3	26,1
HERBACEE	90,2	97,1	47,6	54,8	79,2	82,5	30,5	27,9	11,7	8,0	12,4

200

Tableau 6. Ecart type de la rugosité du sol dans les parcelles des postes forestiers de Lalla Regraga et Aïn Guernouch

PARCELLE N°	4011	4012	4013	4014	4015	4016	4021	4022	4023	4024	4025
RUGOSITE (cm)	2,61	2,28	3,47	5,44	2,73	7,29	1,25	1,77	2,70	1,44	1,93

Regraga, malgré que les parcelles 4013 et 4014 ont la plus grande pente, leur facteur LS est le plus faible en raison de leur faible longueur et que dans le site Aïn Guernouch la parcelle 4024 a le plus grand facteur LS.

3.4. LE FACTEUR C : Facteur couvert végétal

Le défrichement, les incendies, le parcours, les travaux mécaniques, la faune et d'autres activités perturbent et détruisent le couvert végétal forestier laissant le sol exposé à l'énergie érosive des pluies et du ruissellement. Malgré la variation des effets que peuvent engendrer ces activités, le facteur C peut donner des appréciations de ces conditions. Les sous facteurs majeurs agissant dans l'environnement forestier marocain n'ont pas toutes été intégrées dans le modèle. Néanmoins, on peut compter, entre autres : (1) pourcentage de sol nu, (2) canopée ou houpier, (3) reconsolidation du sol, (4) pourcentage important de matière organique, (5) racines fines et (6) rugosité du sol. La valeur du facteur C est le produit des valeurs de chaque sous facteur agissant dans une situation forestière donnée.

(1) Sous facteur: Sol nu

L'érosion est une fonction du pourcentage de sol exposé. Celui-ci est soumis au détachement sous l'effet du jet des gouttes de pluie. En terrain forestier les tâches de sol nu sont uniformément réparties. Dans les sites de Lalla Regraga et Aïn Guernouch, les mesures prises en mars 1998 sont présentées dans le tableau 5. On remarque que la parcelle 4024 a le plus grand pourcentage de sol nu.

(2) Sous facteur : Recouvrement du houpier (canopée)

Le houpier de toute végétation intercepte la pluie et retient l'eau sur son feuillage, des gouttes d'eau se forment par la suite et tombent sur le sol. Les gouttes qui tombent du houpier peuvent être plus grosses que celles des pluies d'origine, mais tombent d'une hauteur plus courte ; l'énergie des gouttes est plus faible que celle des gouttes tombant sur les parties ouvertes. Une partie de la pluie interceptée n'arrive jamais au sol parce qu'elle est évaporée durant et après l'averse, une autre partie arrive sous forme d'écoulement radical et peut contribuer au ruissellement général. Dans les sites de Lalla Regraga et Aïn Guernouch, les recouvrements de la canopée pris en mars 1998 sont répartis comme indiqué dans le tableau 5.

L'effet du recouvrement de la canopée est calculé par la formule :

$$CC = 1 - F_c * \exp(-0.1 * H)$$

où:

- CC est le sous facteur recouvrement de la canopée ;
- F_c est la fraction de terrain recouverte par la canopée ; et
- H est la hauteur d'où tombent les gouttes de pluie après avoir été interceptées par la canopée.

(3) Sous facteur reconsolidation du sol

Le sol se reconsolide et devient moins érodable après que le sol n'est plus travaillé. Dans les sites de Lalla Regraga et Aïn Guernouch seules les parcelles 4021 et 4022 ont été soumises au labour avant 1994. D'après la figure 10 de Dissmeyer et Foster (1984) la valeur de ce facteur pour ces deux parcelles est de 0.6. Les autres parcelles n'ont jamais été labourées et la valeur de ce sous facteur est donc égale à 0.45.

(4) pourcentage important de matière organique

Sous forêt permanente, s'accumule une grande quantité de matière organique. Celle-ci n'est pas prise en compte dans le nomographe de l'érodabilité qui ne dépasse pas 4% de matière organique. Wishmeier et Smith recommandent de multiplier par un coefficient de 0.7 pour tenir compte de la grande quantité de matière organique des sols humifères forestiers. Dans notre situation, le parcours et le climat ne permettent pas la formation d'un humus épais, ce qui nous évite tout ajustement.

(5) Sous facteur racines fines

Un mat dense de racines fines est généralement présent dans les 10 cm superficiels du sol forestier. Ce sous facteur a été pondéré pour les surfaces occupées par la végétation herbacée, arbustive et arborée.

(6) Sous facteur rugosité du sol

L'augmentation de la rugosité du sol réduit la capacité de transport du ruissellement par réduction de sa vitesse. Les valeurs de la rugosité du sol, mesurée à l'aide d'un profilomètre en mars 1998 dans les différentes parcelles, sont données dans le tableau 8. On remarque que les parcelles 4013 et 4014 ont le plus grand écart type à cause des touffes de palmier nain qui constituent des bosses au-dessus du sol, alors la parcelle 4024 a le plus petit écart type indiquant que la forme du terrain ne retient que peu de sédiments localement.

4.5. QUANTIFICATION EFFECTIVE DES PERTES EN TERRE

Les pertes solides au niveau de chaque parcelle ont été mesurées après chaque averse. La représentation graphique de ces valeurs montre que la tendance générale de l'érosion est la même mais le taux d'érosion varie d'une parcelle à l'autre. Un classement décroissant des parcelles selon la perte en terre à Aïn Guernouch montre que la parcelle 4024 donne le plus grand taux d'érosion, pour les raisons citées dans le texte, suivie de la parcelle 4022, 4021, 4025, 4013, 4014, 4023, 4015, 4012, 4011 et 4016 respectivement. Une analyse statistique détaillée sera réalisée quand d'autres données seront collectées sur plusieurs années et concernant tous les facteurs en relation avec l'érosion des sols.

5. VALIDATION DU MODELE ET CONCLUSION

La procédure de validation sera effectuée en utilisant les données collectées par les Services d'Aménagement des Forêts et des Bassins Versants de Tetouan, Al Hoceima, Fès, Marrakech, Agadir et le Centre National de la Recherche Forestière pour la région de Rabat.

Pour chaque occupation du sol la perte en terre sera estimée en utilisant l'équation RUSLE, puis corrélée à la perte en terre mesurée directement sur les parcelles établies à cet effet. Les valeurs mesurées sur le terrain sont reportées sur un graphique avec les valeurs estimées par le modèle RUSLE. La courbe de l'équation de régression linéaire concernant les données réelles devrait être proche de la ligne de meilleur corrélation.

Les estimations de perte en terre sont généralement meilleures pour les taux d'érosion élevés. Les données recueillies sur le terrain sont sujettes à plusieurs types d'erreurs et les données recueillies aux postes forestiers de Lalla Regraga et Aïn Guernouch concernent

seulement 12 à 14 mois de précipitations. Pour avoir une meilleure estimation de la perte en terre annuelle moyenne, il est préférable d'avoir une série de données sur une période de 10 ans. Des données fiables sur toute cette période restent encore à mesurer pour valider le modèle RUSLE sur les terrains forestiers du Maroc.

BIBLIOGRAPHIE

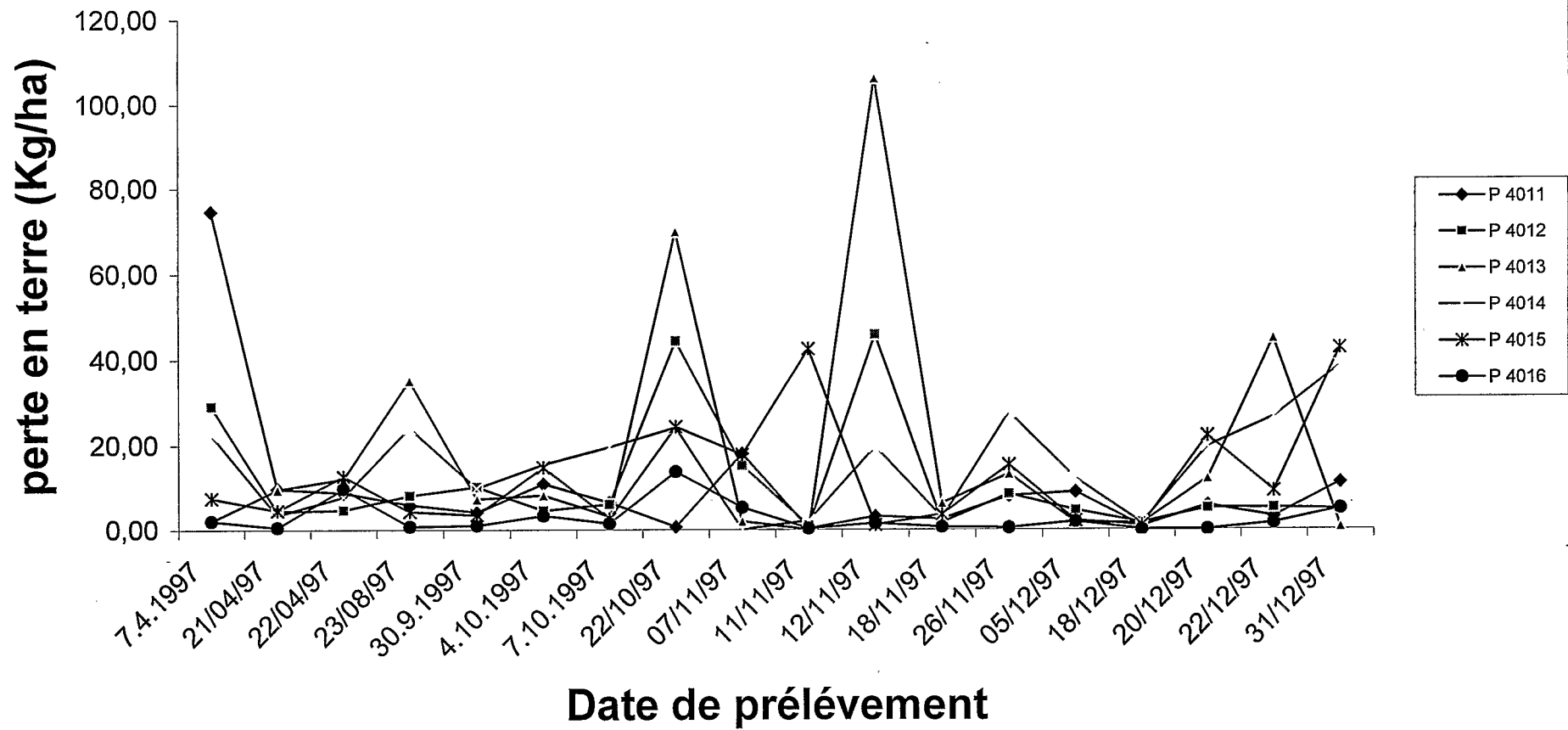
- Brown, L. C., and G.R. Foster. 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. Trans. ASAE 30 :379-386.
- Cogo, N.D., W.C. Moldenhauer, G.R. Foster. 1984. Soil loss reduction from conservation tillage practices. Soil Sci. Soc ; Am. Proc. 23:249-264.
- Dissmeyer, G.E., and G.R. Foster. 1984 . A guide for predicting sheet and rill erosion on forest land. U.S. Dep. Agric. Forest Serv. Tech. Publ. R8-TP 6.
- Renard K.G., G.R. Foster, G.A. Weessies, D.K. McCool, and D.C. Yoder. 1997. Predicting soil erosion by water : A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. N°703
- Wishmeier, W.H., C.B. Johnson, and B.V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. Soil and Water Conserv. 26 :189-193.

Tableau 3. Erodabilité du sol des parcelles de Lalla Regraga et Ain Guernouch

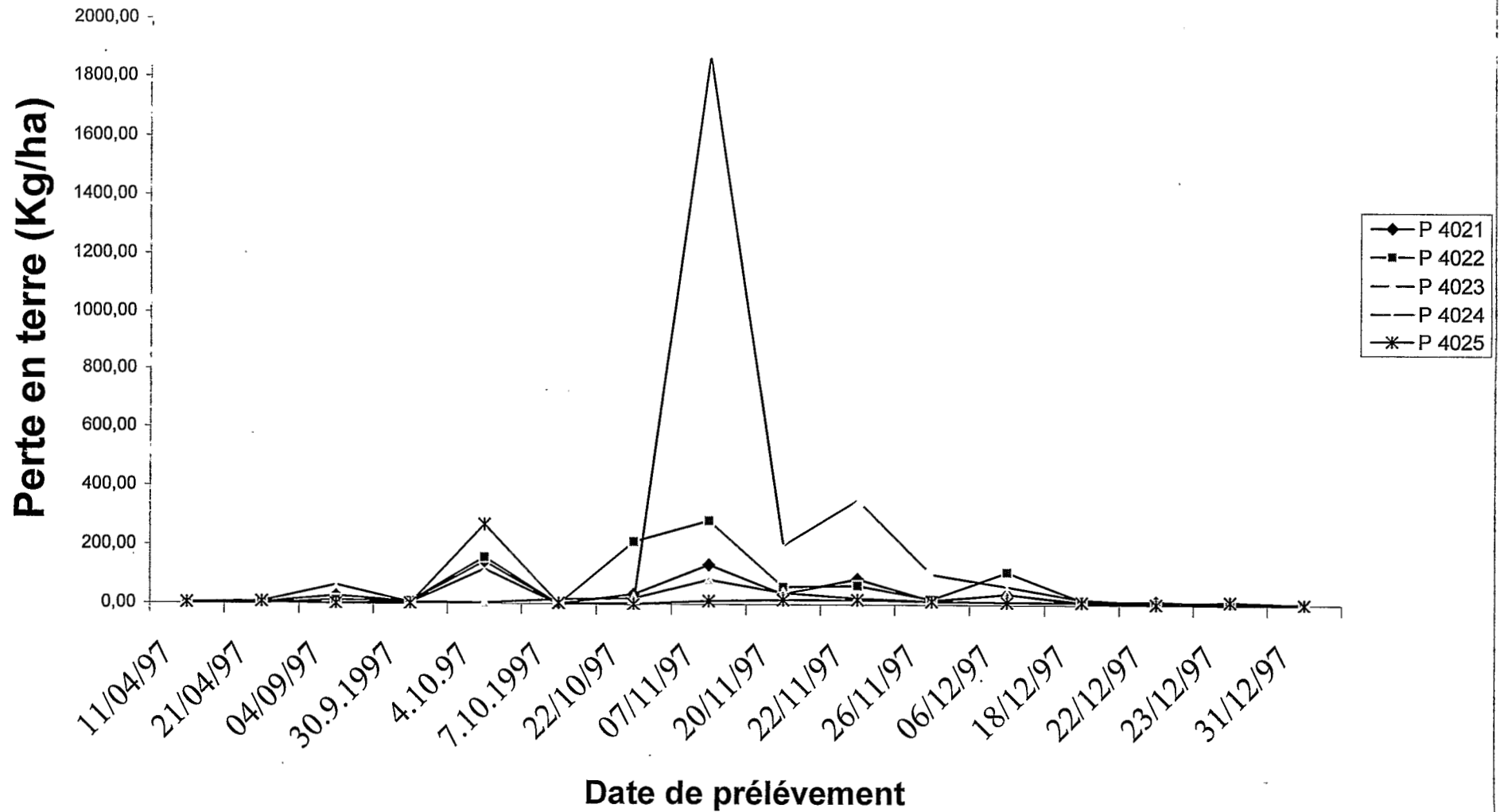
PARCELLE N°		40.11 et 40.12	40.13 et 40.14	40.15	40.16	40.21 et 40.22	40.23	40.24	40.25
ARGILES %		38,86	39,63	44,4	39,5	15,73	16,73	20,33	12,86
LIMON %	FINS	18,2	20,2	26,2	28,3	4,03	4,96	2,6	1,56
	GROSSIERS	14,13	10,3	8,1	10,6	5,6	6,26	4,8	6,76
SABLES %	FINS	15,14	15,26	6,9	6,3	16,2	15,36	15,4	13,6
	GROSSIERS	15,6	15	14,3	15,3	58,4	56,66	56,8	55,2
MO %		1,76	2,63	5,29	4,3	1,25	1,66	1,02	1,06
C%		1,02	1,53	3	2,52	0,72	0,97	0,59	0,6
CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE		0,81	2	6,92	2,24	2,9	7	6,15	1,28
CODE DE PERMEABILITE		2	2	1	2	1	1	1	2
CLASSE DE STRUCTURE		3	3	2	2	2	2	2	2
K (t.ha.h/ha.Mj.mm)		0,026	0,022	0,01	0,015	0,012	0,012	0,087	0,013

NB : En utilisant la formule générale qui détermine le facteur K on trouve les mêmes résultats donnés par le programme RUSLE

Perte en terre dans les parcelles de Lalla Regraga



La perte en terre dans les parcelles de Aïn Guernouch



**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Yassin, M.; El Bahi, S.; Renard, K.; El Wartiti, M. - Application du model de perte en terre révisé «rusle» aux terrains forestiers du plateau central du Maroc, pp. 196-205, Bulletin du RESEAU EROSION n° 18, 1998.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr