

(remplace la fiche technique n° 12-052 du MAAARO portant le même titre)

Équation universelle des pertes en terre (USLE)

K. McKague, ing.

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

L'équation universelle des pertes en terre (Universal Soil Loss Equation ou USLE) prévoit le taux annuel moyen d'érosion à long terme sur la pente d'un champ, en fonction de la configuration des pluies, du type de sol, de la topographie, du système cultural et des pratiques de gestion. L'USLE prévoit uniquement l'importance des pertes en terre qui résultent des érosions en nappe ou en rigoles sur une pente simple, sans toutefois tenir compte des pertes en terre supplémentaires qui peuvent être attribuables aux autres formes d'érosion associées au ravinement, au vent ou au travail du sol.

Ce modèle de prévision de l'érosion a été conçu pour les terres agricoles, mais il peut aussi servir à prévoir l'érosion dans un cadre qui n'est pas agricole, notamment sur des terres forestières et des chantiers. En agriculture, l'USLE peut servir à comparer les taux d'érosion du sol associés à des pratiques de gestion actuelles avec des taux de pertes en terre tolérables pour un champ donné. On peut aussi évaluer des combinaisons de systèmes de culture et de travail du sol, afin de déterminer la pertinence des mesures de conservation du sol dans la planification des activités agricoles.

Cinq grands facteurs servent à calculer les pertes en terre à un endroit donné. Chaque facteur est une estimation numérique d'une composante précise qui affecte la gravité de l'érosion du sol à cet endroit. Les valeurs d'érosion obtenues

par l'application de ces facteurs peuvent varier considérablement en raison des différentes conditions météorologiques. Par conséquent, les valeurs que donne l'USLE représentent les moyennes à long terme.

On peut aussi calculer les pertes en terre données par l'USLE à l'aide de divers outils de gestion des éléments nutritifs et de planification de la conservation du sol et de l'eau offerts en ligne dans le logiciel [AgriSuite](#) du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. Par exemple, la valeur de la perte en terre générée par l'USLE est la démarche utilisée par défaut pour calculer la « valeur estimative de l'érosion du sol » dans [l'outil PLATO](#) (outil d'évaluation des pertes de phosphore pour l'Ontario).



Figure 1. L'érosion du sol sur les terres cultivées peut affecter la production culturale et la sédimentation.

ÉQUATION UNIVERSELLE DES PERTES EN TERRE (USLE)

$$A = 2,24 \times R \times K \times LS \times C \times P$$

(unité métrique : tonnes/ha/an)

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

(unité impériale : tonnes/acre/an)

A exprime les pertes en terre annuelles moyennes possibles à long terme en tonnes/hectare (tonnes métriques) ou tonnes/acre (tonnes impériales) par an, selon l'équation utilisée. Cette valeur peut ensuite être comparée aux limites de « pertes en terre tolérables » (tableau 7).

R correspond au facteur de pluie et de ruissellement par secteur géographique, tel qu'il est indiqué au tableau 1. Plus les précipitations sont intenses et plus elles durent longtemps, plus grands sont les risques d'érosion. Choisissez le facteur R dans le tableau 1 en fonction de la municipalité de palier supérieur et de la station météorologique correspondante où le calcul est fait.

K représente le facteur d'érodibilité du sol (tableau 2). Le facteur K est une mesure de la vulnérabilité des particules de sol au détachement et au transport par la pluie et le ruissellement. La texture est le principal facteur qui influence le facteur K, mais la structure, la teneur en matière organique et la perméabilité du sol ont aussi un rôle à jouer.

LS est le facteur de longueur et d'inclinaison de la pente. Le facteur LS représente un ratio des pertes en terre attribué, sous des conditions données, aux pertes en terre en un endroit caractérisé par une inclinaison « standard » de 9 % et une longueur de pente de 22,13 m (72,6 pi). Plus la pente d'un champ est raide et plus cette pente est longue, plus les risques d'érosion seront élevés. On établit le facteur LS à l'aide soit du tableau 3, soit de l'équation servant au calcul du facteur LS fournie dans cette fiche technique.

C correspond au facteur lié à la pratique culturale ou à la pratique de gestion. Ce facteur sert à déterminer l'efficacité relative des systèmes de gestion du sol et des cultures en termes de prévention des pertes en terre. Le facteur C est un ratio qui compare les pertes en terre provenant d'un champ faisant l'objet d'un système cultural et d'un système de gestion spécifiques et les pertes correspondantes dans un champ constamment travaillé et laissé en jachère. On établit le facteur C en multipliant l'un par l'autre le facteur de type de culture et le facteur de méthode de travail du sol qui s'appliquent au champ, tels qu'ils sont indiqués dans les tableaux 4 et 5, respectivement.

Le facteur C ainsi obtenu est une valeur généralisée du facteur C pour une culture en particulier, et ne tient pas compte des rotations des cultures, du climat ni de la répartition annuelle des précipitations dans les différentes régions agricoles du pays. Toutefois, ce facteur C généralisé donne des chiffres relatifs pour différents systèmes culturaux et systèmes de travail du sol; il aide ainsi à évaluer les avantages respectifs de chaque système.

P correspond au facteur de pratique de conservation. Il reflète les effets des pratiques qui réduisent la quantité d'eaux de ruissellement et la vitesse de ruissellement et qui réduisent de ce fait l'importance de l'érosion. Le facteur P représente le ratio des pertes en terre associées à une pratique de conservation et des pertes en terre associées à la culture en rangs dans le sens de la pente. Les pratiques de conservation les plus couramment utilisées sont le travail du sol à contre-pente, la culture suivant les courbes de niveau et la culture en bandes (tableau 6).

MÉTHODE D'UTILISATION DE L'USLE

Pour estimer les pertes en terre qui résultent des érosions hydriques en nappe ou en rigoles sur une pente, choisissez d'abord l'unité de mesure (métrique ou impériale) et l'équation USLE correspondante que vous voulez utiliser. Puis suivez les étapes suivantes :

1. Trouver le facteur R (tableau 1).
2. En fonction de la texture du sol, trouver le facteur K (tableau 2). Si un champ comporte plus d'un type de sol et que ceux-ci ne sont pas très différents, utiliser le type de sol qui caractérise la plus grande partie du champ. Répéter cette étape, au besoin, pour les autres types de sol.
3. Diviser le champ en sections d'inclinaison et de longueur de pente uniformes. Pour plus de renseignements sur le calcul des pentes dans les champs, consulter la fiche technique du MAAARO intitulée [Mesurer la pente d'un champ pour la gestion des éléments nutritifs et la planification de la conservation](#). Attribuer une valeur LS à chaque section (tableau 3).
4. Trouver le facteur de type de culture (tableau 4) et le facteur de méthode de travail du sol (tableau 5) propres à la culture envisagée. Multiplier ces deux facteurs l'un par l'autre afin d'obtenir le facteur C.
5. Trouver le facteur P en fonction de la pratique de conservation utilisée (tableau 6).
6. Multiplier les cinq facteurs en vous servant de l'équation choisie à l'étape 1 pour obtenir la perte en terre par hectare (acre).

Tableau 1. Données du facteur R

Station météorologique	Municipalité de palier supérieur	Facteur R
Brantford	Comté de Brant	90
Delhi	Comté d'Oxford	100
Essex	Comté d'Essex	110
Fergus	Comtés de Dufferin et de North Wellington	120
Glen Allen	Comté de Centre Wellington	130
Guelph	Comté de South Wellington	100
Hamilton	Ville de Hamilton; municipalité régionale de Halton	100
Kingston	Ville de Prince Edward County; comtés de Frontenac et de Lennox et Addington	90
Kitchener	Municipalité régionale de Waterloo	110
London	Comtés de Lambton, de Middlesex et d'Oxford	100
Mount Forest	Comtés de Bruce, de Grey, de Haliburton et de Simcoe; district de Muskoka	90
Niagara	Municipalité régionale de Niagara	90
Nord de l'Ontario	Districts d'Algoma, de Cochrane, de Kenora, de Manitoulin Island, de Parry Sound, de Rainy River, de Sudbury, de Thunder Bay et de Timiskaming	90
Ottawa	Ville d'Ottawa; comtés de Lanark et de Renfrew; comtés unis de Leeds et Grenville, de Prescott et Russell, et de Stormont, Dundas et Glengarry; district de Nipissing	90
Prospect Hill	Comtés de Huron et de Perth	120
Ridgetown	Municipalité de Chatham-Kent	110
Simcoe	Comtés de Haldimand et de Norfolk	120
St. Catharines	Région de Niagara	100
St. Thomas	Comté d'Elgin	90
Toronto	Ville de Toronto, municipalités régionales de Peel et de York	90
Tweed	Ville de Kawartha Lakes; comtés de Hastings, de Northumberland et de Peterborough; municipalité régionale de Durham	90

Tableau 2. Données du facteur K**LÉGENDE :** TMO = Teneur en matière organique

Classe texturale	Facteur K		
	TMO moyenne	TMO < 2 %	TMO > 2 %
Argile	0,22	0,24	0,21
Loam argileux	0,30	0,33	0,28
Loam sableux grossier	0,07	–	0,07
Sable fin	0,08	0,09	0,06
Loam sableux fin	0,18	0,22	0,17
Argile lourde	0,17	0,19	0,15
Loam	0,30	0,34	0,26
Sable fin loameux	0,11	0,15	0,09
Sable loameux	0,04	0,05	0,04
Sable très fin loameux	0,39	0,44	0,25
Sable	0,02	0,03	0,01
Loam sablo-argileux	0,20	–	0,20
Loam sableux	0,13	0,14	0,12
Loam limoneux	0,38	0,41	0,37
Argile limoneuse	0,26	0,27	0,26
Loam limono-argileux	0,32	0,35	0,30
Sable très fin	0,43	0,46	0,37
Loam sableux très fin	0,35	0,41	0,33

Tableau 3. Calcul du facteur LS

Longueur de pente : m (pi)	Pente (%)	Facteur LS
15 (50)	10	0,98
	8	0,70
	6	0,48
	5	0,38
	4	0,30
	3	0,22
	2	0,16
	1	0,10
	0	0,06
	30,5 (100)	10
8		1,00
6		0,67
5		0,54
4		0,40
3		0,30
2		0,20
1		0,13
0		0,07
46 (150)		10
	8	1,22
	6	0,83
	5	0,66
	4	0,47
	3	0,35
	2	0,23
	1	0,15
	0	0,08
	61 (200)	10
8		1,41
6		0,95
5		0,76
4		0,53
3		0,39
2		0,25
1		0,16
0		0,08
122 (400)		10
	8	1,99
	6	1,35
	5	1,07
	4	0,70
	3	0,52
	2	0,30
	1	0,20
	0	0,09
	244 (800)	10
8		2,82
6		1,91
5		1,52
4		0,92
3		0,68
2		0,37
1		0,24
0		0,11

Tableau 4. Facteur de type de culture

Type de culture	Facteur
Maïs-grain	0,40
Haricots, canola, maïs d'ensilage	0,50
Céréales de printemps et d'automne	0,35
Cultures horticoles saisonnières	0,50
Arbres fruitiers	0,10
Foin et pâturage	0,02

Tableau 5. Facteur de méthode de travail du sol

Méthode de travail du sol	Facteur
Labour d'automne	1,0
Labour de printemps	0,90
Déchaumage	0,60
Travail du sol sur billon	0,35
Travail en bandes étroites et peu profondes	0,25
Semis direct	0,25

Tableau 6. Données du facteur P

Pratique de conservation	Facteur P
Culture dans le sens de la pente	1,0
Culture à contre-pente	0,75
Culture suivant les courbes de niveau	0,50
Culture en bandes, à contre-pente	0,37
Culture en bandes, suivant les courbes de niveau	0,25

TAUX DE PERTES EN TERRE TOLÉRABLES

On entend par « perte en terre tolérable » la quantité annuelle maximale de terre qui peut être retirée avant que la productivité naturelle du sol à long terme ne soit compromise.

Les répercussions de l'érosion sur un type de sol donné et, par conséquent, le niveau de perte en terre tolérable varient selon le type de sol et la profondeur du sol. En général, on présume que les sols qui sont dotés d'une couche arable profonde, uniforme et dépourvue de pierre qui n'ont pas été soumis auparavant à l'érosion possèdent une limite tolérable supérieure à celle des sols qui sont peu profonds ou qui ont déjà subi une érosion.

Les taux de pertes en terre tolérables sont indiqués dans le tableau 7.

Le niveau tolérable suggéré pour la plupart des sols de l'Ontario est d'au plus 6,7 tonnes/ha/an (3 tonnes/acre/an). Il y a beaucoup de débats scientifiques concernant ce taux de tolérance. Certaines études suggèrent que le taux de tolérance pour les sols situés dans des régions au climat tempéré comme l'Ontario devrait être plus bas – 1,1-2,2 tonnes/ha/an (0,5-1,0 tonne/acre/an).

Tableau 7. Taux de pertes en terre tolérables

Classe de risque d'érosion du sol	Perte en terre possible
Très faible (tolérable)	<6,7 tonnes/ha/an (3 tonnes/acre/an)
Faible	6,7-11,2 tonnes/ha/an (3-5 tonnes/acre/an)
Modéré	11,2-22,4 tonnes/ha/an (5-10 tonnes/acre/an)
Élevé	22,4-33,6 tonnes/ha/an (10-15 tonnes/acre/an)
Grave	>33,6 tonnes/ha/an (15 tonnes/acre/an)

STRATÉGIES DE GESTION DESTINÉES À RÉDUIRE LES PERTES EN TERRE

Une fois qu'il a estimé les pertes en terre annuelles possibles pour un champ, l'agriculteur peut chercher des moyens de ramener ces pertes à un niveau tolérable. Le tableau 8 présente des stratégies de gestion contribuant à réduire l'érosion du sol.

Facteur	Stratégies de gestion	Exemple
R	Le facteur R pour un champ	—
K	Le facteur K pour un champ	—
LS	L'aménagement de terrasses permet de réduire la longueur de la pente et du même coup les pertes en terre	L'aménagement de terrasses exige un investissement supplémentaire et perturbe quelque peu les activités de la ferme; envisager d'abord la possibilité de recourir à d'autres pratiques de conservation du sol
C	Le choix de types de culture et de méthodes de travail du sol qui abaissent le plus possible la valeur du facteur C amène une réduction de l'érosion du sol	Envisager les systèmes culturaux qui offrent une protection maximale des sols; recourir le plus souvent possible aux systèmes de travail réduit du sol
P	Le choix d'une pratique de conservation à laquelle est associé le facteur P le plus faible possible amène une réduction des pertes en terre	Utiliser des pratiques de conservation, comme la culture à contre-pente et l'aménagement de bandes végétalisées permanentes, qui font en sorte que les sédiments se déposent près de leur source

ÉQUATION SERVANT AU CALCUL DU FACTEUR LS (SI L'ON N'UTILISE PAS LE TABLEAU 3)

$$LS = \left[0,065 + 0,0456 (\text{pente}) + 0,006541 (\text{pente})^2 \right] \left(\frac{\text{longueur de pente}}{\text{constante}} \right)^{NN}$$

Où :

- pente = inclinaison de la pente (%)
- longueur de pente = longueur de la pente en m (pi)
- constante = 22,1 en unité métrique (72,5 en unité imp.)
- NN = voir le tableau 9

Tableau 9. Valeurs de NN

Pente	< 1	1 ≤ pente < 3	3 ≤ pente < 5	≥ 5
NN	0,2	0,3	0,4	0,5

EXEMPLE : CALCUL DE L'ÉROSION DU SOL À L'AIDE DE L'USLE

$$A = 2,24 \times R \times K \times LS \times C \times P \text{ (unité métrique)}$$

Facteur de pluie et de ruissellement (R)

Le champ-échantillon se situe dans le comté de Middlesex. On consulte le tableau 1 pour connaître le facteur R applicable à la station météorologique de London.

$$\text{Facteur R} = 100$$

Facteur d'érodibilité du sol (K)

Le champ-échantillon est constitué d'un loam sableux fin ayant une teneur en matière organique moyenne. On trouve le facteur K en consultant le tableau 2.

$$\text{Facteur K} = 0,18$$

Facteur de longueur et d'inclinaison de la pente (LS)

Le champ-échantillon mesure 244 m (800 pi) de long et possède une pente de 6 %. On peut trouver le facteur LS directement dans le tableau 3 ou on peut le calculer à l'aide de l'équation donnée à la page 6, auquel cas, on consulte le tableau 9 pour connaître la valeur NN à utiliser, qui est en l'occurrence de 0,5.

$$\text{Facteur LS} = 1,91$$

Facteur lié à la pratique culturale ou à la pratique de gestion (C)

Le champ-échantillon a été labouré au printemps, puis ensemencé de maïs-grain. On obtient le facteur C par la multiplication du facteur de type de culture (tableau 4) par le facteur de méthode de travail du sol (tableau 5).

Facteur de type de culture pour le maïs-grain = 0,4

Facteur de méthode de travail du sol pour un labour de printemps = 0,9

$$\text{Facteur C} = 0,4 \times 0,9 = 0,36$$

Facteur de pratique de conservation (P)

Le champ-échantillon est cultivé à contre-pente. On obtient le facteur P en consultant le tableau 6.

$$\text{Facteur P} = 0,75$$

Par conséquent,

$$\begin{aligned} A &= 2,24 \times R \times K \times LS \times C \times P \\ &= 2,24 \times 100 \times 0,18 \times 1,91 \times 0,36 \times 0,75 \\ &= 20,8 \text{ tonnes/ha/an (9,3 tonnes/acre/an)} \end{aligned}$$

En se reportant au tableau 7, on voit que le taux de pertes en terre de 20,8 tonnes/ha/an (9,3 tonnes/acre/an) correspond à une valeur modérée, qui est beaucoup plus élevée que le niveau de pertes en terre tolérables de 6,7 tonnes/ha/an (3 tonnes/acre/an). Pour réduire les pertes en terre dans ce champ sous la barre des 6,7 tonnes/ha/an (3 tonnes/acre/an), voici les changements qui pourraient être faits dans l'exemple qui précède :

Modifier la méthode de travail du sol en passant du labour de printemps (0,9) au semis direct (0,25).

$$\text{Facteur C révisé} = 0,4 \times 0,25 = 0,10$$

La valeur de la perte en terre annuelle rajustée devient :

$$\begin{aligned} A &= 2,24 \times R \times K \times LS \times C \times P \\ &= 2,24 \times 100 \times 0,18 \times 1,91 \times 0,10 \times 0,75 \\ &= 5,8 \text{ tonnes/ha/an (2,6 tonnes/acre/an)} \end{aligned}$$

Ainsi, en modifiant la méthode de travail du sol dans ce champ, on peut abaisser les pertes en terre annuelles moyennes en deçà du niveau de pertes en terre tolérables de 6,7 tonnes/ha/an (3 tonnes/acre/an).

USLE ET RUSLE2

De nouvelles recherches, expériences et données ont amené l'Agricultural Research Service du U.S. Department of Agriculture (USDA-ARS) à élaborer et à lancer une équation universelle des pertes en terre révisée – version 2 (RUSLE2). [RUSLE2](#) incorpore des recherches plus récentes avec des améliorations apportées à l'estimation de nombreux facteurs et aux méthodes de calcul. RUSLE2 étant une version informatisée, elle peut tenir compte de combinaisons plus complexes de pratiques de travail du sol et de pratiques culturales, y compris des rotations, et estimer les pertes ou accumulations de terre tout le long de la pente, plutôt que juste dans le bas d'un segment de pente où commence la sédimentation. Ceci peut rendre l'utilisation de RUSLE2 plus complexe lorsque l'on veut obtenir une estimation rapide du taux d'érosion en nappe ou en rigoles, comparativement à la version USLE originale. RUSLE2 a été adapté pour pouvoir être utilisé en Ontario.

La version anglaise de la présente fiche technique a été mise à jour par Kevin McKague, ingénieur, qualité de l'eau, MAAARO.