

CHAPITRE III

ESTIMATION DES PERTES EN SOLS

PAR LE MODELE RUSLE

III .1 introduction :

Pour résoudre un grand nombre des problèmes des cultures, sols et gestion de bassins versants, il est nécessaire de faire des estimations de l'érosion, puisque cette dernière constitue un problème significatif au niveau du pays méditerranéens.

Il existe différentes méthodes qui estiment l'érosion du sol au niveau des parcelles ou bassins versants :

- Méthodes de bathymétrie,
- Parcelles expérimentales,
- Etude des griffes de l'érosion avec ou pas d'utilisation du SIG et de Télédétection,
- Débits solides et l'étude des turbides,
- Etude des radios nuclides
- **Modélisation de l'érosion par la méthode de Wischmeier (USLE, MUSLE ou RUSLE).**

Ces méthodes varient des plus simples aux plus complexes. Pour le présent travail, l'analyse s'est concentrée sur la modélisation de l'érosion hydrique par le modèle RUSLE universelle de pertes de sols (USLE) originalement élaborée par Wischmeier et Smith (1978).

III .2. la perte en sol :

On a vu que l'intensité et la durée des précipitations ainsi que le flux de ruissellement de surface sont les facteurs hydriques responsables de l'arrachement des particules de sol. Cependant le ruissellement doit être considéré comme le seul facteur responsable de la perte en terre proprement dite du fait du transport des particules de sol loin de leur lieu d'origine.

III .3. facteurs de l'érosion:

Deux principaux types de facteurs de l'érosion sont évoqués dans la littérature : les facteurs naturels regroupés sous quatre grandes familles ; à savoir :

- le climat.
- la topographie.
- la lithologie.

- le couvert végétal.
- les facteurs anthropiques relatifs aux activités humaines.
- Les pratiques culturales.

L'érosion en milieu méditerranéen est directement commandée par la vulnérabilité d'une topographie exposée à un climat très agressif, facteur accentué par les travaux de l'homme fragilisant le couvert végétal et déstructurant les sols (Temple-Boyer et al, 2007).

❖ **Le climat :**

La fréquence et l'intensité des précipitations sont les deux caractéristiques importantes du facteur climatique de l'érosion hydrique des sols .ces caractéristiques sont à l'origine de la formation du ruissellement quand la quantité des pluies dépasse la capacité d'absorption de l'eau par le sol. Le climat méditerranéen est caractérisé par des précipitations limitées et irrégulières et des orages violents de courte durée et de forte intensité. Le potentiel érosif de la pluie est désigné par le terme général d'érosivité (Bergsma et al.1996).ce paramètre est lié à l'intensité des averses et aux caractéristiques des gouttes de pluie (taille, vitesse, forme, angle d'impact) qui déterminent leur énergie cinétique (Riezebos et Epema, 1985).

La violence du vent intervient dans l'augmentation de l'énergie cinétique des gouttes de pluie. L'efficacité d'une pluie fine qui tombe pendant trois jours est plus faible qu'une pluie d'une heure à grosses gouttes affectées par un vent d'une vitesse de 50 km/heure (Poesen, 1985).

❖ **La topographie :**

La topographie fait avant tout référence à la pente des terres: la pente accélère l'érosion car elle augmente la vitesse d'écoulement de l'eau (CNEA, 2007). La pente intervient dans les phénomènes d'érosion en fonction de sa forme, de son inclinaison et de sa longueur (Roose, 1994 ; Fox & Bryan, 1999).

En effet, plusieurs études ont montrés que l'énergie cinétique du ruissellement et le pouvoir érosif croissent avec la longueur de la pente. Par ailleurs, des mesures réalisées sous pluies naturelles et simulées à l'échelle du mètre carré montrent que l'érosion diffuse augmente significativement lorsque la pente passe de 2 à 8 % (Chaplot & Le Bissonnais, 1999).

❖ **La lithologie :**

L'érodabilité du sol désigne sa susceptibilité face aux processus d'érosion. Elle est fonction des propriétés physico-chimiques du sol (texture, profondeur, pierrosité, teneur en

matière organique...) et de la cohésion qui existe entre ces particules. Une faible cohésion va entraîner une forte érodabilité (Govers, 1987; Poesen & Govers, 1990).

Il y a moins d'érosion dans les sols sablonneux parce que l'eau est absorbée facilement en raison de sa perméabilité élevée, par contre en cas de ruissellement ils peuvent être très érodables. Une forte teneur en matière organique dans le sol améliore la structure granulaire et la capacité de rétention d'eau. Plus la matière organique diminue, plus l'érodabilité du sol augmente. Les sols dans le pourtour méditerranéen sont pauvres en matière organique à cause de la faible productivité végétale, des températures élevées et du manque d'eau. Ces conditions accélèrent la minéralisation des matières organiques du sol et les rendent fragiles, faiblement structurés et prédisposés au tassement et à la formation décroûtes de battance. En conséquence ces sols sont en général très sensibles à l'érosion (Youssef Al Ali, 2007).

❖ **Le couvert végétal :**

Il s'agit du facteur primordial de protection du sol contre l'érosion. La présence de la couverture végétale, sa nature et son étendue, jouent un rôle important dans l'interception et le retard de la chute des gouttes des pluies sur la surface du sol permettant ainsi la dissipation de son énergie cinétique, ce qui diminue dans une large mesure l'effet "splash". Elle favorise également l'infiltration de l'eau et le maintien du sol grâce à son système racinaire, et son développement en surface freine le ruissellement.

Analyse bibliographique sur la part relative des processus d'érosion. Roose (1994) constate que l'érosion est fonction non seulement du couvert végétal, mais également de sa hauteur au-dessus du sol. Plus la hauteur est réduite plus la protection est importante et donc l'érosion est minimale. Les forêts et surtout les couvertures herbacées sont plus efficaces pour fournir une protection du sol qu'une couverture de plantes cultivées ou une jachère. c'est le manque de végétation qui crée la condition permettant l'érosion. L'existence d'une litière protège également les sols de l'érosion.

La dynamique de la croissance du couvert végétal est très variable en fonction du type de plante mais aussi des techniques culturales (densité et date de plantation, fertilisation) et du climat (précipitations et éclaircissement). La combinaison entre cette dynamique de croissance et la dynamique des pluies va donc déterminer l'importance des risques d'érosion.

❖ **Les pratiques culturales :**

Dans le territoire du bassin versant occupé par l'agriculture, certaines pratiques culturales peuvent prédisposer les sols à une dégradation. Dans la littérature, le travail

conventionnel (charrue à versoir) est généralement perçu comme étant assez néfaste pour la conservation des sols. D'autre part, le travail réduit et le semis direct sont considérés comme des systèmes cultureux mieux adaptés pour la conservation des sols. Selon Stone (1996), le travail réduit implique une réduction de 30 % des pertes des sols par rapport au travail conventionnel alors que le semis direct implique une réduction de 80 %. Comparativement au travail conventionnel, les réductions de volumes d'eau de ruissellement pour le travail réduit et le semis direct sont de 70 % (Fawcett et al. 1994). La monoculture, surtout de maïs, contribue à dégrader de façon importante la structure du sol (Stone, 1996). Les cultures à petites interlignes comme les céréales, ainsi que les cultures de pleines surfaces comme les prairies sont beaucoup moins propices à l'érosion que les cultures à larges interlignes comme le maïs. Comparativement à une monoculture de maïs, le foin et les cultures de pâture réduisent les pertes de sol d'environ 90 % (Stone, 1996). La gestion des résidus de culture a également un impact majeur sur la réduction de l'érosion. Les résidus protègent le sol contre la force de l'eau en jouant un rôle de bouclier face aux gouttes de pluie et en ralentissant la vitesse de l'eau qui ruisselle à la surface du sol. Ils protègent également le sol contre le vent en agissant comme de petites haies brise-vent. Plus la couverture en résidus de culture sera appréciable, plus le ruissellement et l'érosion vont tendre à diminuer. Par conséquent, les pertes en éléments nutritifs et pesticides dans les eaux de surface seront limitées. De plus, les résidus de culture permettent au sol de surface de s'enrichir en matières organiques et d'améliorer ses propriétés physiques, chimiques et biologiques (CPVQ, 2000). Selon La verdière (1994), une couverture en résidus sur le sol égale à 20 % permettrait de réduire de moitié les pertes de sol par l'érosion et une couverture de 60 % permettrait une réduction de 85 %.

III .4 .présentation du modèle :

De nombreux modèles existent pour évaluer les risques d'érosion (Wischmeier and Smith, 1958 Bonn et al, 1994 ; Kirkby ,1995 ; Thorneset al 1996 ; De Jong and Riezebos, 1997 ; Quinton, 1997 ; Ozden, 1958 ; etc.

Pour représenter un système complexe, nous utilisons le modèle, celui-ci est une abstraction de la réalité, qui décrit le processus, les facteurs contrôlant ce processus sont dépendants de l'objectif original du modèle. L'érosion hydrique est un processus de modèles d'érosion qu'ils étaient d'abord empiriques, pour l'élaboration d'équations mesurant la perte de sol en s'appuyant sur un grand nombre d'observations

III .5. description des modèles utilisés :

L'équation universelle de perte des sols selon Wischmeier et Smith (1978), de Langlais Universal Soil Loss Equation (USLE) ainsi que sa version révisée (RUSLE) constituent les modèles les plus utilisés à travers le monde pour l'évaluation et la quantification de l'érosion du sol (El GAROUANI et al. 2007).

Cette équation 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, de l'assolement et des pratiques de gestion des cultures. Sa version révisée intègre le système d'information géographique.

Selon ce modèle, l'érosion est une fonction multiplicative de :

- ✚ l'érosivité des pluies (le facteur R)
- ✚ la résistance du milieu, laquelle comprend K (l'érodibilité du sol),
- ✚ LS (le facteur topographique),
- ✚ C (le couvert végétal et les pratiques culturales)
- ✚ P (les pratiques antiérosives).

La formule de USLE est la suivante : $A = R.K.LS.C.P$

Avec :



A = taux d'érosion potentielle (T/ha/an)

R = facteur d'érosivité (MJ * mm / ha * h * an)

K = facteur d'érodibilité (T * ha * h / ha * MJ * mm)

L = facteur de longueur de pente

S = facteur d'inclinaisons de pente

C = facteur de couverture végétale et de gestion du sol

P = facteur des pratiques de conservation du sol.

III.5.1 Evaluation de R :

❖ Formule de Wischmeier et Smith (1978)

L'estimation du facteur R selon la formule de Wischmeier & Smith nécessite la connaissance des énergies cinétiques (E_c) et de l'intensité moyenne sur 30 minutes (I_{30}) des gouttes de pluie de chaque averse. Elles sont données par la formule empirique:

$$R = K E_c I_{30}$$

K : étant un coefficient dépendant du système d'unités de mesure.

❖ Formule de Rango et Arnoldus (1987)

$$\text{Log } R = 1,74 \cdot \text{Log } \sum (p_i^2 / P) + 1,29$$

R : Coefficient d'érosivité moyenne de pluie (MJ.mm/ha/h/an)

P_i : représente les précipitations mensuelles en (mm)

P : les précipitations annuelles en (mm).

❖ Formule de Bissonnais et al, (2002).

$$R = E * I_{30}$$

E = l'énergie cinétique des pluies (MJ/ha) avec $E = 210 + 89 \log_{10} * I$

I = l'intensité de pluie.

I₃₀ = l'intensité maximale des pluies en 30 minutes exprimées en mm/heure.

❖ **Formule de Renard et Freimund**

$$R = 0.0483 * P^{1.610}$$

P = Moyenne des précipitations annuelles en mm

❖ **Formule de Kalman (zone nord-africaine)**

$$R_{kal} = 143.Log(P.P_{24}.10^{-6}) + 89,7$$

Où :

P₂₄ : pluviométrie maximale de 24 heures d'une période de retour de 10 ans,

P : pluviométrie annuelle moyenne.

❖ **La formule Roose (1977, l'Afrique de l'Ouest)**

Roose a établi la carte de l'érosivité des pluies sur l'Afrique de l'Ouest, qui permet d'estimer R à l'échelle de l'Afrique, l'estimation est donnée par :

$$R = P/2$$

avec : P précipitations moyennes annuelles

❖ **La formule Riou G (1990):**

$$R = \sum_{i=1}^n Ri$$

$$Ri = E_c * I_{30} \quad \text{et} \quad E_c = 11,9 + 8,73 \log_{10} I$$

Où :

E_c : Énergie cinétique de l'averse (J/m²/mm).

I: Intensité moyenne de la pluie (mm/h).

i : numéro de l'averse.

n: le nombre total des averses annuelles.

❖ **La formule Soutter M. et al ,(2007)**

$$R = \frac{p_h^2}{P_a}$$

Ph : les précipitations moyennes mensuelle du mois le plus humide.

Pa :les précipitations moyennes annuelles.

Cette équation a été modifiée par ARNOLDUS H.M.J. (1977), lequel a déterminé un indice climatique pour chaque mois et a utilisé par la suite la somme des douze valeurs obtenues pour construire un coefficient climatique. Cet indice climatique connu sous le nom « d'indice de FOURNIER modifié» a été utilisé dans les études de développement de la FAO un peu partout dans le monde, notamment dans le bassin méditerranéen.

Il s'écrit (DGACTA, 1995) :

$$R = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_a}$$

Pi : est la précipitation moyenne mensuelle (mm),

Pa : est la précipitation moyenne annuelle (mm).

III.5.2 Evaluation de K :

L érodabilité d'un sol est fonction des matières organiques et de la texture des sols, de la perméabilité et de la structure du profil. Il varie de 0.70 pour les sols les plus fragiles à 0.01 sur les sols les plus stables. Les valeurs du facteur K, situées entre 0,22 et 0, 46 montrent une nette fragilité des sols et leur susceptibilité à l'érosion (EL GAROUANI et al, 2007).

❖ **Wischmeier et Smith (1978) :**

De toutes les méthodes permettant de calculer le facteur K, la méthode synthétisée par le Nomogramme de sol construit par Wischmeier est la plus utilisée et la plus citée. ce nomogramme est basée sur l'équation :

Fonction de la quantité de matières organiques,de la texture, de la structure, et de la perméabilité du sol, l'érodibilité du sol est déterminée pour une parcelle de 22.2 m de long, travaillée dans le sens de la pente (9 %), sans apport de matières organiques depuis trois ans.(Roose, 1994)

La formule de Wischmeier et Smith (1978) permet de déterminer K.

$$100.K = 2.1.10^{-4} M^{1.14} (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)$$

Avec :

M : produit du pourcentage de limon compris entre 0.1 et 0.002 mm par le pourcentage de tout ce qui n'est pas de l'argile

a : pourcentage de matière organique

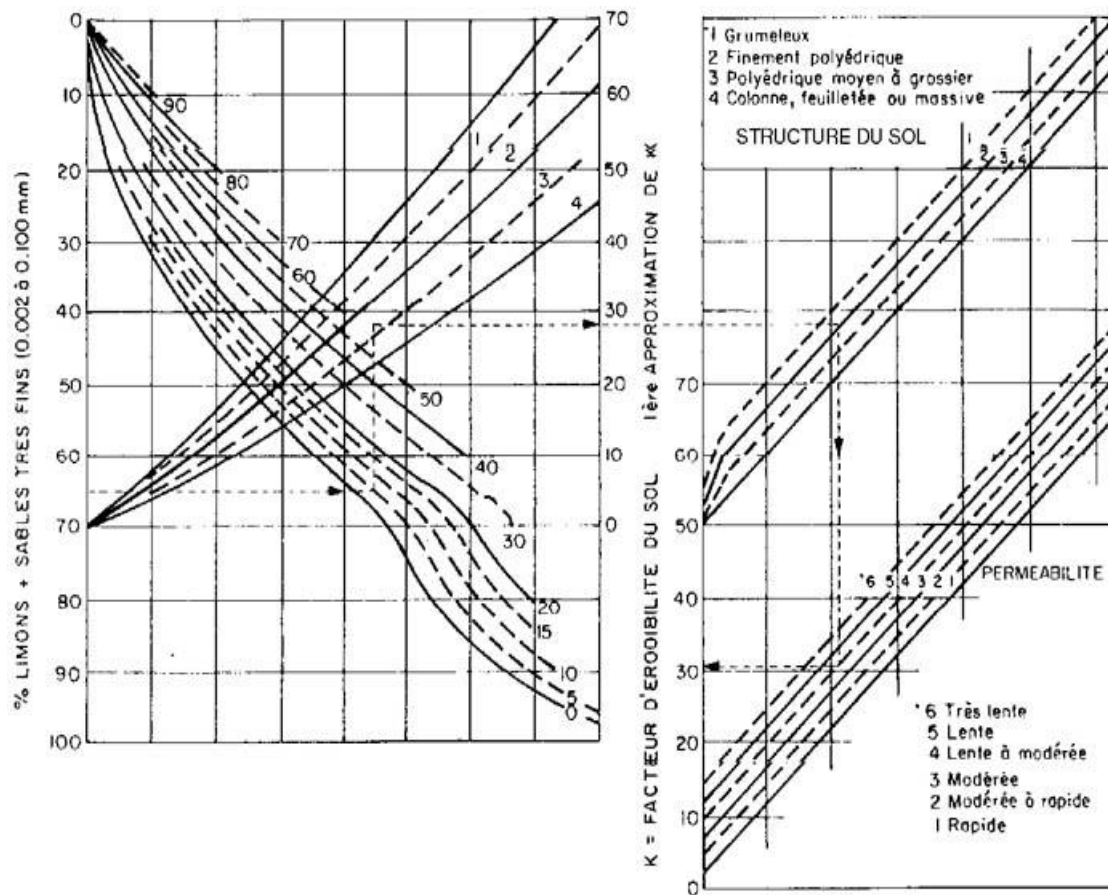
b : code de structure du sol utilisé dans la classification

c : classe de perméabilité du profil

Tableau III.1. Signification des codes pour la structure du sol et la perméabilité (d'après Wischmeier& Smith, 1978)

Code	STRUCTURE DU SOL
1	Très fine
2	Fine
3	Moyenne ou grossière
4	Massive

Code	PERMEABILITE
1	Rapide
2	Moyenne à rapide
3	Moyenne
4	Lente à moyenne
5	Lente
6	Très lente



III.5.3 Evaluation des Facteurs topographiques LS :

✚ formule développée par Wischmeier et Smith (1978) :

Cette formule développée par Wischmeier et Smith (1978) et elle a été utilisée par plusieurs auteurs (Park, 2007, Vezena et Bonn, 2006, Rodríguez et Suárez, 2010):

$$LS = \left(\frac{L}{22.13}\right)^m (0.065 + 0.045 S + 0.065 S^2)$$

Où :

L : la longueur de pente (m),

S : l'angle de la pente,

m : un paramètre tel que :

- **m** = 0,5 si la pente est >5%,
- **m** = 0,4 si la pente est de 3,5 à 4,5%,
- **m** = 0,3 si la pente est de 1 à 3%,
- **m** = 0,2 si la pente est <1%,

✚ (LS), facteur pente et déclivité tient compte à la fois de la longueur de la pente (L) et de son inclinaison (S). Dans la pratique, les deux facteurs de pente, L et S sont combinés en un seul facteur topographique qui permet d'évaluer globalement l'influence de la pente sur la vitesse de l'érosion. Dans le modèle USLE / RUSLE, le facteur L est donné par :

$$L = (\lambda / 22.13)^m$$

λ : est la longueur de pente. Dans le modèle USLE, m varie avec le gradient de pente. Il a une valeur de 0,2 pour des pentes de moins de 1% et augmente jusqu'à une valeur de 0.5 pour les gradients de plus de 5% (Wischmeier & Smith, 1978). Dans la RUSLE (Renard et al., 1997),

m : est fonction du rapport entre l'érosion en rigoles et l'érosion en nappe (β) :

$$m = \beta / (\beta + 1)$$

Pour les sols modérément sensibles à la formation de rigoles, β varie avec le gradient de pente selon l'équation :

$$\beta = (\sin \theta / 0.0896) / [(3.0 \sin \theta)^2 + 0.56]$$

où θ est l'angle d'inclinaison (Renard et al., 1997 ; Kinnell, 2010). En RUSLE2, des facteurs tels que l'érodibilité du sol, la consolidation du sol, et couvert des résidus sont pris en compte dans la détermination du rapport des rigoles d'érosion en nappe (USDA-ARS, 2008).

Le facteur S dans le USLE est donnée par :

$$S = 65.41 (\sin \theta)^2 + 4.56 \sin \theta + 0.065$$

III.5.4 Occupation des sols (C) :

✚ 1- Le facteur C est défini comme le ratio de la perte en sol sur des terrains cultivés sous des conditions spécifiques par rapport à la perte en sol correspondante sur un terrain en jachère

(Wischmeier & Smith, 1978). Il peut être calculé à l'aide de nomogrammes (Roose, 1994) ou estimé en prenant des valeurs connues pour un certain type de couvert végétal.

Tableau III.2 Valeurs(C) pour un certain type de couvert végétal

C	Type de couvert végétal
0.058	Reboisement dense
0.13	Forêt moyennement dense
0.17	Matorral dégradé, parcours dense
0.18	Reboisement clair
0.20	Matorral clair, parcours dense
0.22	Matorral très dégradé
0.32	Steppes à alfa
0.70	Céréaliculture
1	Terrain nu

✚ 2- Le type de couvert végétal est à prendre absolument en compte puisque c'est de lui que va dépendre l'amortissement des gouttes de pluies, le ralentissement du ruissellement, et l'infiltration. Le facteur C tenant compte de la couverture dépend de:

- **Le pourcentage de sol à nu :**

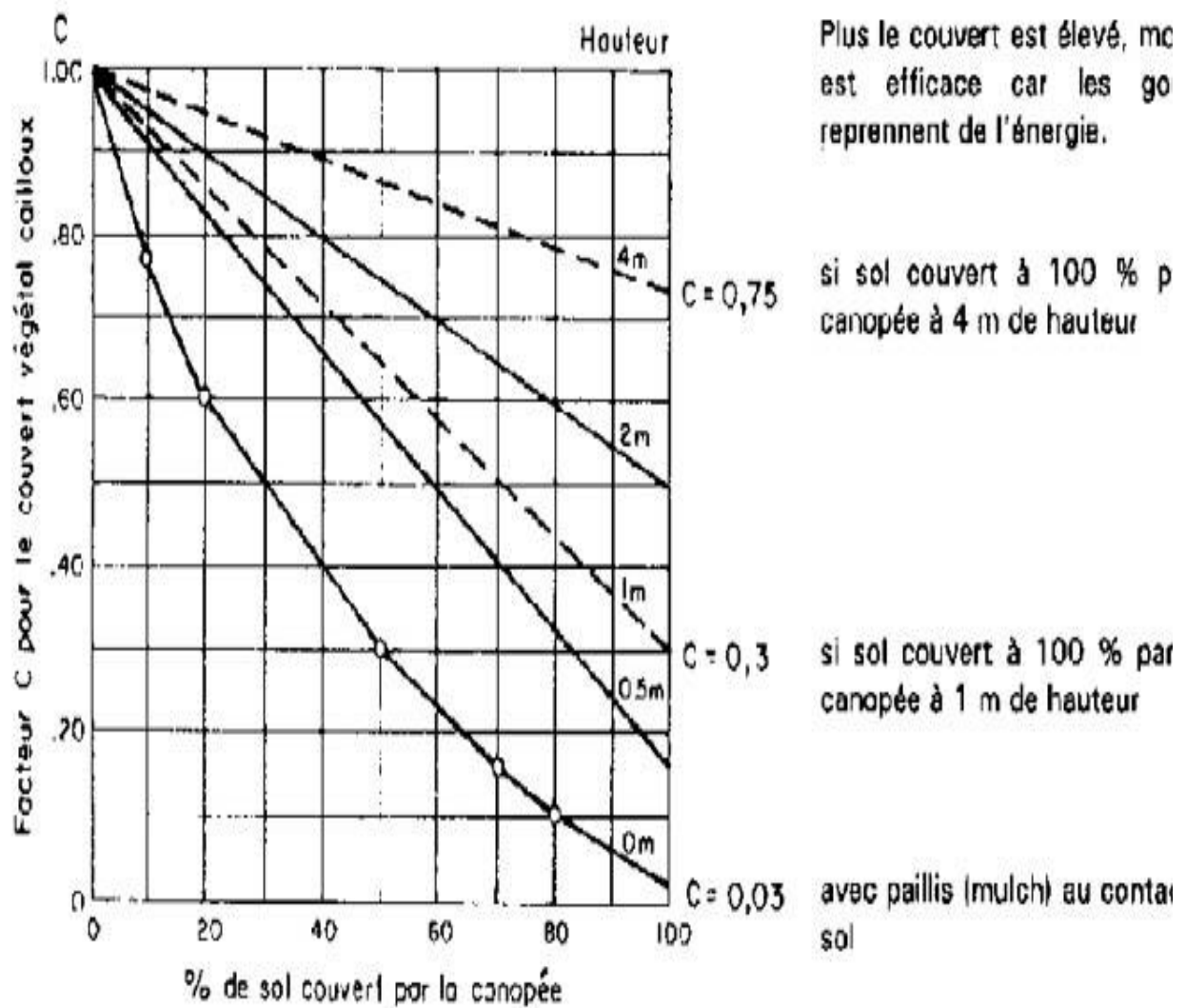
L'érosion intervient majoritairement sur des sols à nus lors d'épisodes des pluvieux agressifs.

- **La hauteur du couvert végétal :**

Il est intéressant d'avoir un couvert végétal, mais si celui-ci est trop élevé, l'amortissement des gouttes de pluies n'interviendra plus. En effet, après une première interception, les gouttes seront de nouveau rejetées vers le sol.

- **L'architecture des plantes :**

Des plantes en forme d'entonnoir auront tendance à drainer l'écoulement et à provoquer des ravinements. A l'inverse, les plantes dites "parapluie" vont disperser les gouttes d'eau et donc diminuer leur énergie.



Valeur du facteur de couvert végétal en fonction du pourcentage de couverture du sol et de la hauteur de la végétation (Roose, 1994)

Les valeurs du facteur C par type d'occupation du sol

Tableau III.3. Les valeurs du facteur C par type d'occupation du sol

Types d'occupation du sol	Facteur C
Badlands/ Terrains incultes	0.75
Céréaliculture	0.26
Céréaliculture / Arboriculture	0.25
Oliviers	0.28
Reboisement	0.15
Forêt claire	0.08

III.5.5 Pratiques antiérosives (P) :

✚ Le facteur P représente, par définition, le rapport de la perte de sol liée à une pratique de soutien particulière à la perte correspondante liée aux cultures et aux récoltes et ensemencement en amont et en aval de la pente (Wischmeier et Smith, 1978).

Tableau III.4.Valeurs générales de P

Pratique de conservation	Valeur de P
Aucune pratique de conservation	1 .00
Culture en pente transversale	0 .75
Culture suivant les courbes de niveau (pente de 3 à8 %)	0 .50
Culture en bandes alternantes, en pente transversale (pente de 3 à8 %)	0.38
Culture en bandes alternantes, en courbes de niveau (pente de 3 à8 %)	0.25

III.6 . Objectif de la méthode RUSLE :

Le but de la méthode RUSLE est de prévoir le taux annuel moyen à long terme de l'érosion des sols pour diverses pratiques de gestion des sols en association avec la configuration des pluies, la topographie et le type de sol d'une région. (Wischmeier et Smith, 1978).