

**MASTERS EPGM ET GAIA**

**3. EROSION DES SOLS :  
MECANISMES, MODELISATION  
ET METHODES DE CONSERVATION  
DES SOLS**



## **3.1 Dégradation des sols par l'érosion**

- **3.1.1. L'érosion des sols : typologie**
- **3.1.2. Conséquences environnementales de l'érosion**
- **3.1.3. L'érosion des sols : mécanismes**
- **3.1.4. Les phénomènes érosifs en France : typologie et crise actuelle**

## **3.2 Méthodes de mesure (cf document annexe)**

## **3.3 Modélisation (cf document annexe)**

## **3.4 Méthode de lutte antiérosive et de conservation de sols**

### 3.1.1. L'érosion des sols : typologie

2

Phénomène qui provoque le déplacement des couches supérieures des sols

**Surface de référence et échelle de temps**

- Échelle du grand BV

-Échelle de temps long :  
million d'années

Échelle de temps moyen  
: (10 000 à  $10^6$  années)

- Échelle du petit BV

- Échelle du versant

-Échelle de la parcelle

-Échelle centimétriques

Échelle des temps court  
(du jour au siècle)

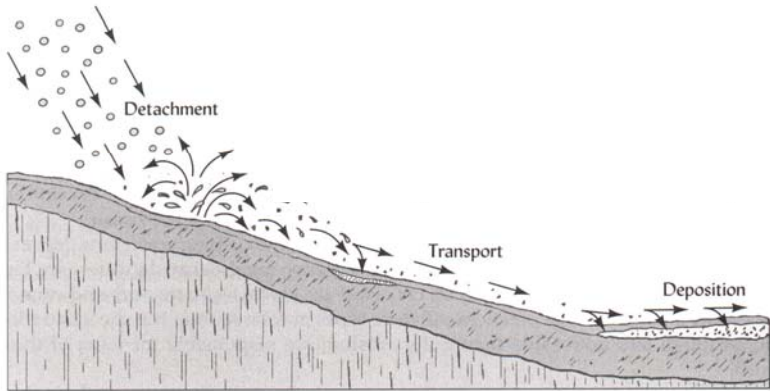
Échelle de l'évènement

-Échelle micro-métriques

- Échelle sub-micronique

# Erosion.

Trois phases : détachement,  
transport et dépôt



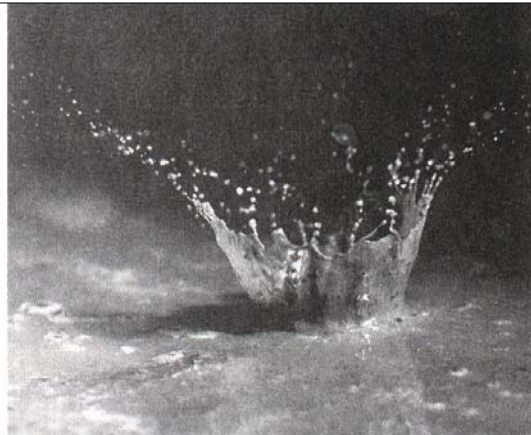
(c)

# Typologie des érosions

3

## a) Erosion par splash « splash erosion »

Ablation et transport de sédiment sous l'effet de l'impact des gouttes de pluies





## **b) Erosion en nappe « sheet or inter-rill erosion »**

4

Transport de sédiment sous l'effet du ruissellement se produisant sous forme d'une lame d'eau d'épaisseur relativement constante à la surface du sol





5

## c) Erosion en rigole « rill erosion »

Transport de sédiment sous l'effet du ruissellement concentré. On parle aussi d'érosion hiérarchisée

Mais une rigole peut, par définition, être effacée par des opérations de travail du sol courante (p.ex. labour)





## d) Erosion en ravine « gully erosion »

<sup>6</sup> Transport de sédiment sous l'effet du ruissellement concentré

mais une ravine ne peut pas être effacée par des opérations de travail du sol courantes et nécessite des mesures particulières pour son contrôle.



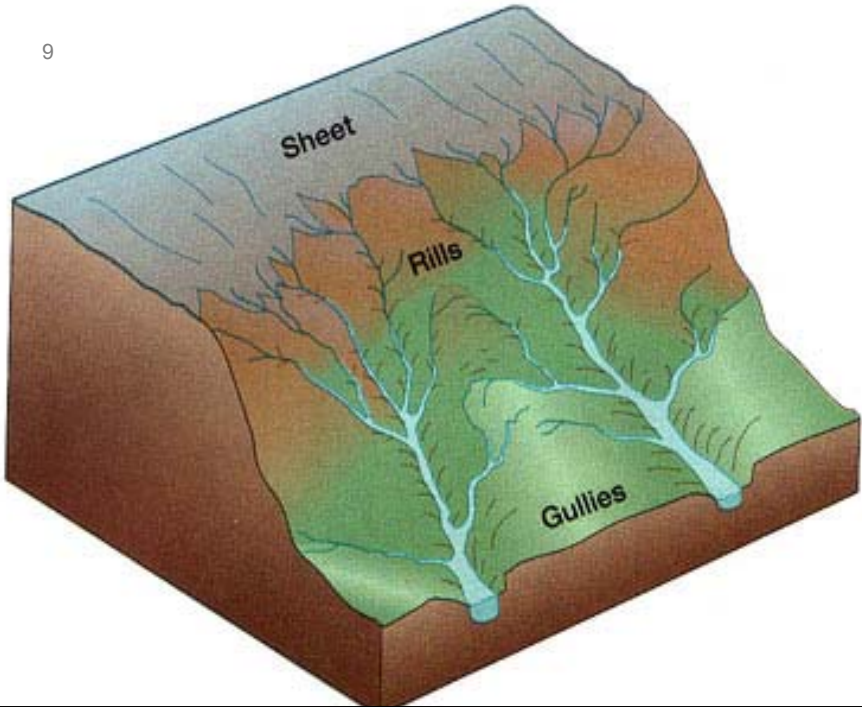












## e) Erosion en masse : glissement de terrain





## f) Un cas particulier important : les sapements de berges

- Eboulement des berges cohésives en crue
- Glissement des berges en décrue

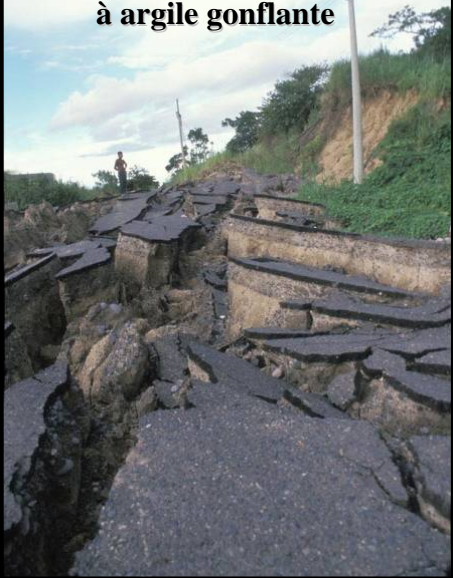


## g) Des mouvements particuliers



**Déplacement par fluage rapide sur pente faible**

**Des mouvements  
particuliers dans les sols  
à argile gonflante**



**Mouvements lents :  
solifluxion, creeping**



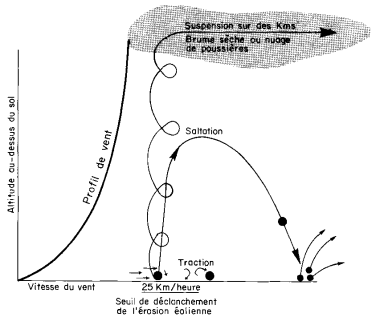
## h) Erosion éolienne

12

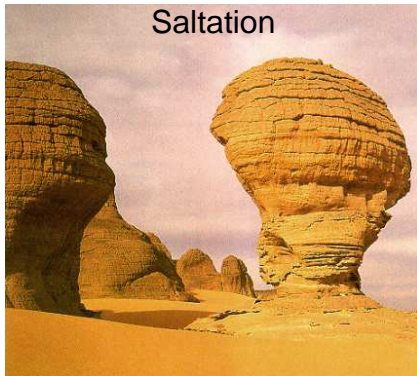


**Agent d'ablation  
et vecteur de  
transport  
= vent**





## Saltation



## Reptation



## Suspension



## h) Erosion aratoire

13

**Agent d'ablation  
et vecteur de  
transport  
= instruments  
humains**



Ce phénomène d'érosion n'est pas dû à l'intervention de l'eau. C'est le travail du sol qui arrache les particules, les transporte et les dépose soit en bas de parcelle, soit en talus.



## I) Perte de sols et « asphaltisation »

Sols → surface bétonnée

1m<sup>2</sup>/seconde en Suisse 1992-1997

0.86m<sup>2</sup>/seconde 2004-2009

### Et en France ?

AFP – 13 JANVIER 2010

**Le gouvernement veut diminuer de moitié d'ici à 2020 la consommation de terres agricoles pour lutter contre le gaspillage, un phénomène qui ne cesse de croître à la périphérie des villes.**

Le Conseil des ministres a entériné hier un projet de loi de modernisation de l'agriculture et de la pêche. Il a ainsi inscrit la forêt et l'agriculture « dans un objectif de développement durable des territoires en préservant et en valorisant le capital et le savoir-faire agricole ».

Actuellement 74 000 hectares de terres agricoles sont converties chaque année en zones commerciales, infrastructures routières, lotissements, notamment, selon les chiffres du ministère de l'Agriculture.

= 23 m<sup>2</sup>/s

Avec un besoin de terres agricoles qui va aller croissant, une exigence de biodiversité, « il faut maîtriser le développement des villes, empêcher le gaspillage », poursuit le responsable de cet établissement public qui depuis des années plaide pour une révision des droits des communes en matière d'urbanisme.

Les 36 000 communes françaises ont le pouvoir de définir les zones à construire et outre « la guerre » que peuvent se mener certaines d'entre elles pour accaparer de la taxe professionnelle, beaucoup privilégient trop facilement l'octroi de terres en périphérie au lieu de réutiliser celles non utilisées en ville.

Dans son projet de loi sur la modernisation de l'Agriculture (LMA), le gouvernement propose la création d'une commission départementale de la « consommation des espaces agricoles ». Celle-ci donnera son « avis » à chaque fois qu'un projet d'aménagement entraînera un déclassement des surfaces agricoles.

## **3.1.2. Conséquences environnementales de l'érosion**

### **a) Conséquences sur- site**

**Pertes en terre et en éléments nutritifs**

**Pertes d'engrais et de matière organique**

**Destruction de la structure du sol**

**Réduction de la profondeur du sol**

**Réduction du volume d'eau disponible**

**Baisse de rendement ... abandon des terres**



Pertes en terre, éléments nutritifs, matière organique, engrais

## Destruction de la structure du sol

15





Pommes de terre sur butte : mise à nu de racines



Baisse de rendement dans zones de dépôt de sédiments

# Le sol s'appauvrit, sa fertilité diminue

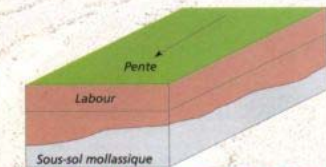
Diminution du volume exploitable par les racines

Diminution des réserves hydriques et minérales

Diminution du taux de matières organiques



Des quintaux en moins chaque année



Labour 25 cm avant érosion : on ne trouve que la terre arable.



Labour 25 cm après érosion : le sous-sol est atteint et progressivement mélangé à la terre arable.



A. Ferry



A. Ferry

En coteaux argilo-calcaires, l'érosion accentue la taille des zones blanches.

L'érosion s'aggrave depuis 30 ans Pourquoi ?

## **b) Conséquences hors- site**

- **Augmentation des ruissellements : perte des réserves en eau non atténuation des pics de crues... Risque d'inondation**
- **Inondations boueuses**
- **Ensablement des lits de rivière**
- **Envasement des retenues d'eau**
- **Dégâts aux infrastructures routières**
- **Eutrophisation des eaux de surface ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ )**
- **Sédiments et polluants (métaux lourds, pesticides, ...) !**

# Dégâts aux infrastructures routières







## L'érosion, c'est la dégradation de votre sol



De la bonne terre qui descend,  
perdue à jamais quand elle sort du champ.

Un sol qui s'appauvrit sur les versants et perd sa fertilité.

Des resemis nécessaires et des rendements en baisse.

## L'érosion, un problème pour la collectivité



Coulées boueuses sur les routes.

Comblement des fossés, éboulement  
des talus.

Envasement des passages busés  
et des retenues collinaires.



### La remise en état coûte cher aux collectivités

Un devis réalisé pour une commune du  
Lauragais (330 habitants, 1 400 ha de  
surface agricole) suite à des dégâts d'orage  
en 1997, s'est élevé à 270 000 francs.  
Ce devis prévoyait des interventions sur 15 sites  
de la commune :

- reprise des talus éboulés,
- curage des fossés,
- réglage des accotements de routes  
et chemins, reprofilage et compactage,
- reprise de l'empierrement des chemins  
emportés par les eaux.

**L'érosion,  
c'est aussi  
la dégradation  
de la qualité  
de l'eau**

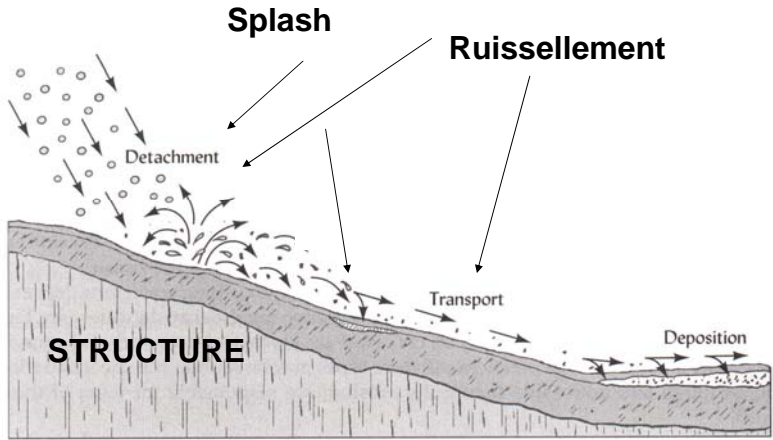


Turbidité (eau trouble  
chargée de terre) : surcoût  
pour le traitement de l'eau  
potable.

Pollution par les nitrates,  
phosphates et produits  
phytosanitaires.

Déséquilibre de la vie  
aquatique (prolifération  
d'algues, disparition  
de poissons...)

# 3.1.3. Mécanismes d'érosion



(c)

# A. Detachement et stabilité structurale des sols

20

## La structure des sols



### DETACHEMENT

- Des agrégats stables difficiles à mobiliser par érosion
- Des agrégats susceptibles d'être fractionné en éléments mobilisables

### TRANSPORT

- Contrôle de la porosité structurale
- Contrôle de l'infiltration et du ruissellement

## **a.) Désagrégation par dispersion-floculation**

La dispersion physico-chimique résulte de la réduction des forces d'attraction entre les particules colloïdales.

**Elle dépend :**

**-de la taille et de la valence des cations.**

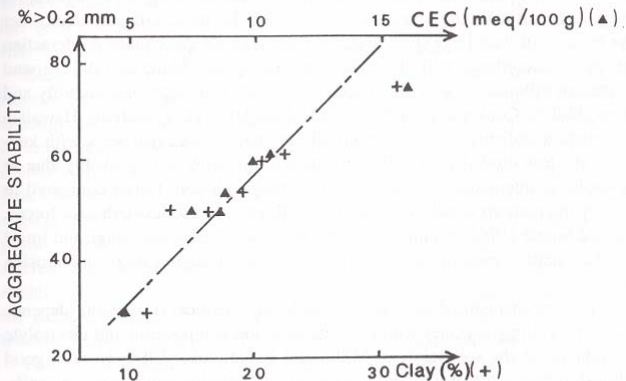
**(Na<sup>+</sup> favorise la dispersion ; Ca<sup>++</sup> favorise plutôt la stabilité. → érosion des sols salés)**

**- du type d'argile (charge et distribution de la charge à la surface)**

**- de la teneur en Matières Organiques (complexe argilo-humique)**

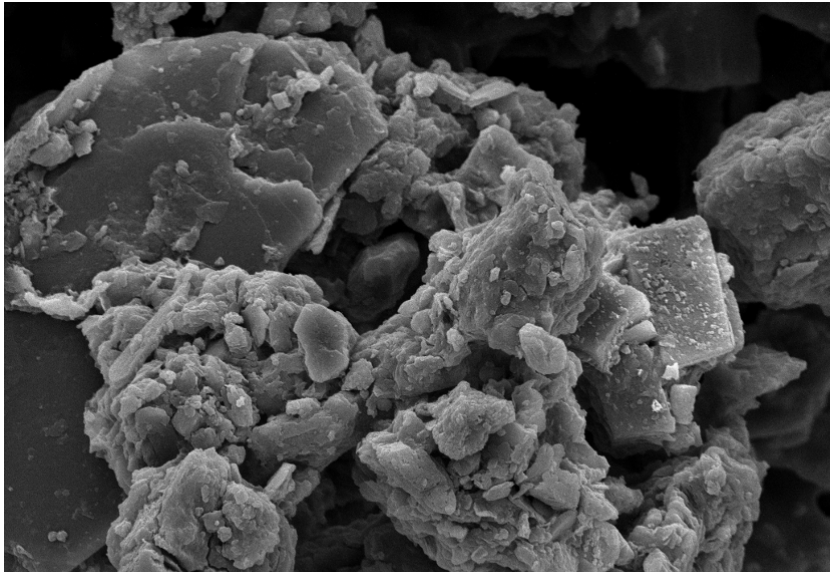
# Relation entre stabilité et CEC


21



**Fig. 2** Effect of clay content and CEC on wet aggregate stability (> 200  $\mu\text{m}$  aggregate ratio) for 7 silty soils. (From Le Bissonnais, 1988).

**La dispersion est le mécanisme de désagrégation le plus efficace, car il concerne les particules élémentaires et a un effet catalyseur sur les autres mécanismes.**



EHT=20.00 kV DCF/CAP WD= 25 mm Mag= 5.00 K X  
3µm  Photo No.=1367 Detector= SE1

## b.) Désagrégation par humectation-dessiccation

22

Les cycles d'humidification - dessiccation vont conduire :

*La désagrégation par gonflement/retrait*

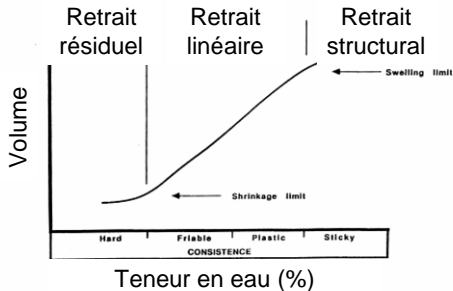
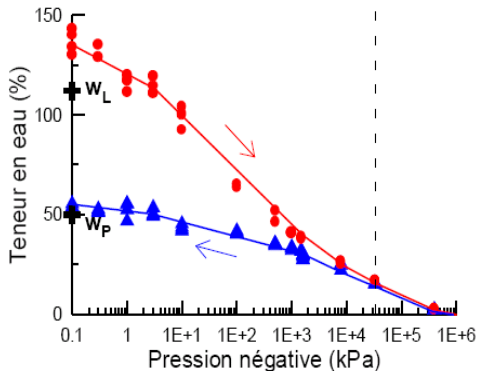


Fig. 4. Schematic shrinkage curve in relation to consistence (From Coulombe et al., 1992).

Argile FoCa  
Pâte  $w_i=1.5W_L$   
 $w_L=90$  -  $IP=52$

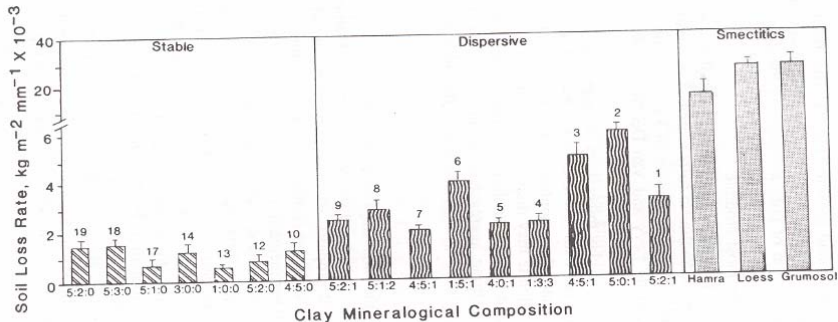
● Drainage  
▲ Humidification



## Conséquences :

- microfissuration des agrégats
- réduction du diamètre moyen des agrégats
- changement des volumes et donc de la concentration et de la composition de la solution du sol

## Donc risque maximum pour les sols à argiles gonflantes...



**Fig. 3** Soil loss rates of untreated stable, dispersive and smectitic soils. Numbers below the columns represent the mineral ratios of kaolinite, illite, and smectite respectively. (From Stern, Ben-Hur and Shainberg, 1991).

## *La désagrégation par éclatement*

- **Risque d'explosion : lors d'une humectation rapide, l'air au sein des agrégats peut être piégés et comprimés**
- **La compression sera fonction de :**
  - la teneur en eau initiale de l'agrégat
  - la taille des pores

**Le risque d'explosion augmente :**

- pour un sol initialement sec
- lorsque les pores dans les agrégats sont de petit diamètre

**Donc risque maximum pour des sols argileux...**

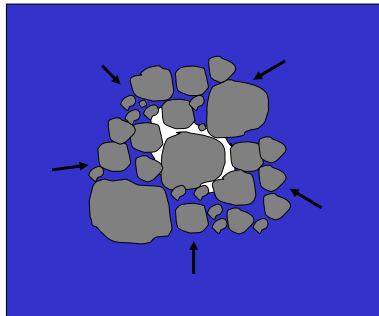
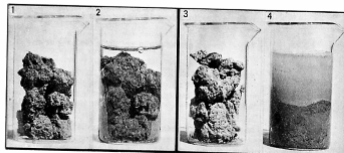


Fig. 2-15  
UNE MISE EN EVIDENCE  
SIMPLE DE LA STABILITE OU  
DE L'INSTABILITE STRUCTU-  
RALE.

Sur des mottes de diversas  
torres (1 - terre humifère de  
surface - 3 - terre argileuse  
de sous-sol...) est versé très  
doucement de l'eau.

Les mottes du sol humifère  
(2) ne se désagrègent que  
lentement : leur structure est  
stable. Les mottes argileuses  
(4) s'effondrent : leur struc-  
ture est instable.



## c.) Désagrégation par gel-dégel

<sup>24</sup> Mécanisme de la cryoclastie sur les agrégats de sols

Augmentation du volume de la phase « eau » lors du gel --> rupture des agrégats

Saturation de la couche superficielle lors du dégel si le sol reste gelé en profondeur : facilite la dispersion

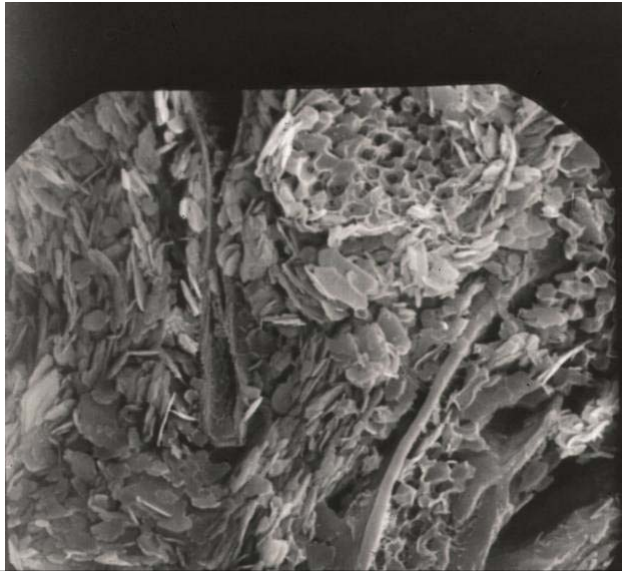


# d.) Désagrégation et agrégation : effet biotique

- Microorganismes du sol

**Agrégation  
biologique**

Rôle de la  
Rhizosphère

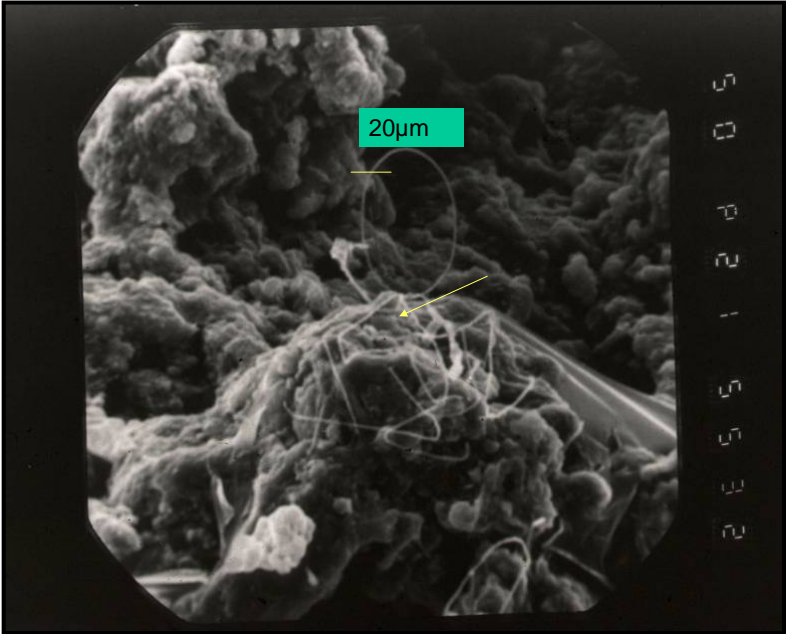


Rôle des  
bactéries...

Production  
De polysaccharides



Mycelium : 1m par grain de terre

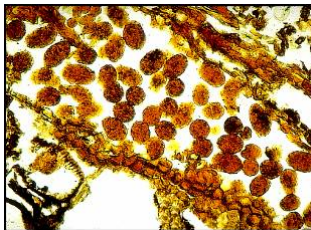


## - Microfaune du sol

### Turricules de vers de terre anécique



Boulettes fécales d'arthropodes



## - Macrofaune du sol

**Piétinement**

**Activités des fousseurs (meso et macro faune)**



## e. ) Rôle de la matière organique

Parmi les agents de cohésion et de stabilité structurale : rôle prépondérant de la matière organique

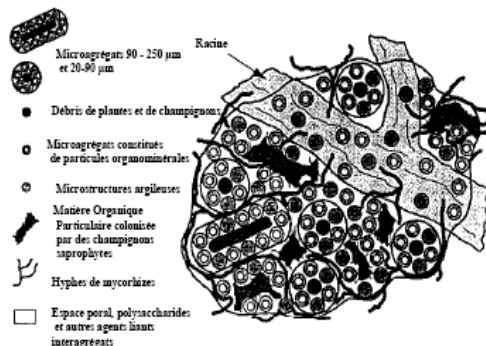


Figure 4 : Structuration d'un macro-agrégat selon le modèle hiérarchique (adapte de Jastrow et Miller, 1997)

**Contrôle de la stabilité structurale passe souvent par des apports humifères**

→ Un problème clef avec la fertilisation minérale

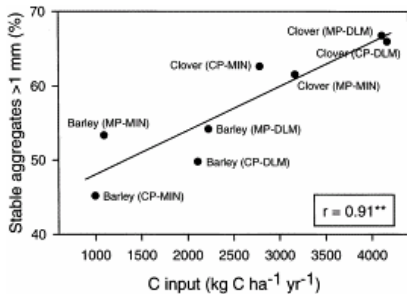
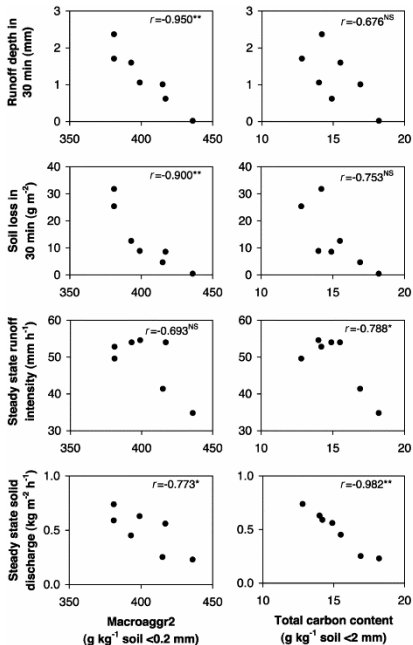
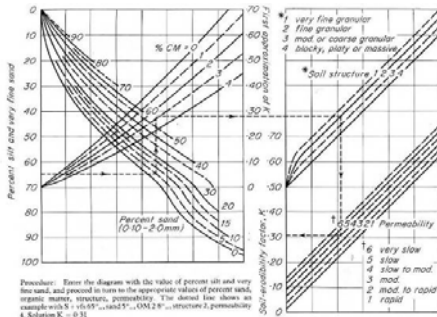


Fig. 1. Relationship between the estimated C input from different cropping systems and the proportion of water-stable aggregates in a silty clay (Normandin, Québec). CP=chisel plowing, MP=moldboard plowing, MIN=mineral fertilization, DLM=fertilization with dairy liquid manure. (Adapted from [Angers et al., 1994](#)).

# Difficulté à prévoir la résistance face aux mécanismes de désagrégation

## Indice d'érodibilité des sols = K

- **Prise en compte de paramètres fixes et facilement accessibles (granulométrie, Teneur en matières organiques...)**

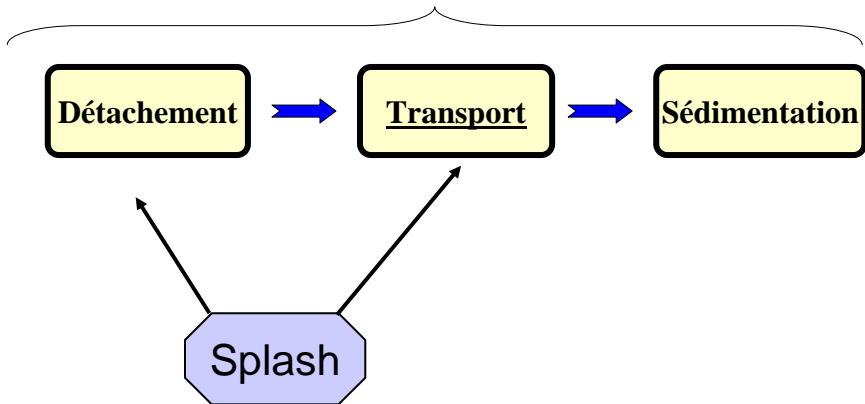


- **Mesure de la résistance mécanique :**  
**Tests de stabilité structurale**  
**(Henin, 1958 . Yoder, 1936.....**  
**Le Bissonais et Souder, 1995)**

**Désagrégation mécanique dans l'eau**  
**Passage sur série de tamis**  
**(2000,  $\mu\text{m}$  , 500, 200, 100, 50  $\mu\text{m}$ )**  
**Calcul du MWD : diamètre moyen pondéré**

## B. Splash

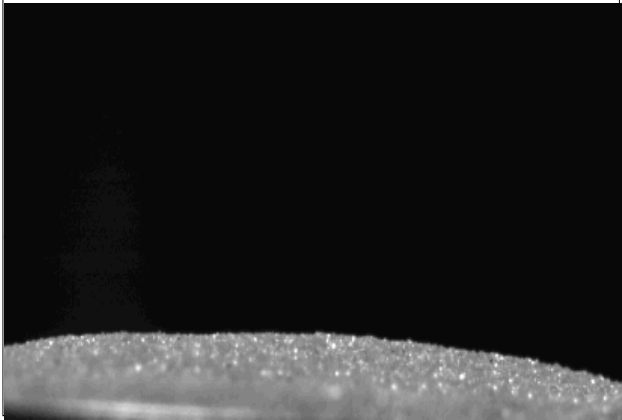
### PROCESSUS



## **a. ) Détachement par Splash**

29

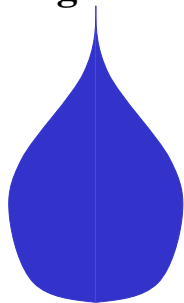
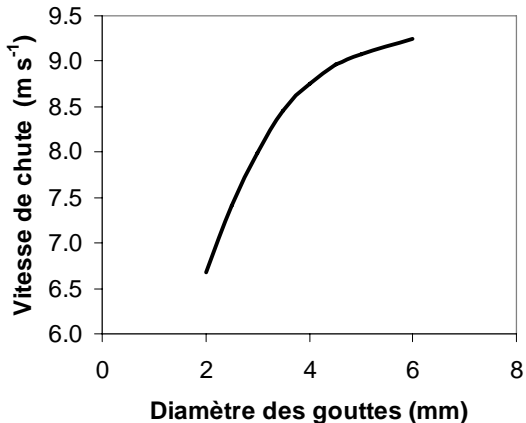
**Projection de matières (particules individuelles ou micro agrégats) à la suite de l'impact des gouttes de pluies**



**Fonction de :**

- l'énergie des gouttes individuelles**
- l'énergie totale de la pluie**
- la stabilité structurale du sol**

# Vitesse terminale de chute des gouttes de pluies en fonction du diamètre de la goutte



$$v \approx 9 \text{ m s}^{-1}$$

$$KE = mv^2/2$$

$$KE \approx 41 \text{ J mm}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

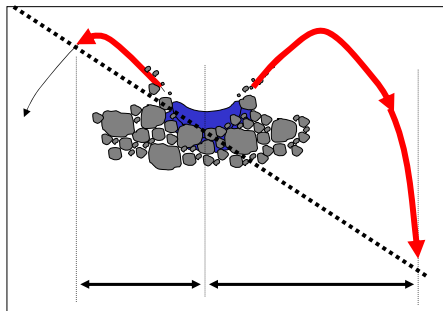
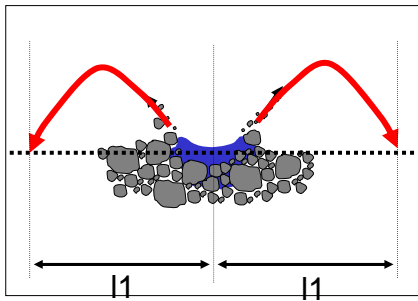
- **Ce sont les particules comprises entre 63 et 250  $\mu\text{m}$  qui nécessitent le moins d'énergie pour le détachement par splash**

Estimation globale du détachement  
(Foster et Lane, 1987)

$$D \equiv k I^2 S^{0.25} C$$

- $D$  = taux de détachement ( $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )
- $K$  = erodibilité du sol
- $I$  = intensité de la pluie ( $\text{mm/h}$ )
- $S$  = pente du sol au point d'impact ( $\text{m/m}$ )
- $C$  = Paramètre Couverture végétale

## b.) Transport par Splash



# Transport par Splash

31

$$T \equiv k I^1 S^1$$

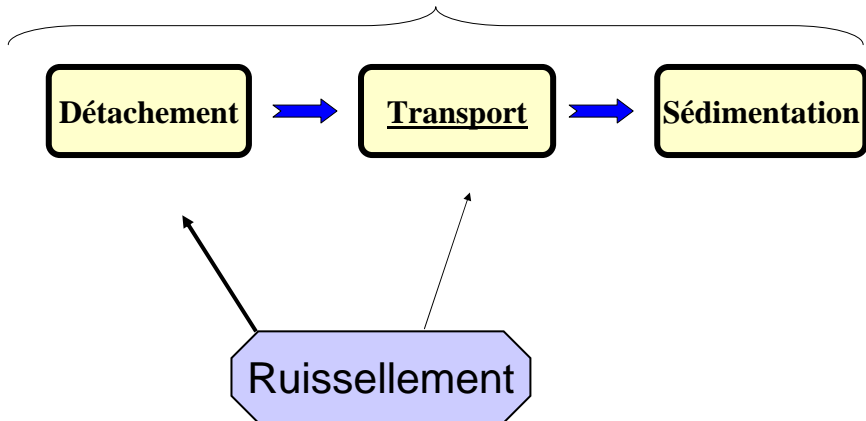
- **T = taux d'érosion par splash (kg m<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)**
- **K = érodibilité**
- **I = intensité de la pluie (mm/h)**
- **S = pente du terrain (m/m)**

**Sur sols limoneux (Poesen, 1988) :**

- **Détachement : 152 T/ha/an**
- **Erosion : 0.2 T/ha/an**

## C. Ruissellement

### PROCESSUS



## a) Genèse du ruissellement

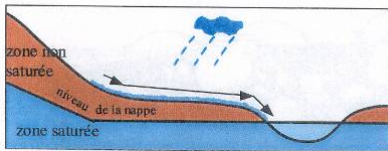
32

**Le ruissellement apparaît :**

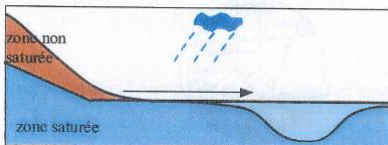
- **lorsque l'intensité de la pluie excède la capacité d'infiltration du sol. (ruissellement hortonien)**
- **Lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée (ruissellement par saturation)**

**C'est le principal "moteur" du transport de sédiment à la surface du sol.**

a. Ecoulement par dépassement de la capacité d'infiltration

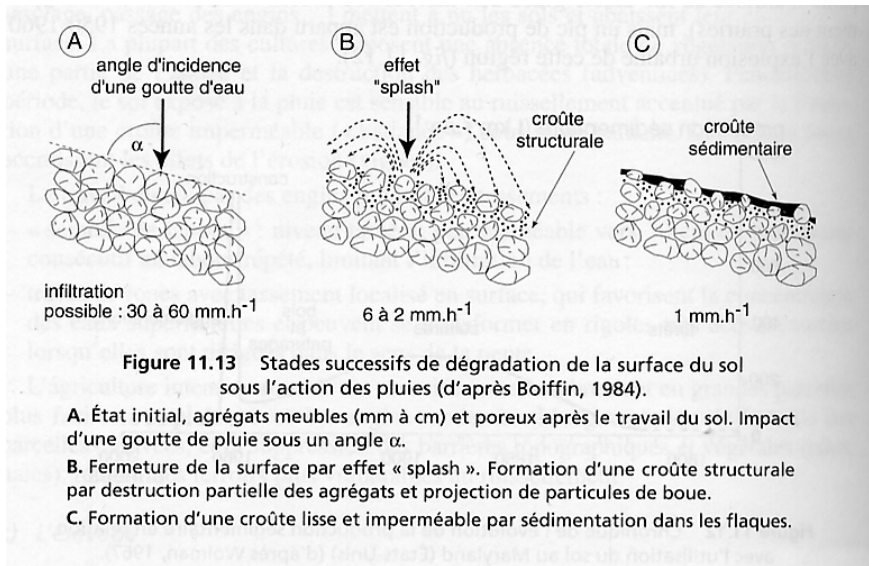


b. Ecoulement par saturation



# Pour les phénomènes érosifs :

## Réorganisation superficielles au cours d'une pluie

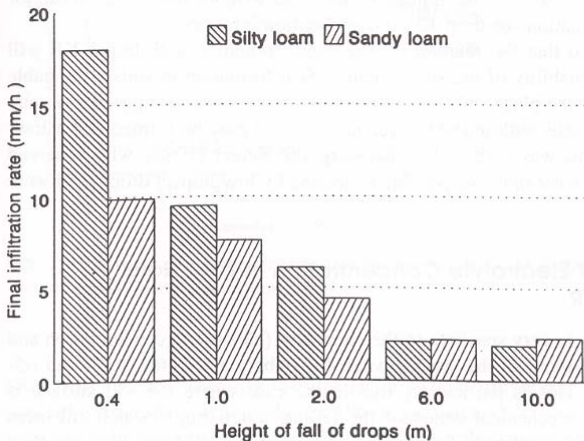


**Figure 11.13** Stades successifs de dégradation de la surface du sol sous l'action des pluies (d'après Boiffin, 1984).

- A. État initial, agrégats meubles (mm à cm) et poreux après le travail du sol. Impact d'une goutte de pluie sous un angle  $\alpha$ .
- B. Fermeture de la surface par effet « splash ». Formation d'une croûte structurale par destruction partielle des agrégats et projection de particules de boue.
- C. Formation d'une croûte lisse et imperméable par sédimentation dans les flaques.

<sup>33</sup> **Donc au cours de l'événement, et au cours de la saison  
évolution de la capacité d'infiltration par formation de croûte  
dite « croûte de battance ».**

Sols	Non encroûtés	encroûtés
	mm h <sup>-1</sup>	mm h <sup>-1</sup>
Sableux	150	20-30
Limoneux	30	1-5



**Fig. 5** Final infiltration rate of a sandy loam and a silty loam as a function of drops falling from various heights. (Adapted from Betzael et al., 1995.)

## Exemple de transformation des « états de surface »

Sur <sup>34</sup>sols avec > 10-15 % argile + limon, avec agrégats relativement stable

- **Stade I (avant ruissellement) :**

- destruction des agrégats sous l'effet de l'impact des gouttes et remplissage des espaces inter-agrégats avec les particules détachées
- compaction des agrégats

==> croûte structurale





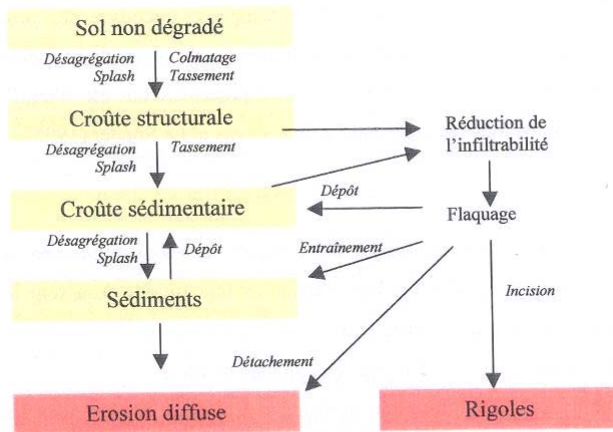


- **Stade II (après initiation du ruissellement) :**
  - les processus du stade I se poursuivent
  - détachement de particules sous l'effet des eaux de ruissellement : croûte de ruissellement
  - sédimentation de particules dans les zones dépressionnaires : croûte de sédimentation (décantation)









**Fig. 5** - Diagramme illustrant les relations entre désagrégation, battance et érosion (Le Bissonnais et Le Souder, 1995).

# Autre systèmes de dégradation des capacités d'infiltration : Compaction des Horizons de surface

Structure Grumeleuse

Structure Lamellaire



Compaction

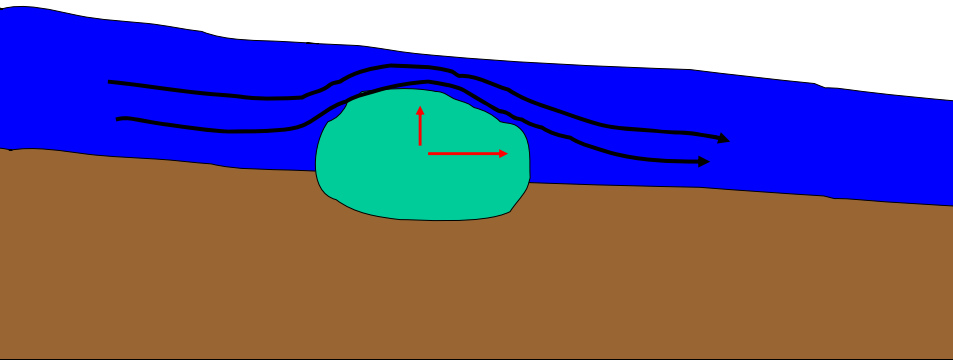


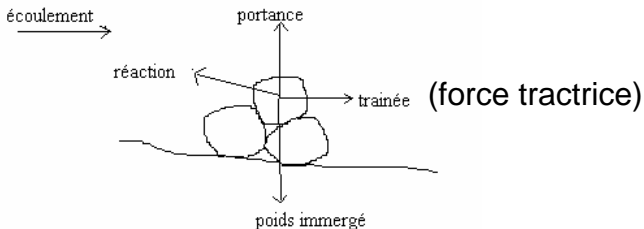




## 40b.) Détachement par ruissellement

Force de friction de l'eau sur les particules de sol  
> résistance du sol au cisaillement





Début du mouvement de la particule si paramètre de Shields (qui quantifie la force tractrice) dépasse un certain seuil :

$$\tau^* = \frac{\rho_w \cdot R \cdot i}{(\rho_s - \rho_w) \cdot d}$$

Avec  $R$  = rayon hydraulique (rapport de la surface mouillée / périmètre mouillé)

$i$  = pente de l'écoulement

$\rho_s$  = masse volumique des grains

$\rho_w$  = masse volumique de l'eau

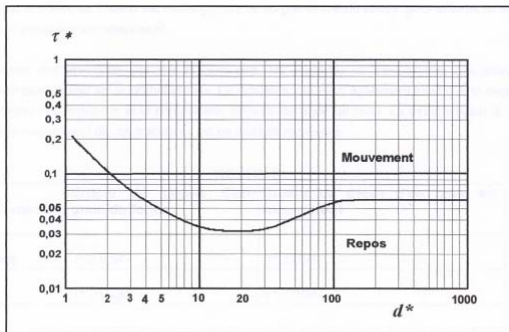
$d$  = diamètre du grain

# Le seuil de déplacement : nombre de Reynolds de frottement

41

1/3

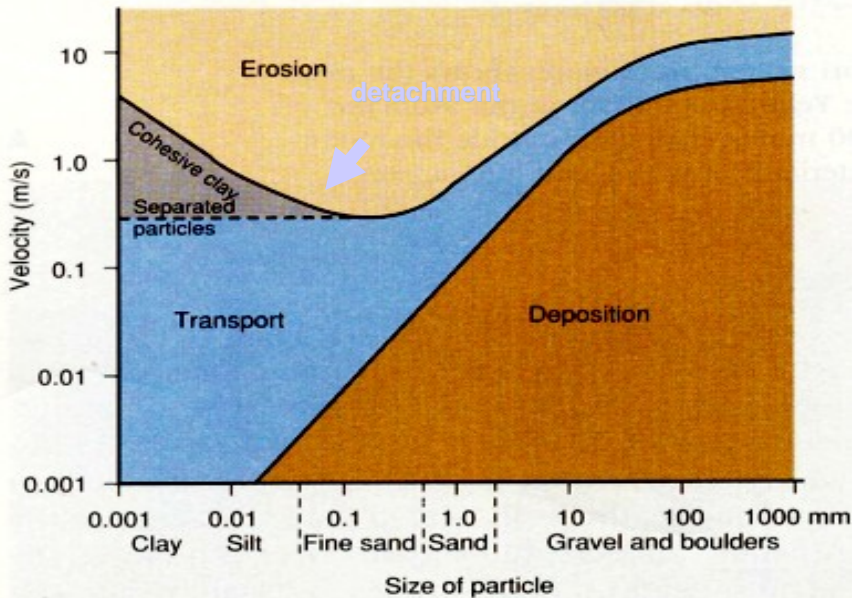
$$d^* = d \left[ \frac{(\rho_s - \rho_w) g}{(\rho_w) v^2} \right]^{1/3}$$



Une classification pratique est proposée par Ramette [56] :

- pour $\tau^* < 0,027$ .....	le grain de diamètre $d$ est au repos ; le fond est plat ;
- pour $0,027 < \tau^* < 0,047$ .....	il y a apparition des tous premiers mouvements, mais pas assez pour générer un débit solide ;
- pour $0,047 < \tau^* < 0,062$ .....	le grain est charrié sur fond plat ;
- pour $0,062 < \tau^* < 0,25$ .....	le grain est charrié par dunes ;
- pour $0,25 < \tau^* < 2,5$ .....	le grain est transporté par dunes en suspension ;
- pour $\tau^* > 2,5$ environ .....	le grain est transporté en suspension sur fond plat.

# Diagramme de Hjulstrom (1935)

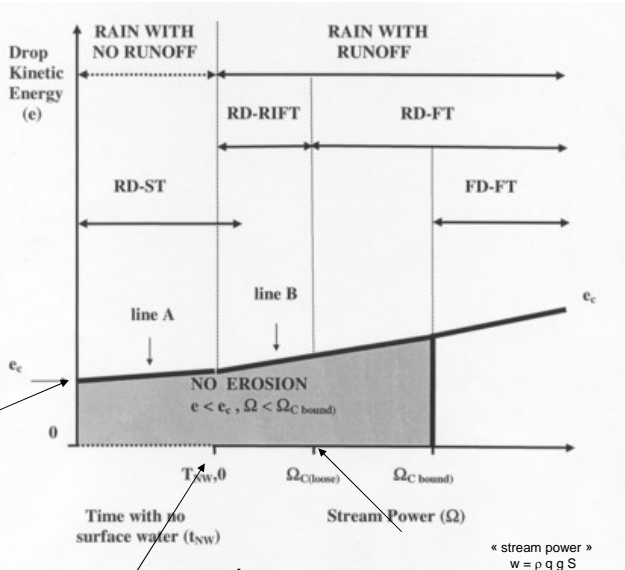


## Relations empiriques (rating curve)

$$T_f \equiv Q^a \cdot S^b$$

- $T_f$  = capacité maximum de transport de l'eau ( $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )
- $Q$  = débit ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )
- $S$  = pente ( $\text{m m}^{-1}$ )
- Ecoulement sans pluie :  $a = b \approx 5/3$
- Ecoulement avec pluie :  $a = 2.13, b = 2.27$

- Raindrop Detachment & Splash Transport (RD-ST)
- Raindrop Detachment and Raindrop Induced Flow Transport (RD-RIFT)
- Raindrop Detachment and Flow Transport (RD-FT)
- Flow Detachment and Flow Transport (FD-FT)



Énergie limite de la goutte provoquant un détachement

Énergie limite de transport des particules pré-détachées

Énergie limite de du ruissellement Provoquant un détachement

« stream power »  
 $w = \rho q g S$   
 Avec  $\rho$  = densité du fluide  
 $q$  = débit  
 $g$  = accélération  
 $S$  = pente  
 Valeur seuil expérimentale d'initiation de l'incision de  $0,5 \text{ Wm}^2$

### 3.1.3. Les phénomènes érosifs en France : typologie et crise actuelle

(Cf. document : rapport érosion hydrique en France 2002)

INRA

<http://erosion.orleans.inra.fr/rapport2002/>

#### A.) Une crise érosive actuelle ?

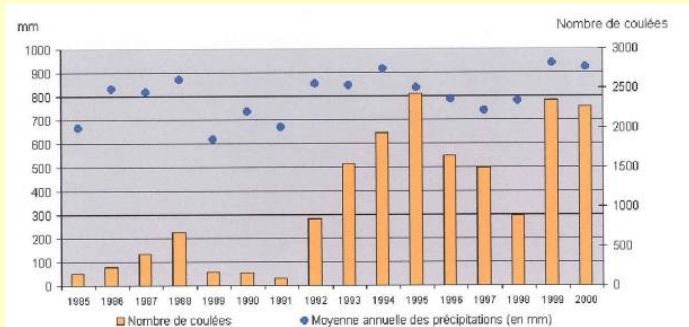
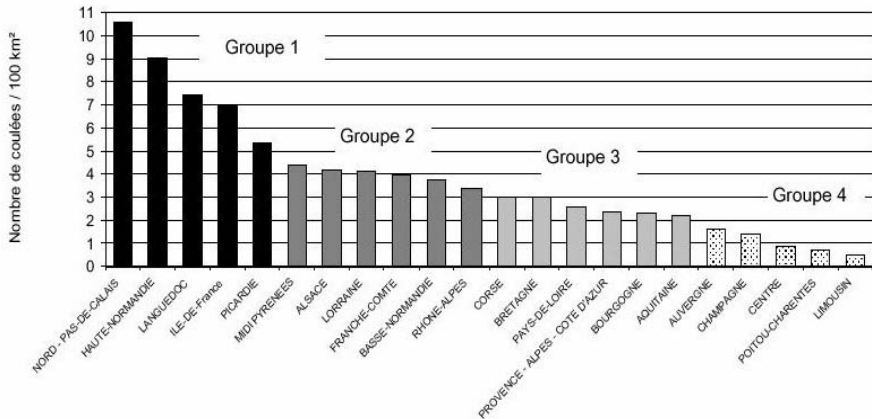


Figure 4 : distribution annuelle des « coulées de boue » (dossier de demande d'indemnisation), en relation avec les précipitations moyennes annuelles.

Source : base des coulées boueuses, données Météo France.



**Figure 2** : histogramme des densités de « coulées de boue » (dossiers de demande d'indemnisation) par région de 1985 à 2001.

Source : base des coulées boueuses.

## **L'érosion s'aggrave depuis 30 ans. Pourquoi ?**

### **L'abandon de l'élevage**

- Disparition des prairies qui protégeaient les sols toute l'année.
- Arrêt des apports de fumier.

### **La simplification des systèmes de culture**

- Augmentation des surfaces travaillées chaque année.
- Augmentation des surfaces en cultures d'été qui laissent les sols nus ou peu couverts au moment des orages de printemps.

### **La fragilisation du sol par des techniques culturales intensives**

- L'approfondissement des labours a dilué la matière organique et rendu la structure plus fragile en surface.
- Le travail intensif du sol et les apports phytosanitaires ont diminué l'activité biologique des sols et leur perméabilité naturelle.



### **L'accroissement de la dimension des parcelles**

- Suppression de haies, de talus, de fossés...

- **Disparition des éléments structurant le paysage**

- Talus, haies et prairies permanentes
- Mares et zones humides
- Fossés agricoles des parcelles de petite tailles

- **Agrandissement des parcelles et spécialisation des cultures**

- disparition des éléments structurants
- concentration du ruissellement
- culture de printemps
- tassement des sols
- diminution de la teneur en matière organique
- homogénéisation des MOS (Viticulture...)

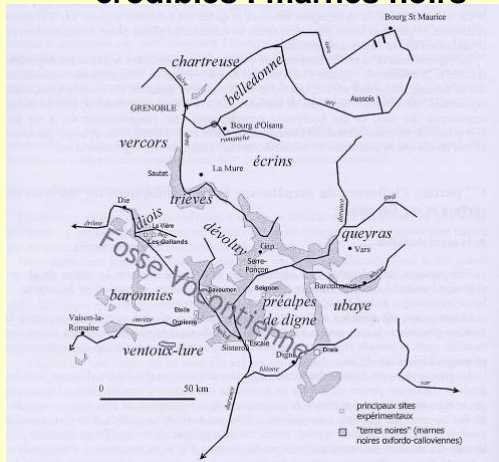
- **Voirie et urbanisation : coupables et victimes**

# Crise érosive en zones de grandes cultures

45

Et dans les Alpes ?

**Des phases d'érosion extrême comparable ont existées dans le milieu alpin et elles marquent en particulier le paysage dans les zones où les sols sont extrêmement érodibles : marnes noirs**





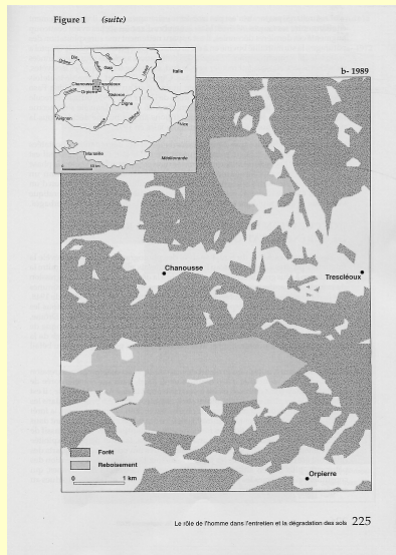
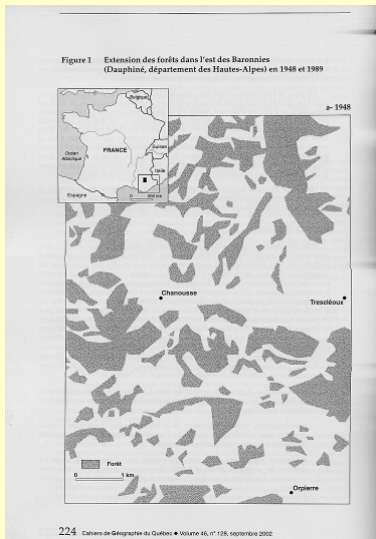
**Reforestation et travaux du RTM.....  
Diminution considérable de l'érosion actuelle**

**Estimation : réduction de l'ordre d'un facteur 10**

**On est passé en quelques décennies d'un système et  
d'un paysage marqués par le ruissellement et le  
ravinement...**

**Vers un autre type de fonctionnement ou l'infiltration  
prend le dessus et augmente l'occurrence des  
phénomènes de reptation et de solifluxion....**

# Aujourd'hui : Moins de 5 hab.km<sup>2</sup> Surface forestière à doublé en un siècle



# 47 Conséquences sur les rivières .....

Déficit sédimentaire des cours d'eau qui conjugué avec les effets de l'extraction des graviers conduit à un

**Encaissement généralisé des cours d'eau.**

**Exemple du Buëch**

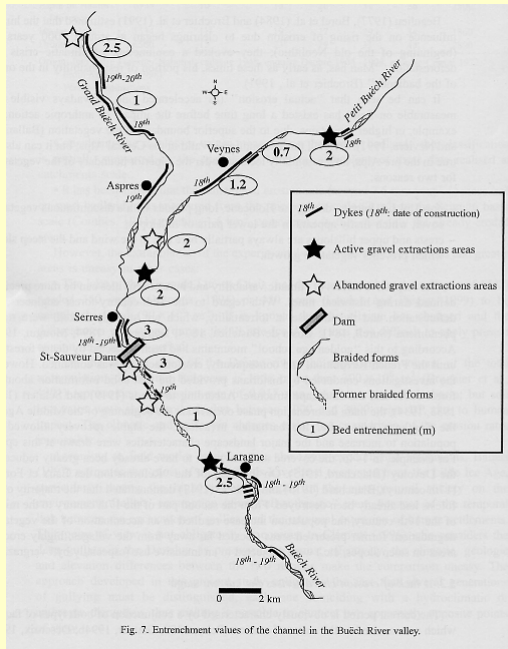


Fig. 7. Entrenchment values of the channel in the Buëch River valley.

**Et dans les Alpes du Nord ?**

**Pour l'Isère au niveau du Grésivaudan**

**Vautier (2000) estime une arrivée de**

**200 000 tonnes de sédiments**

**au début du 20<sup>e</sup> siècle et**

**10 000 depuis les années 1970**

**12 m d'encaissement de l'Arve à coté de Cluses**

**Pas assez d'érosion dans les Alpes ?**

## <sup>48</sup>B. Typologie des phénomènes érosifs en France

### **Type 1 : érosion en régions de grandes cultures**

- érosion automnale et hivernale par concentration du ruissellement
  - érosion lors des orages de printemps et d'été
- (sensibilité à la battance, absence de couvert végétal...)

### **-Type 2 : érosion de vignobles et de vergers**

- érosion par concentration de ruissellement
  - érosion par décapage de sol ameubli
- (occupation du sol, entretien mécanique, pente...)

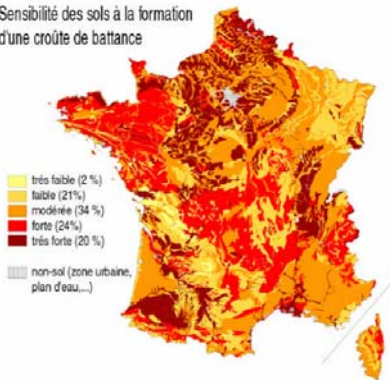
### **Type 3 : érosion de montagne**

- (pente, intensité des précipitations, érodibilité des terrains)

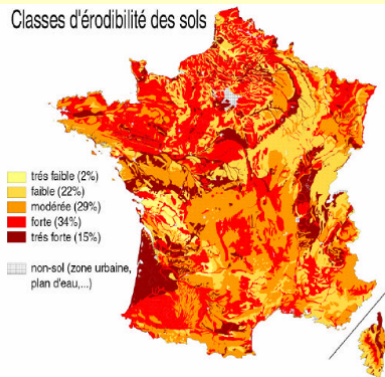
# Des cartographies régionales de l'aléa d'érosion des sols en France

## Erodibilité des sols

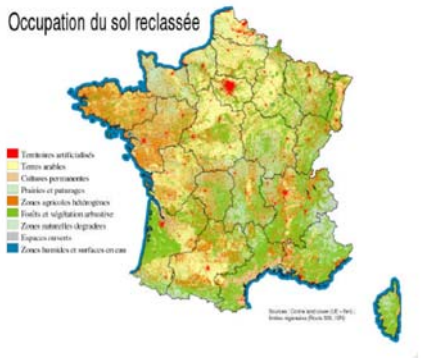
Sensibilité des sols à la formation d'une croûte de battance



Classes d'érodibilité des sols



## Occupation du sol reclassée



## Classes de pentes

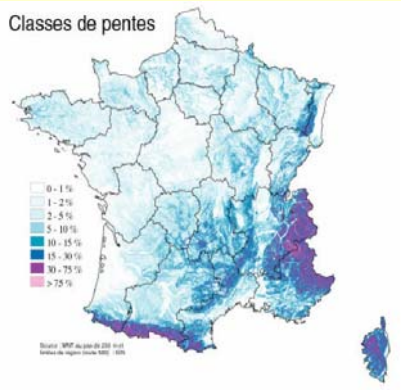
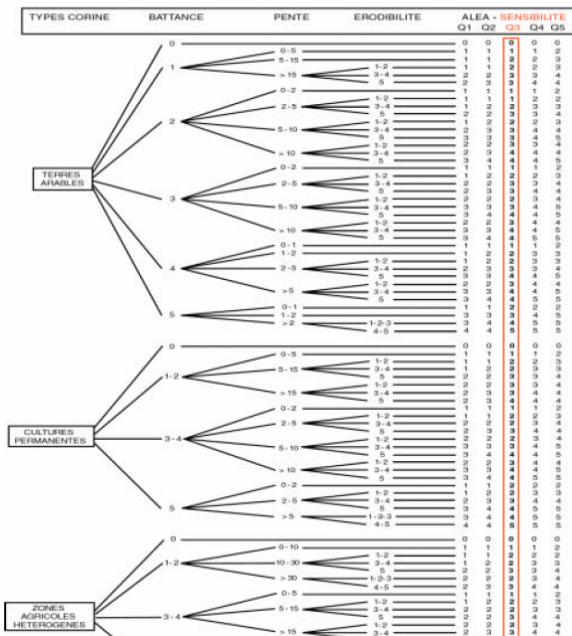


Figure 13 : modèle arborescent pour le calcul de l'aléa érosion.

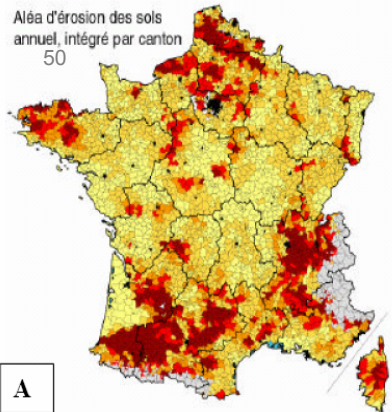


Pour chaque type d'occupation du sol (types Corine Land Cover reclassés en 9 catégories) sont donnés une sensibilité du sol à la battance (0 = sensibilité nulle, 1 = très faible, 2 = faible, 3 = moyenne, 4 = assez forte, 5 = très forte), une classe de pente (en %), et une sensibilité à l'érodibilité du matériau parental (0 = érodibilité nulle, 1 = très faible, 2 = faible, 3 = moyenne, 4 = assez forte, 5 = très forte).

Pour chacune des combinaisons de ces facteurs, la Sensibilité des terrains à l'érosion (Q3) ainsi définie, est augmentée ou diminuée en fonction d'un indice combinant intensité et hauteur des précipitations, classé en quintiles (Q1 = indice de précipitations faible, à Q5 = fort), afin d'obtenir un niveau d'aléa pour ces terrains (0 = aléa nul, 1 = très faible, 2 = faible, 3 = moyen, 4 = assez fort, 5 = très fort). Ainsi, pour un aléa égal à 5, la possibilité de rencontrer des problèmes d'érosion sur ces terrains est très forte.

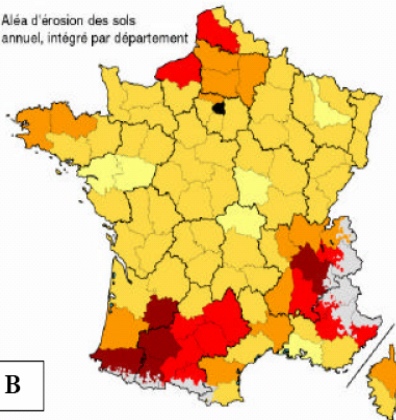
Aléa d'érosion des sols  
annuel, intégré par canton

50



A















Aléa d'érosion des sols  
annuel, intégré par département



B



# Typologie des aléas d'érosion des sols par petite région agricole

Type d'aléa érosif dominant par PRA	Aléa	
	fort	faible
Grandes cultures de printemps		
Grandes cultures d'hiver		
Grandes cultures hiver + printemps		
Cultures permanentes		
Cultures permanentes + Grandes cultures		
Zones hétérogènes		
Surfaces en eau		
Zones urbaines		
Zones de haute montagne		
Zones de moyenne montagne		
Données manquantes		

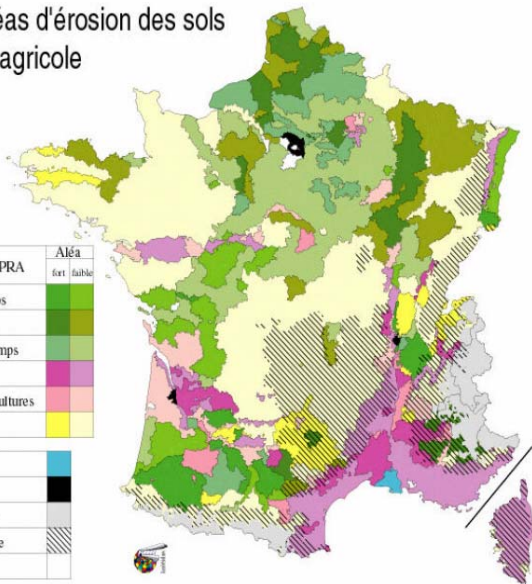


Figure 16 : cartographie de la typologie des aléas par petite région agricole.

## <sup>51</sup>3.2. Méthodes de mesure

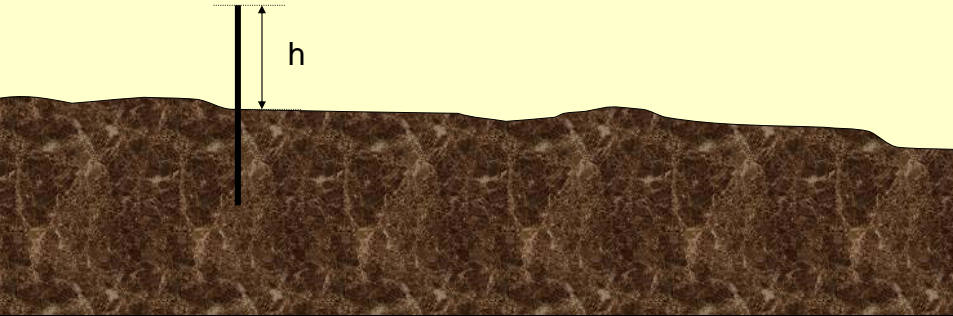
- **L'érosion est fonction de l'échelle de mesure:**
  - splash : dm<sup>2</sup>
  - 'interrill erosion' : m<sup>2</sup> - 100 m<sup>2</sup>
  - érosion en rigole : 100 m<sup>2</sup> - ha
  - érosion en ravine : ha - 1000 km<sup>2</sup>
- **L'échelle de mesure, et donc la méthode de mesure, influencera les types d'érosion qui seront pris en compte**

## **4 grands types de méthodes :**

- Variation de niveau du sol dans le temps  
(érosion / dépôt)**
- Collecte de sédiments**
- Volume d'eau ruisselé ( $\text{m}^3$ ) x charge solide  
( $\text{kg}/\text{m}^3$ )**
- Traceurs ( $^{137}\text{Cs}$ )**

**A). Variations de niveau du sol :**  
érosion en nappe, en rigole, en ravine

- Point unique :  $Dh/Dt$
- Nécessite de nombreuses répétitions
- La tige peut affecter l'érosion localement



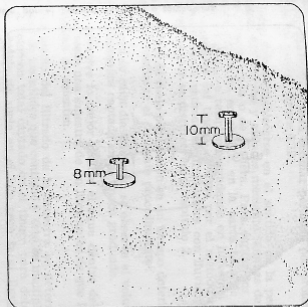
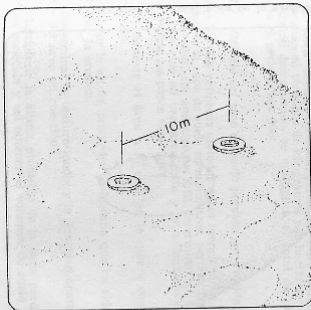


Figura 1.10. Determinación de las pérdidas de suelo por el método de clavos y rondanas

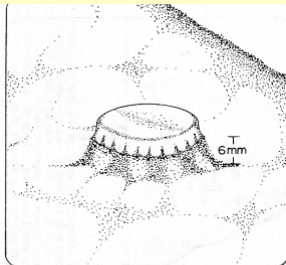
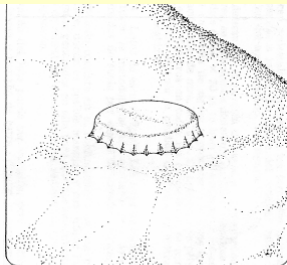


Figura 1.11. Cuantificación de la pérdida de suelo por el método de tapas o corcholatas

# Rugosimètre (1,8 x 1,1 m)

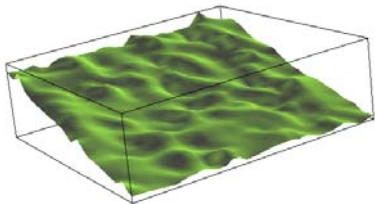


## Mesure avec un rugosimètre laser

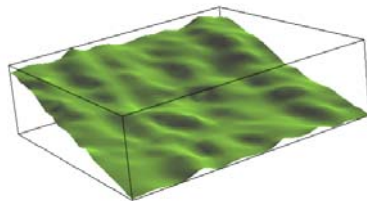


## Tiled El Angel plot

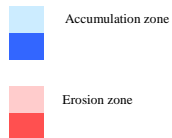
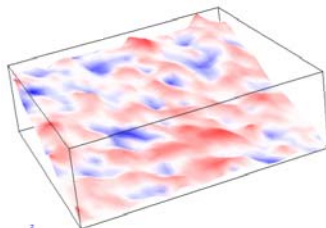
*Initial topography*



*Final topography*



$h_o - h_f$



**Attention pour passer d'une perte en mm de sol à une perte en  $\text{Kg.ha}^{-1}$ , nécessité de connaître la densité apparente du sol ( $\rho_d$ )**

**Exp: une parcelle a connu 2 mm d'ablation moyenne.  
La densité apparente est de 1.1  
Quelle est la perte en  $\text{Kg.ha}^{-1}$  ?**

**1 ha : 10 000  $\text{m}^2$  ou 1 000 000  $\text{dm}^2$**

**2 mm d'ablation soit 0.02 dm**

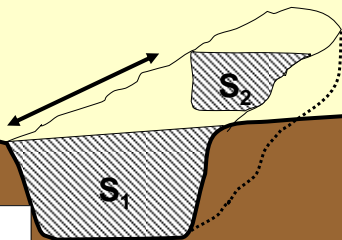
**Donc perte d'un volume de 20 000  $\text{dm}^3$**

**Avec une densité apparente de 1.1 ( $\text{kg.dm}^{-3}$ )**

**La perte est de 22 000  $\text{Kg.ha}^{-1}$**

<sup>55</sup> **Volume de sédiments érodés : Mesure de l'érosion en rigole ou ravine**

Mesure du volume de la ravine ou de la rigole



$$V_{1-2} = \frac{(S_1 + S_2)}{2} L_{1-2}$$

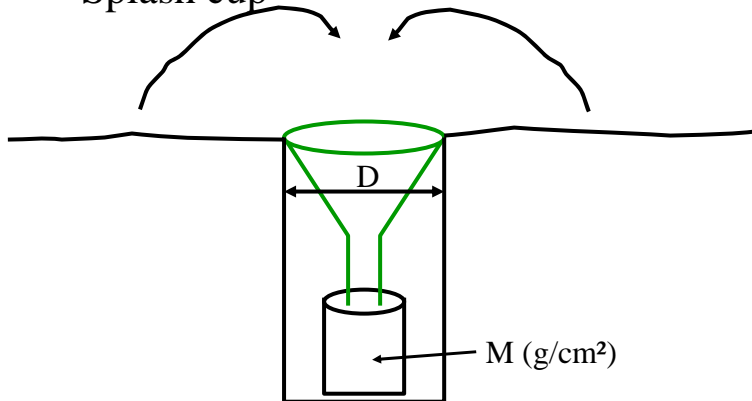
# **Volume de sédiments déposés**

**zones de sédimentation en bas de pente**



## B) Collecte de sédiments : Mesure du splash

- "Splash cup"



**Parcelles d'érosion:  
érosion en nappe et en  
rigole**

**Parcelles d'érosion :  $1 \text{ m}^2 \Rightarrow 100 \text{ m}^2$**

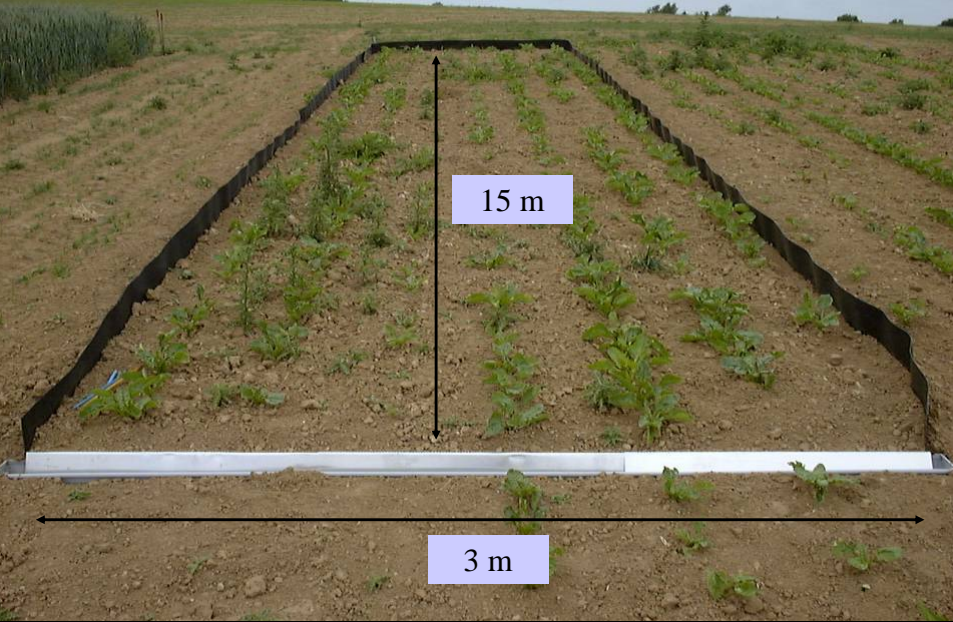
**L'érosion est un processus très  
hétérogène spatialement :  
nécessite des répétitions de mesure  
!**

**Mesure du volume total de  
sédiment (petites parcelles)  
ou bien volume de ruissellement x  
conc. en sédiments**



# Parcelle d'érosion

57



15 m

3 m



## C.) Sur des bassins versants : volume ruisselé \* charge sédimentaire....

58





# En saison sèche

59



# En saison des pluies



## Préleveur d'échantillon



## D.) Vers de nouvelles mesure de l'érosion : méthode isotopique

**$^{137}\text{Cs}$ .**

**Dispersé dans l'atmosphère par les essais nucléaires  
autour des années 60 puis accident de Tchernobyl.**

**Dépôt à la surface des sols assez homogène  
(fonction des précipitation)...**

**Période de désintégration : 30 ans.**

**Adsorptions sur des argiles**

**Non -échangeable...**

**Dans les sols non-perturbés, décroissance exponentielle  
avec la profondeur (diffusion)**

# Cartographie du $^{137}\text{Cs}$ renseigne donc sur les réorganisations des argiles à la surface depuis le dépôt...

Par rapport à une référence considéré comme stable depuis 1960  
Zone appauvrie : zone de départ des fines (érosion)  
Zone enrichie : zone de stockage

## b) Analyse de la dispersion du césium-137 dans les sols

Le  $^{137}\text{Cs}$ , isotope radioactif, a été dispersé dans l'atmosphère autour des années 1960 par les explosions atomiques en haute altitude. Il est retombé sur la surface de la Terre sensiblement en proportion des précipitations. L'accident de Tchernobyl en 1987 a été un nouvel apport en Europe.  $^{137}\text{Cs}$  peut être relié à l'érosion mécanique car, une fois au sol, il n'est pas absorbé par les plantes et est presque exclusivement associé aux particules, notamment aux argiles (Ritchie et McHenry, 1990). Sa période de désintégration (30 ans) permet d'analyser avec précision sa dispersion depuis 1960.

La cartographie de la radioactivité du  $^{137}\text{Cs}$  des sols [exprimée en Bq (Bequerel)  $\cdot \text{m}^{-2}$  de sol], permet de situer les zones d'érosion (activité plus faible) et les zones de stockage (activité plus forte) relativement à un site de référence supposé stable depuis 1960 (prairie ou friche) (fig. 2.11).

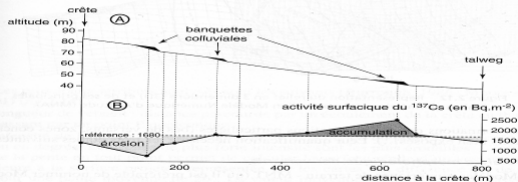


Figure 2.11 Redistribition du  $^{137}\text{Cs}$  et mouvements de matière associés sur un versant crayeux à banquettes colluviales (« rideaux ») en Touraine (d'après Fourmont, 2001).

A. Profil topographique. B. Redistribition du  $^{137}\text{Cs}$ . Depuis 1960, la partie supérieure du versant (banquette comprise) est en érosion, la partie moyenne stable et la partie inférieure (banquette comprise) en accumulation. Le talweg est en érosion. Les colluvions séculaires des banquettes sont en cours de redistribution (cf. fig. 11.16).

Dans les zones avec Aref > Asite  
et pour les sols labourés

$$A = 10. \rho. h - 10. \rho. h \left(1 - \frac{X}{100}\right)^{1/(t-1963)}$$

A = perte annuel (t ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>)

ρ = densité apparente (kg m<sup>-3</sup>)

h = profondeur de labour (m)

X = % perte de <sup>137</sup>Cs sur la zone de prélèvement comparé au site de référence

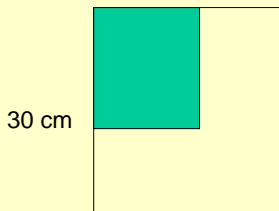
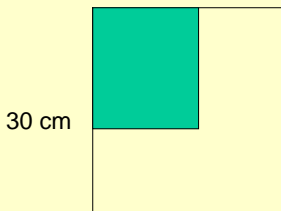
X = 100. ((Aref - Asite)/Aref)

t = année de l'échantillonnage (le model considère que l'ensemble du dépôt de <sup>137</sup>Cs est réalisé en 1963)

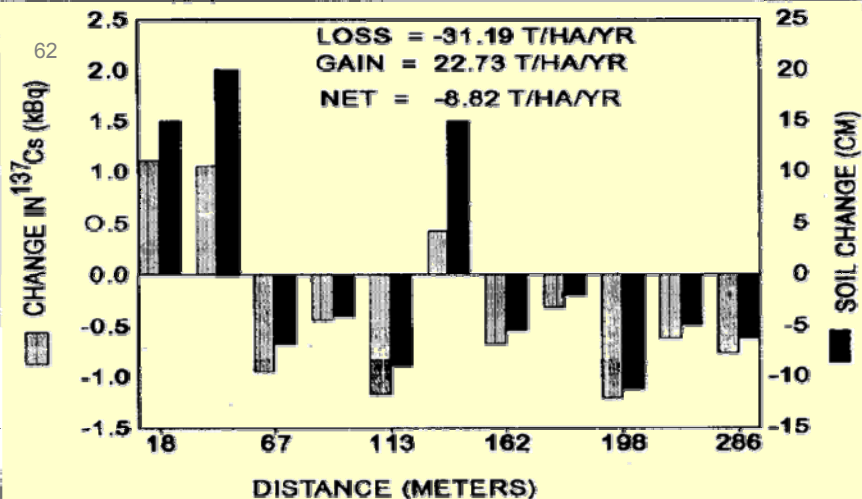
Exemple (bassin versant normand échantillonné en 2006 – ρ = 1 g.cm<sup>-3</sup>):

Site de référence : 2400 Bq.m<sup>-2</sup>

Site érodé : 1200 Bq.m<sup>-2</sup>



A = 350 kg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>



**Figure** Soil redistribution from the bottom (18 m) to the top (286 m) of a slope from an agriculture field in Wisconsin. Adapted from Mitchell et al. 1980.

## **3.3. Modélisation de l'érosion**

**Dans une optique d'évaluation des risques ou d'établissement de schémas d'aménagements pour la conservation des sols, la modélisation est un outil d'aide à la décision essentiel .**

### Types de modèles

- **Modèles empiriques**
- **Modèles déterministes (mécanistique, physique)**
- **Modèles stochastiques ou probabilistes (empirique ou déterministe)**

### 63 2.2.1. Modèles empiriques

**Utilisent des relations statistiquement significative entre des variables indépendantes (pente, type de sol, ...) et la variable dépendante (perte en terre, p.ex.)**

**Exemple de relation empirique :**

$$E = a \exp(-b \cdot \%C)$$

**avec E = perte en terre relative,  
%C = pourcentage de couverture  
A et b des coefficients de calage**

- **Exemple de modèle empirique :**
  - **Universal Soil Loss Equation**  
**(USLE / RUSLE/MUSLE)**

**Dérivé à partir d'observations pendant plusieurs années sur 10000 parcelles standardisées (22 m x 1.8 m, 5°) aux Etats-Unis**

**Assez fiable dans les limites de validité du modèles (climat, type de sol, ...) du fait de la très volumineuse base de données qui a servi à son élaboration.**

**Mais ne prend pas en compte le ravinement**

**BASE DE 95% DES MODELES DE TRANSFERT...**

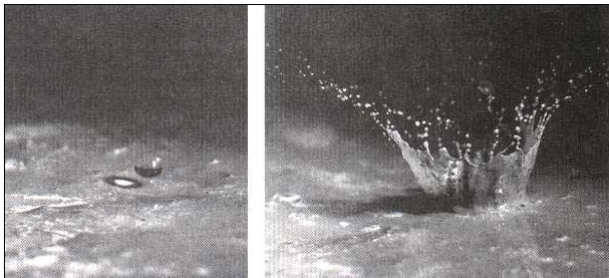
**E = R.K.L.S.C.P**

•E = perte en terre annuelle (t/ha/an)

- R= Erosivité des pluies**
- K= Erodibilité des sols**
- L = Longueur des pentes**
- S = Inclinaison des pentes**
- C = Couverture végétale et pratiques culturales**
- P = Pratiques anti-érosive**

**Basé sur le principe que l'effet des différents facteurs est multiplicatif et indépendant**

## A. ) Erosivité des pluies

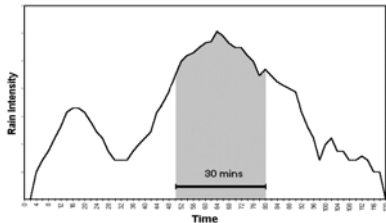
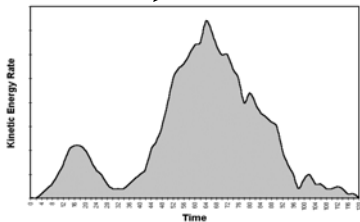


- **Erosivité = exprime la capacité de la pluie à provoquer de l'érosion :**
  - par le détachement lors de l'impact des gouttes de pluies
  - par la genèse du ruissellement

# Indices d'érosivité de la pluie

$$R = E \times I_{30}$$

- avec  $E$  = énergie cinétique de la pluie et  $I_{30}$  l'intensité maximale de la pluie au cours d'un intervalle de 30 min (mm/h).



## **B.) Erodibilité du sol**

- **Exprime la sensibilité du sol à l'érosion**
- **Reflète la résistance qu'offre un sol vis-à-vis du détachement et du transport**
  
- **L'érodibilité est principalement fonction de :**
  - **la structure et la stabilité structurale du sol**
  - **la texture du sol (Limon + Sable fin)**
  - **la teneur en matière organique**
  - **la composition chimique de la solution du sol**
  - **la minéralogie**
  - **la résistance au cisaillement du sol**
  - **la capacité d'infiltration**

# Indices d'érodibilité du sol

- **Facteur K de la "Universal Soil Loss Equation".**
  - **K = f (%MO, texture, indice de perméabilité, indice de structure)**
- **Stabilité structurale : bon indice du risque de battance, moins bien corrélé avec l'érosion.**
  - **Indice de Le Bissonnais : mesure de la désagrégation d'agrégats sous l'effet d'une humectation rapide, humectation lente et agitation mécanique**

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

où 
$$K = (27,66 \times m^{1,14} \times 10^{-8} \times (12-a)) + (0,0043 \times (b-2)) + (0,0033 \times (c-3))$$

K = facteur d'érodibilité des sols ( $t \cdot ha \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ )

m = (limon (%) + sable très fin (%))(100-argile (%))

a = matière organique (%)

b = code de structure : 1) très structuré ou particulaire, 2) assez structuré, 3) peu structuré et 4) massif (Adapté de Drolet et al. 1989)

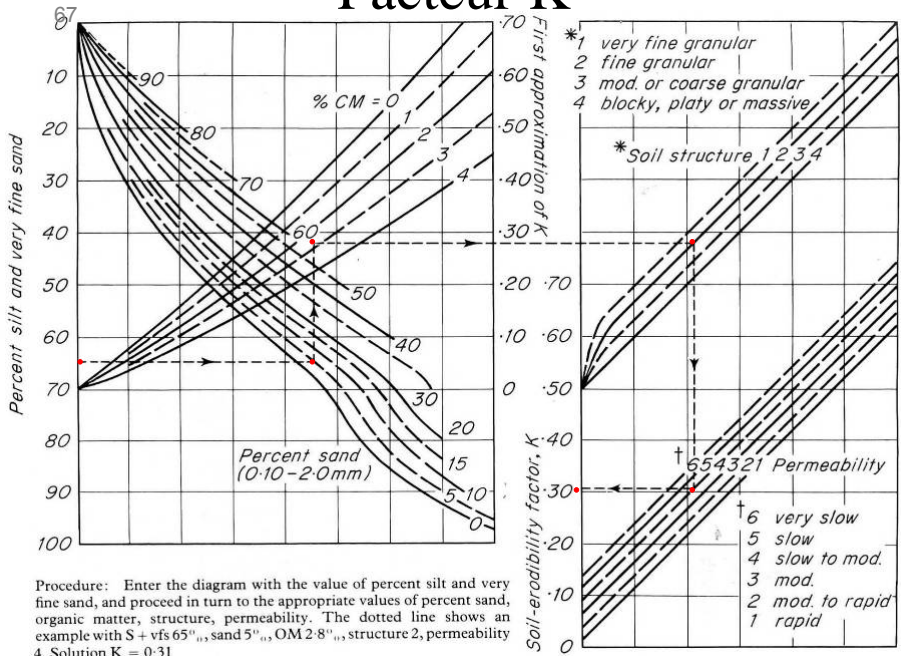
c = code de perméabilité du profil : 1) rapide, 2) modérée à rapide, 3) modérée, 4) modérée à lente, 5) lente et 6) très lente.

**Tableau 1. Définition des classes d'érodibilité**

	<b>Classe</b>	<b>Facteur K</b> ( $t \cdot ha / MJ \cdot mm$ )	<b>Superficie</b> (%)
1	Négligeable	<0.020	45,6
2	Faible	0.020 – 0.039	46,3
3	Modérée	0.039 – 0.053	5,2
4	Élevée	0.053 – 0.066	2,9
5	Très élevée	$\geq 0.066$	nil

Adapté de Presant et Acton (1984)

# Facteur K



Procedure: Enter the diagram with the value of percent silt and very fine sand, and proceed in turn to the appropriate values of percent sand, organic matter, structure, permeability. The dotted line shows an example with S + vfs 65%, sand 5%, OM 2.8%, structure 2, permeability 4. Solution K = 0.31

## C.). Longueur et inclinaison des pentes





# Facteur topographiques

Tableau 6 - 5

## INFLUENCE DE LA PENTE SUR LE RUISSELLEMENT ET L'ÉROSION.

(Etudes faites en parcelles expérimentales dans 5 stations de conservation du sol des États-Unis, et citées par F. FOURNIER, Conservation des Sols, Conseil de l'Europe).

On voit qu'il n'est pas nécessaire que la pente soit forte pour que l'érosion atteigne des valeurs élevées.

Il s'agit de cultures particulièrement érosives (maïs et coton) laissant le sol à nu pendant la période propice aux orages.

Type de sol	Pluie moyenne annuelle (mm)	Longueur de pente (m)	Degré de pente (%)	Culture	Erosion moyenne annuelle en tonnes / ha	Ruissellement moyen (% des pluies)
1 Limon argileux de Miles (Texas)	526	30	0	Coton	5,43	6,4
	"	"	1	"	12,84	15,1
	"	"	2	"	17,29	15,5
2 Limon fin de Muskingum (Ohio)	926	22	8	Maïs	148,25	30,4
	"	"	12	"	180,87	42
3 Argile de Houston (Texas)	889	22	2	Maïs	26,18	13,4
	"	"	4	"	75,11	16,6
4 Limon finement sableux de Kirvin (Texas)	1041	22	8,75	Coton	68,94	20,9
	"	"	16,5	"	177,90	14,6
5 Limon de Shelby (Missouri)	940	27,5	3,7	Maïs	48,67	29,4
	"	"	8	"	170,00	28,3

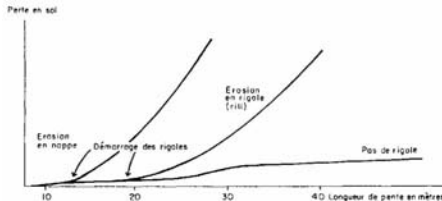
Tableau 6 - 6

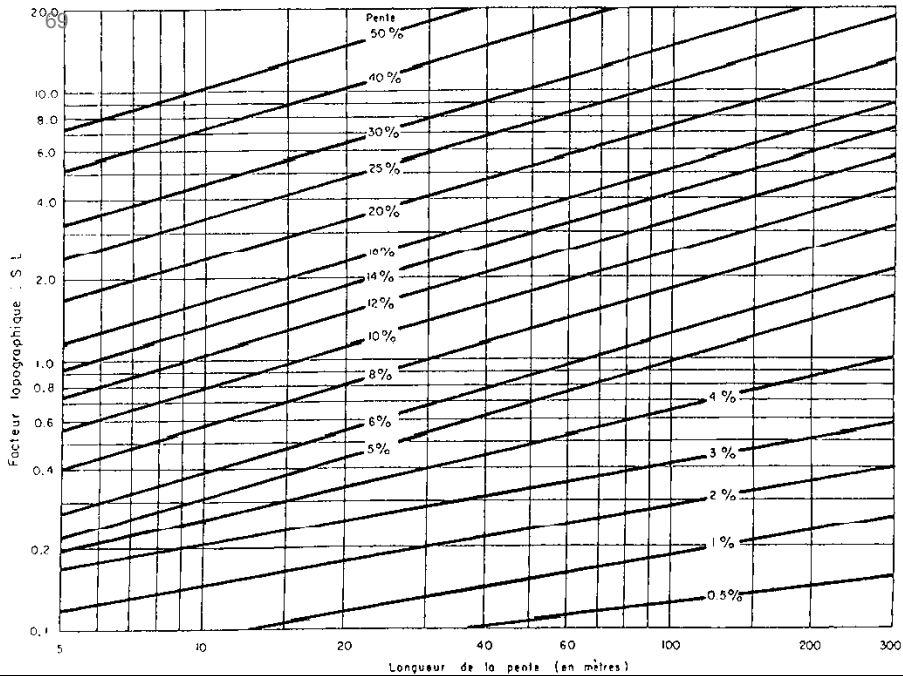
## INFLUENCE DE LA LONGUEUR DE LA PENTE SUR L'ÉROSION DU SOL (Iowa, USA).

(cité par F. FOURNIER, mêmes références)

On voit que le ruissellement est multiplié par 2 et l'érosion par 4 quand la longueur de la pente passe de 48 à 192 m.

Longueur de la pente (m)	Ruissellement (% de la hauteur d'eau tombée)	Erosion (tonnes par ha)
48	10,8	21,34
96	18	45,11
192	20,3	81,19





## D.) les pratiques agricoles et pastorales.

Ces pratiques conditionnent :

- la longueur et les connexions entre les parcelles
- la nature des couvertures végétales
- les « Etats de surface » des sols

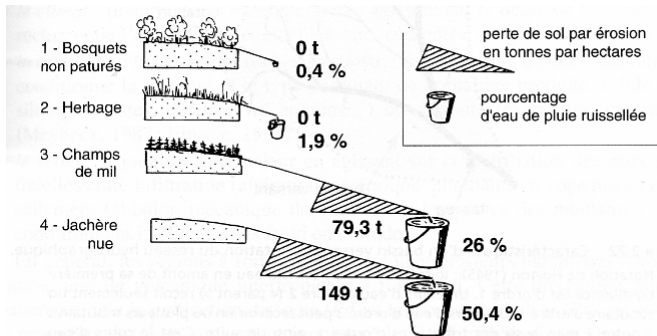


Figure 2.21 Analyse du rôle de la couverture végétale sur l'érosion et le ruissellement sur différentes parcelles expérimentales de 50 m<sup>2</sup> en Tanzanie (d'après Sundborg, 1986).

## Le couvert végétal limite l'énergie des gouttes d'eau et les vitesses de ruissellement

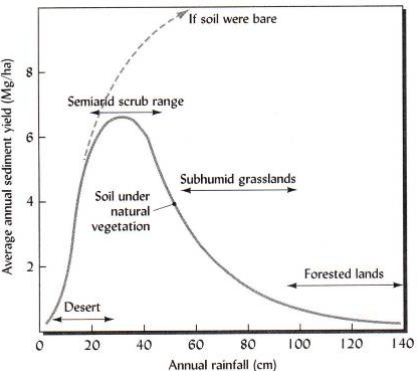


Tableau 6 - 5

### INFLUENCE DE LA PENTE SUR LE RUISSÈLEMENT ET L'ÉROSION.

(Études faites en parcelles expérimentales dans 5 stations de conservation du sol des États-Unis, et citées par F. FOURNIER, Conservation des Sols, Conseil de l'Europe).

On voit qu'il n'est pas nécessaire que la pente soit forte pour que l'érosion atteigne des valeurs élevées.

Il s'agit de cultures particulièrement érosives (maïs et coton) laissant le sol à nu pendant la période propice aux orages.

Type de sol	Pluie moyenne annuelle (mm)	Longueur de pente (m)	Degré de pente (%)	Culture	Erosion moyenne annuelle en tonnes / ha	Ruissellement moyen (% des pluies)
1 Limon argileux de Miles (Texas)	526	30	0	Coton	5,43	6,4
	--	--	1	--	12,94	15,1
	--	--	2	--	17,29	15,5
2 Limon fin de Muskingum (Ohio)	926	22	8	Maïs	148,25	30,4
	--	--	12	--	180,87	42
3 Argile de Houston (Texas)	889	22	2	Maïs	26,18	13,4
	--	--	4	--	75,11	16,6
4 Limon finement sableux de Kirvin (Texas)	1041	22	8,75	Coton	68,94	20,9
	--	--	16,5	--	177,90	29,4
5 Limon de Shelby (Missouri)	940	27,5	3,7	Maïs	48,67	29,4
	--	--	8	--	170,00	28,3

Tableau 6 - 6

### INFLUENCE DE LA LONGUEUR DE LA PENTE SUR L'ÉROSION DU SOL (Iowa, USA).

(cité par F. FOURNIER, mêmes références)

On voit que le ruissellement est multiplié par 2 et l'érosion par 4 quand la longueur de la pente passe de 45 à 192 m.

Longueur de la pente (m)	Ruissellement (% de la hauteur d'eau tombée)	Erosion (tonnes par ha)
48	10,8	21,34
96	18	45,11
192	20,3	81,19

Tableau 6 - 7

### INFLUENCE DE LA COUVERTURE DU SOL SUR LE RUISSÈLEMENT (donc sur l'érosion). (D'après NAHHL, Principes de Conservation du Sol, Masson).

C'est la forêt qui limite le plus le ruissellement par son couvert et sa lièze. Mais d'autres expérimentations plaident en faveur de la prairie.

Nature de la couverture végétale	Ruissellement (infiltration) x 100
Forêts .....	2 %
Prairie .....	5 %
Ble, Orge .....	25 %
Maïs, Coton .....	50 %

**Prairie et Forêt sont le plus efficaces mais attention aux exploitation sylvicole laissant une faible couverture herbacée**

# Facteur C de l'USLE

Table 6.1. Cover management C factors for permanent pasture, rangeland, and idle land<sup>1</sup> (Cooperative Extension Service and The Ohio State University, 1979).

Vegetal Canopy			Cover that Contacts the Surface					
Type and height of Raised Canopy <sup>2</sup>	Canopy Cover <sup>3</sup>	Type <sup>4</sup>	Percent Ground Cover					
			0	20	40	60	80	95-100
Column No:	2	3	4	5	6	7	8	9
No appreciable canopy		G	0.45	0.20	0.10	0.042	0.013	0.003
		W	0.45	0.24	0.15	0.090	0.043	0.011
Canopy of tall weeds or short brush	25	G	0.36	0.17	0.09	0.038	0.012	0.003
		W	0.36	0.20	0.13	0.082	0.041	0.011
(1.5 ft fall ht.) <sup>2</sup>	50	G	0.26	0.13	0.07	0.035	0.012	0.003
		W	0.26	0.16	0.11	0.075	0.039	0.011
	75	G	0.17	0.10	0.06	0.031	0.011	0.003
		W	0.17	0.12	0.09	0.067	0.038	0.011
Appreciable brush or bushes (6 ft fall ht.) <sup>2</sup>	25	G	0.40	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
		W	0.40	0.22	0.14	0.085	0.042	0.011
	50	G	0.34	0.16	0.085	0.038	0.012	0.003
		W	0.34	0.19	0.13	0.081	0.041	0.011
	75	G	0.28	0.14	0.08	0.036	0.012	0.003
		W	0.28	0.17	0.12	0.077	0.041	0.011
Trees but no appreciable low brush (12 ft. fall ht.) <sup>2</sup>	25	G	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003
		W	0.42	0.23	0.14	0.087	0.042	0.011
	50	G	0.39	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
		W	0.39	0.21	0.14	0.085	0.042	0.011
	75	G	0.36	0.17	0.09	0.039	0.012	0.003
		W	0.36	0.20	0.13	0.083	0.041	0.011

<sup>1</sup> All values shown assume: (1) random distribution of mulch or vegetation, and (2) mulch of appreciable depth where it exists.

<sup>2</sup> Average fall height of waterdrops from canopy to soil surface.

<sup>3</sup> Percent of total-area surface that would be hidden from view by canopy in a vertical projection.

<sup>4</sup> G: Cover at surface is grass, grasslike plants, decaying compacted duff, or litter at least 2 in. deep. W: Cover at surface is mostly broadleaf herbaceous plants (as weeds) with little lateral-root network near the surface, and/or undecayed residue.

# Pratiques anti-érosives (P)

**P = effect des pratiques anti-érosives**

- **Bandes enherbées**
- **cultures en ligne de niveau**
- **terrasses**

**Souvent on considère une absence de pratiques anti-érosives → P = 1.0**

**Table 6.3. Conservation Practice Factor  $P$  for the USLE (Wischmeier and Smith, 1978; and Bengston and Sabbagh, 1990).**

<b>Farming up and down slope</b>		
All crops		$P = 1.0$
<b>Contour Farming</b>		
Land Slope Percent	Maximum Slope Length <sup>a</sup> (feet)	$P$ factor
1 to 2	400	0.6
3 to 5	300	0.5
6 to 8	200	0.5
9 to 12	120	0.6
13 to 16	80	0.7
17 to 20	60	0.8
<b>Strip Cropping</b>		
With grass and row crop		Contour $P \times 0.5$
With small grain and row crop		Contour $P \times 0.67$
<b>Terraces</b>		
Loss from crop		Same as Contouring $P$
Loss from Terrace		
With graded channel outlet		Contour $P \times 0.2$
With underground outlet		Contour $P \times 0.1$
<b>Subsurface Drainage</b>		$P = 0.6$

<sup>a</sup> Maximum slope length for strip cropping can be twice contouring.

### 3. Conservation des sols

A photograph of a rural landscape featuring terraced hillsides. The terraces are built into the slopes of a hill, creating a series of flat, rectangular plots. The plots are covered with green vegetation, likely crops or grass, and are separated by low, earthen walls. In the background, a small cluster of buildings is visible on a higher ridge. The sky is bright blue with scattered white clouds. The overall scene illustrates a method of soil conservation and agriculture on sloping terrain.

# Notion de taux d'érosion acceptable

- **Point de vue de la productivité des sols :**

- Taux de formation des sols : 0.01 à 7.7 mm/an; moyenne : 0.1 mm/an  $\cong$  1.5 t/ha/an.
- Taux d'érosion sur des terres non perturbées : généralement  $< 1$  t/ha/an
- Maintien d'une couche de sol de profondeur suffisante pour l'enracinement pour une période de 20 - 25 ans (USA): 11 t/ha/an

- **Point de vue de la pollution des eaux de surface :**

- Chaque tonne de terre érodée contient entre 0.2 et 2 kg de P, dont 20 à 50% sont biodisponibles.
- Pour limiter les risques d'eutrophisation des eaux de surface, il faudrait maintenir le taux d'érosion  $< 200$  kg/ha/an.

## **Méthodes de conservation des sols**

- 3.1. Méthodes agronomiques
- 3.2. Méthodes « végétales »
- 3.3. Méthodes physiques

**Toujours commencer par l'amont !**

# 3.1. Méthodes agronomiques

**Ce sont les méthodes :**

- les moins onéreuses**
- les plus faciles à mettre en œuvre**
- les plus faciles à insérer dans les systèmes de production existants**

**Permettent de contrôler la phase de détachement et/ou de transport de l'érosion**

### 3.1.1 Réduire la force d'impact des gouttes de pluie :

74

(jeu sur l'érosivité des pluies..)

**NE JAMAIS LAISSER LE SOL NU**

**A) Par une couverture vivante : gestion des culture**

- **Prairies permanentes**
- **Céréales d'hiver : Semer le plus tôt possible**
- **Céréales de printemps : reporter le labour jusqu'au printemps et maintenir les résidus de culture**

Système de culture	Perte annuelle moyenne		Nombre d'années nécessaire pour éroder 17,5 cm de sol
	Pluie %	Terre en T/ha	
Jachère labourée .....	30,3	41,1	24
<b>Maïs en culture continue ...</b>	<b>29,4</b>	<b>19,7</b>	<b>50</b>
Blé en culture continue .....	23,3	10,1	100
<b>Maïs, blé, trèfle en rotation</b>	<b>13,8</b>	<b>2,8</b>	<b>368</b>
Blue grass en culture continue	12,0	0,3	3043

- **Culture dérobé (interculture)**

**Protection du sol entre deux cultures principales, par exemple entre une céréale et une culture sarclée par des légumineuses**

## B) Par une couverture morte : mulching

- Gestion des résidus de récolte (paillage...)
- f ( Taux de résidus , Type de résidus , + pathologies, N, mécanisation plus difficile, difficulté de semis, ...
- Production extérieure à la parcelle

Traitement		Ruisselle- ment en %	Perte de terre en tonnes/ha	Rendement en graines de coton en qx/ha
Matière organique	Tonnes/ha			
Rien	0	14,86	89,55	6,62
Compost	150	1,23	2,12	29,49
Compost	45	3,77	10,37	21,31
Compost	30	8,88	31,06	21,17
Mulch d'aiguilles de pins	60	0,62	0,02	
Aiguilles de pins mêlées au sol	60	3,49	8,31	15,63





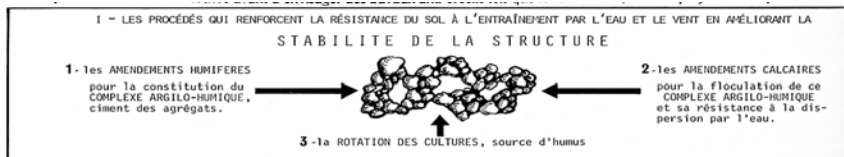
# Mulching



## 3.1.2. Maintenir ou améliorer la résistance du sol au détachement :

(jeu sur l'érodibilité du sol)

Apports de matière organique : fumier, pailles, ....



### **3.1. 3 Favoriser l'infiltration/limiter le ruissellement**

**Travail du sol selon les courbes de niveau ('contour tillage') :**

- **uniquement sur pente faible**
- **attention à la rupture de billons en cas de fortes pluies**

**Travail du sol minimum :** maintenir au moins 30% de couverture du sol par les résidus de culture. Pas de retournement.

**« Non labour et semis direct » :** pas de travail du sol, 50 à 100% de couverture du sol par les résidus de culture, semis direct, contrôle des adventices par les herbicides

## Techniques Culturelles Simplifiées (TCS)

77

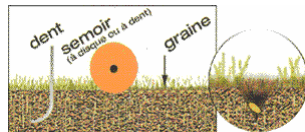
Les différentes possibilités de travail du sol simplifié en Grandes Cultures

<i>Type de travail du sol</i>		<i>Profondeur de travail</i>	<i>Résidus de culture</i>	<i>Type d'outils</i>
Profond	Avec retournement et mélange	20-30 cm	enfouis	Charrue
	Sans retournement	15-25 cm	partiellement enfouis	outil type chisel
Superficiel	Sans décompactage	5-10 cm	en surface	outils classiques
	Avec décompactage	15-25 cm	en surface	comme précédemment + outils de décompactage
Non travail	Travail uniquement sur la ligne de semis	0	En surface	outils de semis direct

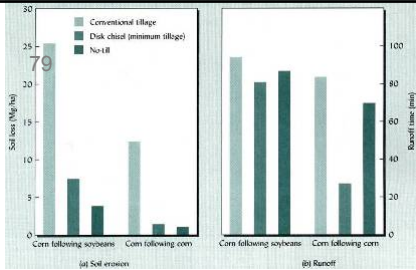
# Un grand débat : le non-labour



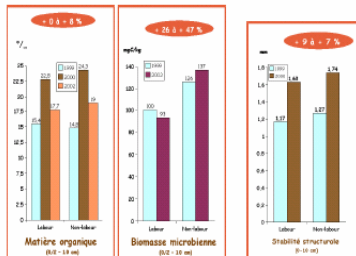
78







- FIGURE 10 -  
 QUALITÉ DES SOLS ET ÉROSION HYDRIQUE EN LABOUR OU NON-LABOUR  
 (DELAUNOIS 2002)  
 (traitement non-labour : dernier labour à l'automne 1997)



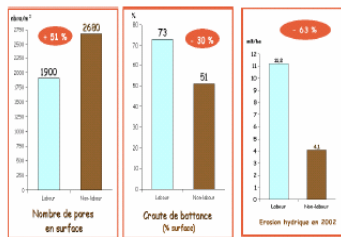
## Cf document pdf : Erosion et non labour

### ÉROSION ET NON-LABOUR EN MIDI-PYRÉNÉES

A DELAUNOIS (1), JF BRUNO (2), JL COSTES (3), CH LONGUEVAL  
 (4), JC REVEL (5)

(1) Chambre d'Agriculture du Tarn, (2) Inra, (3) Arvalis, (4) Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées, (5) Ensat.

Depuis une vingtaine d'années, l'érosion a été régulièrement étudiée en Midi-Pyrénées. De nombreuses régions sont touchées. Les causes sont multiples et les solutions sont nombreuses mais, actuellement, les techniques de non-labour apparaissent comme les moyens les plus efficaces.



## Des avantages

- Réduction du travail (coût, énergie, fuel...)
- Augmente la teneur en matière organique en surface
- Accélère l'implantation des cultures
- Augmente l'activité biologique
- Limite les fuites de nitrates
- Limitation de l'érosion diffuse
- Augmente l'infiltration et la vitesse de dégradation des produits phytosanitaires.

MÂIS / BLÉ	Récoltes	Labour	Travail superficiel	Semis direct
Maïs	1978-2004	70.0	70.1	69.6
Blé	1971-2004	76.8	77.5	77.6

BS / BLÉ / POIS / OP	Récoltes	Labour	Travail superficiel	Semis direct	Horsch SE
Bette rave	1998-2004	81.1	78.0	79.2	75.0
Blé	1999-2004	83.8	83.4	87.1	85.8
Pois	1998-2004	54.1	49.7	49.7	47.5
Orge de print.	1998-2004	74.4	73.2	75.5	72.4

MONOCULTURES	Récoltes	Labour	Travail superficiel	Semis direct
Blé (pailles restituées)	1971-1977	53.0	52.0	49.9
Blé (pailles brûlées)	1978-2001	76.3	76.7	78.2
Blé (pailles restituées)	2002-2004	68.2	69.2	70.9
Maïs	1978-1994	62.0	60.6	58.0

	Labour	Travail superficiel	Semis direct
--	--------	---------------------	--------------

Matière Organique sur 0-5 cm (%)	2.0	2.7	3.1
Carbone accumulé depuis 1970 (t/ha)	2.8	5.7	4.6
Biomasse lombricienne * (kg/ha)	198	590	670

\* D. GUZEU 2002 (Univ. Rennes)

## Des inconvénients

Problème posé par les résidus de récolte et en particulier les pailles de céréales (l'efficacité des herbicides à action racinaire s'en trouve alors diminuée).

Développement de certaines populations de mauvaises herbes spécifiques : les vivaces .

Augmentation possible de la pression phytosanitaire pour traiter les adventices spécifiques (vivaces...).

Risque d'augmentation des populations de limaces au moment de l'implantation.

Coût élevé du matériel spécifique

## Pour en savoir plus sur les TCS et le semis direct

- Lecture : non-labour dans les zones de montagne (Tarn)
- Nonlabour et agro-écologie en zone tropicale (CIRAD)

[http://www.rhone-alpes.chambagri.fr/phytov3/pages/TCS\\_semisdirect.htm](http://www.rhone-alpes.chambagri.fr/phytov3/pages/TCS_semisdirect.htm)

<http://www.agriculture-de-conservation.com/>

<http://www.inra.fr/internet/Directions/DIC/ACTUALITES/DOSSIERS/sol/labour.html>

### 3.1.4 Limiter la pente et la longueur du terrain et la vitesse du ruissellement :

(jeu sur les facteurs topographiques)

- Culture selon les courbes de niveau (contouring)
- Culture en bandes alternées (strip-cropping)...

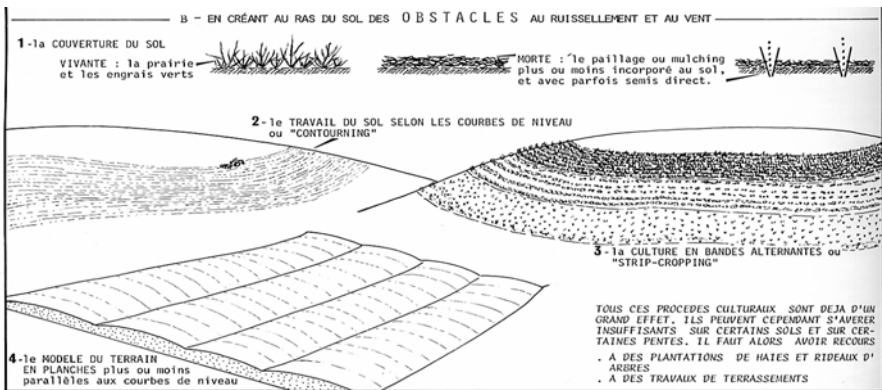


Tableau 6 - 39

**RÉDUCTION DES PERTES D'EAU ET DE L'ÉROSION PAR LE TRAVAIL SELON LES COURBES DE NIVEAU ET LA CULTURE EN BANDES ALTERNANTES.**

(D'après Lambs cité par NAHAL, références ci-dessus).

Largeur de la bande en m	Rotation : Pommes de terre, avoine, trèfle	Eau en mm	Terre en tonnes/ha
16	Bandes alternantes	2,5	0,129
33	Bandes alternantes	3,5	0,109
16	Bandes alternantes	5,3	0,027
95	Culture le long de la plus grande pente	29,2	11,580
95	Culture selon les courbes de niveau	9,6	0,938

**Pertes d'eau et de terre d'un sol planté en maïs dans le sens de la pente ou selon les courbes de niveau.**

Longueur de la pente en m	Direction des sillons	Pertes d'eau en mm	Pertes de terre en tonnes/ha
192	Le long de la pente	54 mm	77,7 T
96	Le long de la pente	67 mm	59,7 T
48	Le long de la pente	90 mm	42,9 T
48	Selon les courbes de niveau	1,2 mm	0 T

# Strip cropping (USA)







Etats -unis . Etat de washington

## <sup>83</sup>3.2. Méthodes végétales

### 3.2.1. En milieu agricole

**Zones plantées mais ne faisant pas partie intégrante du cycle de culture :**

- bandes enherbées (0.5 - 3 m)
- tournières enherbées
- zone d'écoulement et vignes enherbées
- couverture du sol entre arbres fruitiers

**Doivent être constituées de plantes pérennes:**

- Enracinement profond et dense
- Croissance rapide
- Résistance au froid / sécheresse
- Densité relativement uniforme en surface

**Elles servent à contrôler la phase de transport de sédiments en réduisant les vitesses d'écoulement et en provoquant la sédimentation**

**Relativement faciles à mettre en œuvre mais occupent de l'espace agricole**

**Peuvent servir à produire des sous-produits utiles**

# Un système abondamment utilisé : les bandes enherbées

84



## Réforme de la PAC : mesure « bandes enherbées »

La mesure « bandes enherbées » consiste en la mise en place obligatoire d'une surface en couvert environnemental égale à 3 % de la surface aidée de l'exploitation en céréales, oléoprotéagineux, lin, chanvre et gel.  
Ce couvert doit être prioritairement mis en place sous forme de bandes enherbées le long des cours d'eau traversant ou bordant l'exploitation.  
Ces bandes devront être en place dès le 1<sup>er</sup> janvier 2005.

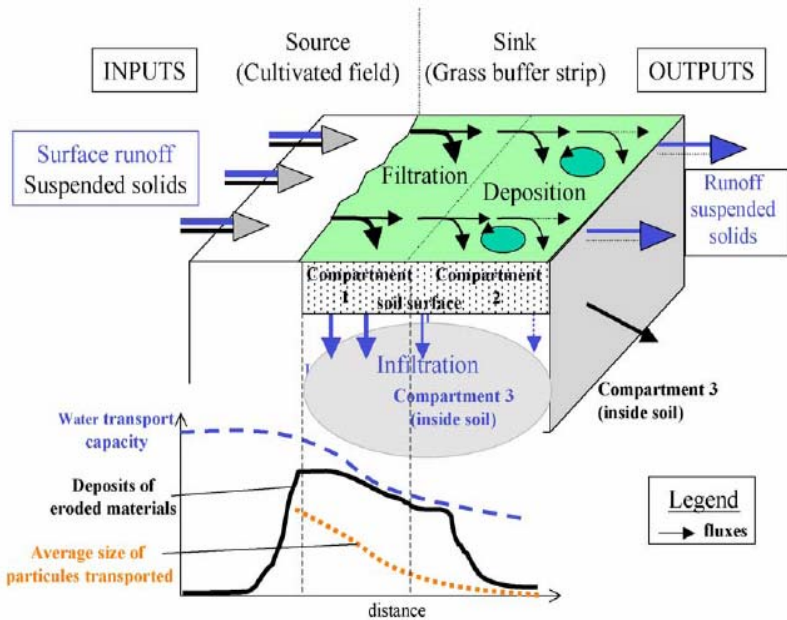


Fig. 1. Schematic representation of the functioning of a grass buffer.

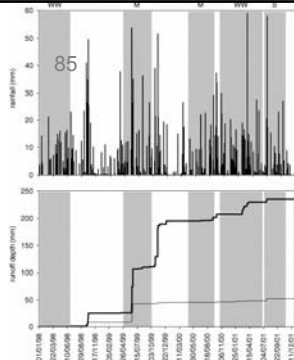


Fig. 1. Daily rainfall and cumulative runoff in absence (---) and presence (—) of BS. Shaded areas indicate the period of presence of crop in the field: WW is winter wheat, M is maize; S is soybean.



Review

The effect of grass buffer strips on phosphorus dynamics—A critical review and synthesis as a basis for application in agricultural landscapes in France

J.M. Dorioz<sup>a,\*</sup>, D. Wang<sup>b</sup>, J. Poulenard<sup>c</sup>, D. Trévisan<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institut National de la Recherche Agronomique, 75 Avenue de Corson, BP 511, F74203 Thonon les Bains, France

<sup>b</sup>The Rubezahl School of Environment and Natural Resources, University of Vermont, Burlington, VT 05405, USA

<sup>c</sup>Université de Savoie, F73376 Le Bourget du Lac, France

Received 13 July 2005; received in revised form 15 March 2006; accepted 21 March 2006

Available online 15 May 2006

Table 1  
Comparison of phosphorus retention efficiency of grass buffer strips using selected papers

Author	Width (m)	Slope (%)	Efficiency total-P (%)	Efficiency dissolved-P (%)	Efficiency sediments (%)	Efficiency nitrogen (%)	Type of soil	Composition
Dachemin and Madouh (2004)	3 and 9	2	85–87	–41, –57	87 to 90	96–85 (NO <sub>3</sub> )	Sandy loam	Grass
Cole et al. (1997)	2.4 and 4.9	6	–	93	–	–	Fine loam	Mowed grass
Doyle et al. (1977)	4	10	–	62	–	–	Loam	Fescue and shrubs
Born et al. (2005)	6	3	80	78	93	72	Loam	Fescue, shrubs, and trees
Dillaha et al. (1986b)	4.5 and 9.1	5, 11 to 16	58 to 69	–	91 to 91	–	Loam	Orchard grass
Dillaha et al. (1989)	4.6 and 9.1	5, 11 and 16	49 to 93	–83 to 69	53 to 98	47 to 93	Loam	Grass
Syversen (1995)	5, 10 and 15	7, 14 and 28	45 to 73	0 to 88	61 to 91	54 to 91	–	Grass and shrubs
Schmidt et al. (1999)	7.5 and 15	6, 7	48 to 79	19 to 50	63 to 93	–	Clay-loam	Grass or shrubs sorghum
Petty et al. (1997)	6, 12 and 18	7, 10 and 15	–	22 to 89	–	47 to 100 (NO <sub>3</sub> )	Loam	Rye grass
Schmer and Clason (1999)	26	2	89	92	95	92	Soil with low permeability	Fescue rye grass, blue grass
Uusi-Kimppa et al. (2000)	27 and 97	5 and 10	–64 to 14	–	–	–	Clay-loam	Grass

Total-P is in bold.

## Limiting sediment deposition on roadways: topographic controls on vulnerable roads and cost analysis of planting grass buffer strips

J. Morschel<sup>a</sup>, D.M. Fox<sup>a,\*</sup>, J.-F. Bruno<sup>b</sup>

<sup>a</sup> UMR 6012 "Espace" CNRS, University of Nice Sophia Antipolis, 98 Blvd. Ed. Herriot, P.O. Box 3209, 06204 Nice Cedex 3, France

<sup>b</sup> DRA/SAD, Toulouse-toulouseville, P.O. Box 27, 31326 Canton, France

Table 2

Costs and savings associated with planting grass strips on the entire predicted road length: summary for the first year of planting

Slope (%)–length (m)	Grass strip (m)					
	12			24		
	Planting cost (€)	Reduction in cleanup costs (€)	Net savings (€)	Planting cost (€)	Reduction in cleanup costs (€)	Net savings (€)
6–125	15732	15930	198	31464	26881	–4583
6–150	18058	19081	973	36115	32115	–4001
6–175	19015	20581	1566	38030	34731	–3299
6–200	21158	22837	1679	42317	38537	–3779
7–150	15641	16211	571	31282	27357	–3925
7–175	17009	17621	612	34018	29736	–4282
7–200	19471	21004	1533	38042	35445	–3497
8–200	16234	18326	2092	32467	30925	–1542

# Bandes enherbées et migration des phytosanitaires

Quantification des pertes d'herbicides par ruissellement de surface et par drainage agricole dans des dispositifs tampon enherbés et enherbés+arborés

Emmanuelle CARON<sup>1</sup>, Pierre LAFRANCE<sup>1</sup>, Marc DUCHEMIN<sup>2</sup>

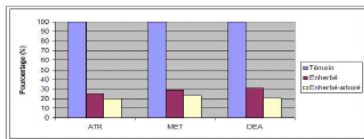


Figure 1 : Pourcentage (%) de la masse exportée (par rapport au témoin) dans le ruissellement pour le total des trois pluies

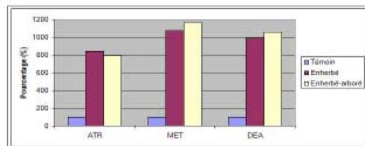


Figure 2 : Pourcentage (%) de la masse exportée (par rapport au témoin) dans le drainage pour le total des trois pluies

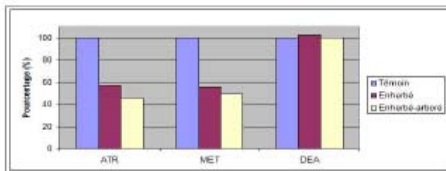
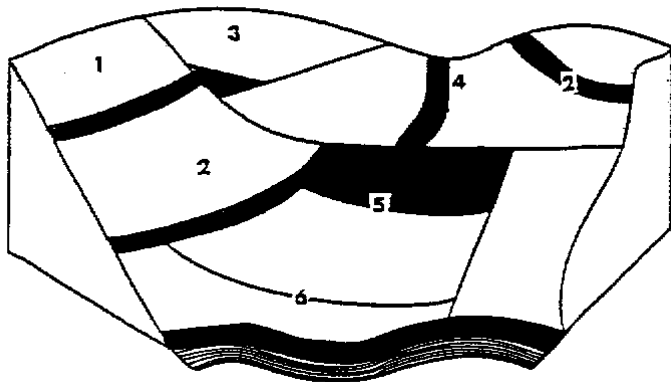


Figure 3 : Pourcentage (%) de la masse totale exportée (par rapport au témoin) dans le ruissellement et le drainage pour le total des trois pluies

- Dans les zones de départ d'érosion (3)
- Dans les zones de transfert (chenaux enherbés) (4)
- Dans les zones de connexions entre parcelles (5)
- A l'interface avec les milieux récepteurs (ripisylve) (7)





Pour toucher vos aides PAC en 2005, vous devez consacrer une surface correspondant à 3% de la SCOP plus gel, lin et chanvre (hors surfaces fourragères) sous forme de bandes enherbées : en priorité le long des cours d'eau, et si les 3% ne sont pas atteints, ailleurs sur votre exploitation (on parle de "couvert environnemental"). Les schémas ci-dessous vous indiquent comment localiser les bandes pour qu'elles comptent comme couvert environnemental, et comment faire pour qu'elles puissent aussi compter dans le cadre du gel (attention, ce sont deux notions différentes).

Fertilisation et traitements phytos sont interdits sur ces bandes. Si vous voulez faire compter une bande enherbée comme surface gelée, il faudra aussi respecter toutes les règles du gel (que vous connaissez déjà) et notamment les implanter sur des surfaces éligibles.

Ne sont pas éligibles aux aides PAC toutes les surfaces en pâturages permanents, cultures permanentes, forêts & autres utilisations non agricoles au 15/5/2003

## Quelques exemples de positionnement des bandes enherbées

Situation initiale	Situation Conseillée	Observations
<p>2 m</p>	<p>Mettez entre 3 et 6 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 m de bande enherbée suffisent pour la protection.</li> <li>• La haie ou la friche compte aussi pour le calcul des 3%.</li> <li>• 6 m de bande enherbée peuvent compter pour les 3% pour arriver à concurrence de 10 m.</li> <li>• 5 m de bande enherbée sont nécessaires pour compter pour le gel. Si la haie est incluse dans les usages locaux, 3 m de bandes enherbées suffisent pour que 5 m de large comptent pour le gel.</li> </ul>
<p>3 m</p>	<p>Mettez entre 2 et 7 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 m de bande enherbée suffisent pour la protection.</li> <li>• La haie ou la friche compte aussi pour le calcul des 3%.</li> <li>• 7 m de bande enherbée peuvent compter pour les 3% pour arriver à concurrence de 10 m.</li> <li>• 5 m de bande enherbée sont nécessaires pour compter pour le gel.</li> </ul>
<p>6 m</p>	<p>6 m 4 m facultatif</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protection suffisante, bande enherbée facultative.</li> <li>• La haie ou la friche compte aussi pour le calcul des 3%.</li> <li>• 4 m de bande enherbée peuvent compter pour les 3% pour arriver à concurrence de 10 m.</li> <li>• 5 m de bande enherbée sont nécessaires pour compter pour le gel mais alors seulement 4 m pourront compter pour le calcul des 3% (6 m haie + 4 m = 10 m).</li> </ul>
<p>Chemin 3 m</p>	<p>Mettez entre 2 et 7 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 m de bande enherbée suffisent pour la protection.</li> <li>• Les 3 m de chemin ne comptent pas pour le calcul des 3%.</li> <li>• 5 m de bande enherbée sont nécessaires pour compter pour le gel.</li> </ul>

## Evolution des recommandations de l'USDA

Pente %	Largeur minimale (mètres)
< 1	3
0 – 10	5
10 – 20	6
20 – 30	8

**Tableau 5 – Standards 1988 du NRCS** (*Standards and Specifications N° 393, USDA-NRCS Field office Technical Guide, 1988*).

Pente %	Largeur minimale (mètres)
0-5	6
5-6	9
6-9	12
9-13	15
13-18	18

**Tableau 6 – Standards and specifications 1990 de l'USDA** (*Soil Conservation Service Field Office Technical, 1990*).

Pente (%)	Largeur (mètres)
0.5 %	11 – 22
≥ 5%	36 - 71

**Tableau 7 – Standards and specifications 1997 du NRCS** (*Natural Resources Conservation Service Technical Guide, 1997*).

Table 4

Effect of vegetation type (species, age) and width on retention efficiency of grass buffer strips (adapted from Schmitt et al., 1999)

Length (m)	TSS (%)	Total-P (%)	Bio-P (%)	Dissolved-P (%)
Sorghum				
7.5	63	48	39	31
15	65	51	46	50
Grass (2 years old)				
7.5	89	71	53	29
15	87	70	54	30
Grass + tree saplings (2 years old)				
7.5	79	57	42	19
15	88	71	56	35
Grass meadow (25 years old)				
7.5	89	71	53	29
15	93	79	65	43



# Attention : entretien des BE

89



## Un cas particulier : les vignes enherbées



**Cf..... LOUIS TROSSET**

Pour en savoir plus sur les dispositifs BE : cf document portail

Rétention et dégradation des polluants  
d'origine agricole par des surfaces en herbe

## 3.2.1. En milieu non agricole : revégétalisation

### Génie écologique

—————> Cf cours F. Rey

**A) Utilisation de la végétation pour le contrôle de l'érosion sur des zones remaniés (PHYTOSTABILISATION)**



- Couverture du sol
- Effet mécanique des racines

## **a) Choix des espèces**

Dans le contexte des pistes de ski (cf louis trosset)

### **Semences et revégétalisation**

- période de croissance courte inférieure à 2 mois
- très fortes densités racinaires
- capable de supporter des sols peu épais et pauvre en humus et en éléments

#### **Nutritifs**

**Des mélanges spécifiques aux différents types de milieu à revégétaliser....**

**Dans la plupart des cas des mélanges composés de graminées, de légumineuses et parfois des espèces à floraison remarquable....**

### Exemple de Mélange CPB Montagne

- 10% Fléole des Prés
- 15% Fétuque Rouge Gazonnante BINGO
- 15% Fétuque Rouge Traçante SUNSET
- 10% Fétuque Ovine Durette BORNITO
- 10% Ray Grass Anglais JUVENTUS (Gazonnant)
- 10% Trèfle Blanc Nain
- 8% Lotier Corniculé
- 1% Achillée Millefeuille
- 5% Anthyllis Vulnéraire
- 16% Agrostis Highland

### Exemple de Mélange Haute Altitude

- 15% Fétuque Rouge TRA SUNSET (*festuca rubra rubra*)
- 10% Fétuque Rouge GAZ IVALO (*festuca rubra comutata*)
- 10% Fétuque Ovine BORNITO (*festuca ovina*)
- 10% Fléole des Prés (*phleum pratense*)
- 5% Lotier (*lotus*)
- 2% Anthyllis Trèfle Jaune (*anthyllis vulneraria*)
- 1% Achillée Millefeuille (*achillea millefolium*)
- 5% Trèfle Blanc Nain (*trifolium repens*)
- 9% Paturin des Prés Compact (*poa pratensis*)
- 2% Paturin Comprime (*poa compressa*)
- 2% Grande Marguerite (*leucanthemum vulgare*)
- 12% Ray Gras Anglais (*loium perenne*)
- 2% Paturin des Alpes (*poa alpina*)
- 15% Brome Bosir (*bromus sitchensis*)



## **b) Techniques de mises en place**

- Semis à main ou semoir agricole (rare...)
- Semis par Seed-mats (cf géotextiles)
- semis par projection hydraulique : Hydroseeding (semis par projection d'un mélange semences- fixateur –conditionneur....)





TRUCK-MOUNTED NOZZLES CAN TREAT SLOPES UP TO 125 FEET AWAY. FOR DOWNSLOPES, IT CAN REACH OUT TO 150 FEET.

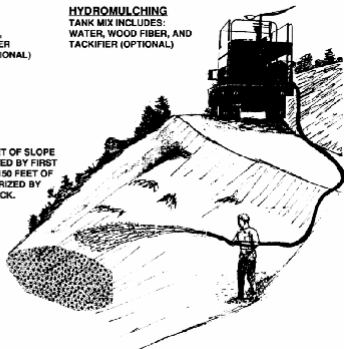
#### **HYDROSEEDING**

TANK MIX INCLUDES:  
WATER, WOOD FIBER, SEED,  
FERTILIZER (OPTIONAL AFTER  
FIRES) AND TACKIFIER (OPTIONAL)

#### **HYDROMULCHING**

TANK MIX INCLUDES:  
WATER, WOOD FIBER, AND  
TACKIFIER (OPTIONAL)

200 TO 225 FEET OF SLOPE  
CAN BE TREATED BY FIRST  
USING 100 TO 150 FEET OF  
HOSE PRESSURIZED BY  
THE TANK TRUCK.



## ***FIXATEURS***

### **• VERT-EXPERT (500 à 1500 kg/ha)**

Engrais organo-minéral 100% végétal en poudre ou bouchon, spécifique aux travaux d'hydro-seeding.

- Avantages : activation de la rhizosphère, mycorhizes. Libération lente.
- Utilisation : projets à fortes contraintes climatiques et édaphiques.

### **• VEGEPLAINE (500 à 2000 kg/ha)**

Engrais organique concentré à base d'algues.

- Avantages : structure, stabilise les sols et crée rapidement un humus.
- Utilisation : sur terre végétale remaniée ou en complément de VERT-EXPERT.

### **• VEGECOL (10 à 30 kg/ha)**

Fixateur concentré en poudre 100 % végétal / concentré d'algues.

- Avantages : fort pouvoir collant et pérennité (3 à 4 mois).
- Utilisation : substrat moyennement facile à difficile, ou hors période propice au semis.

### **• SOIL-FIX (7 à 15 kg/ha)**

Fixateur synthétique concentré en poudre.

- Avantages : fixe les semences et les particules fines du sol. Pérennité (6 à 8 mois).
- Utilisation : sous climat extrême (tropical, semi-désertique) avec les autres adjuvants ou en projection seule pour protéger des zones en dehors des périodes de semis.

EXP : Hydrocolloïde

Utilisé comme **agent de fixation** celui-ci présente les propriétés suivantes.

### CARACTERISTIQUES

D'origine végétales, il est composé à 80% de polysaccharides.

D'un poids moléculaire élevé (jusqu'à 1 200 000 D) il est non ionique, très avide d'eau formant ainsi des solutions colloïdales très stables.

Il est peu sensible aux variations de températures et aux variations de pH du milieu.

Il se présente sous une forme de poudre inodore et insipide, de couleur blanc crème à beige clair.

### RÔLE

- PROTECTEUR
- STABILISATEUR DE SUSPENSION
- LIANT
- EPAISSISSANT
- ADHERENT



# SOIL EROSION & HYDROSEEDING

STORM WATER  
REVEGETATION  
SEDIMENT CONTROL  
EROSION PREVENTION

[IN THIS ISSUE](#)

[PAST ARTICLES](#)

[PEOPLE](#)

[NEWS](#)

[ADVERTISING INFO](#)

[CONTACT US](#)

<http://www.soilerosiononline.com>

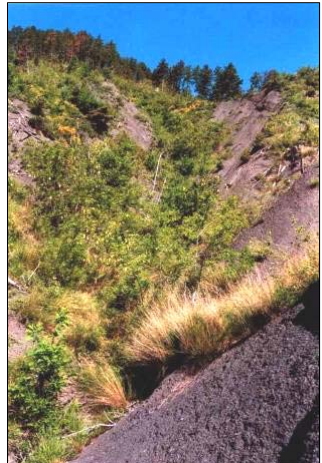


## b. Reboisement de zones érodés (méthodes RTM) et revégétalisation d'altitude



## Revégétalisation de ravines...

- Après contrôle de l'érosion amont



- Réhabilitation des écosystèmes érodés



- Pérennisation des écosystèmes réhabilités



Gestion optimale → détermination de priorités d'interventions

### 3.3. Méthodes physiques

- 3.3.1. Couverture du sol par des géotextiles.

**a) Utilisé seul pour l'arrêt rapide des phénomènes érosifs**



- Fibres de bois
- Fibres imbriquées
- Gel copolymère
- Fixateur hydrocolloïde réticulant



- paillages anti-érosion en rouleaux (ECB)
- matrices de fibres adhésives (BFM).



# Installation de cellules de croissance et de stabilisation des sols



### **3.3.2. Modifications de la topographie du terrain ou construction de structures pour contrôler, dévier, ou canaliser l'écoulement**

- Terrasses
- Diguettes, murets, seuils, ....

- **Peu adaptées au contrôle de la phase de détachement**
- **Servent surtout pour capturer les eaux de ruissellement, réduire les vitesses de ruissellement ou canaliser les eaux de ruissellement sans provoquer de l'érosion**

## a. Dispositifs simples d'arrêt des sédiments

**1999**

**Barrage filtrant**



**2002**



# Controlling Measures



Rondins de bois (USA)

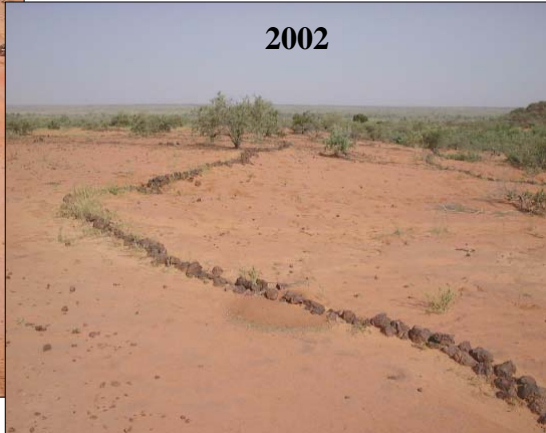


# Cordons de pierre sur glacis

**1999**



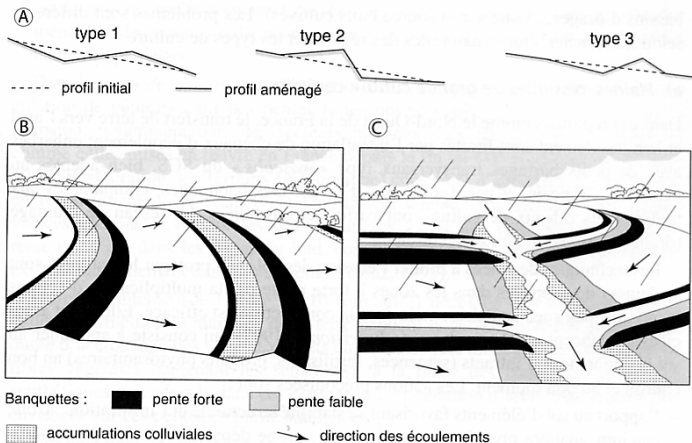
**2002**



# Cordons pierreux



## b°) Banquettes



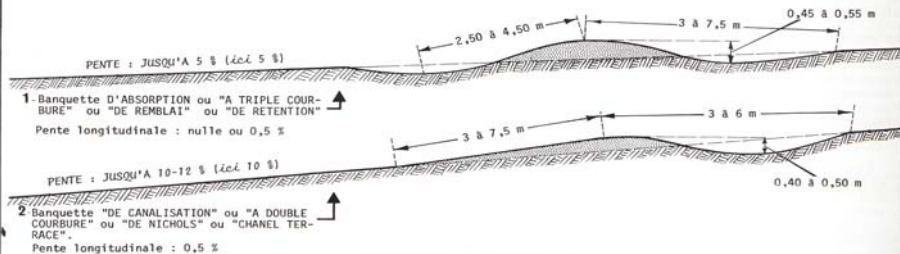
**Figure 11.19** Banquettes antiérosives et drainage sur terres agricoles aux États-Unis (d'après Gril et Duvoux, 1991).

A. Vues en section transversale; type 1 : banquette à base large cultivée; type 2 : banquette à talus aval enherbé; type 3 : banquette étroite non cultivée.

B. Système de banquettes à pente longitudinale nulle (*level terraces*) sans évacuateur.

C. Système de banquettes à pente longitudinale non nulle (*gradient terraces*) avec évacuation par un chenal enherbé.

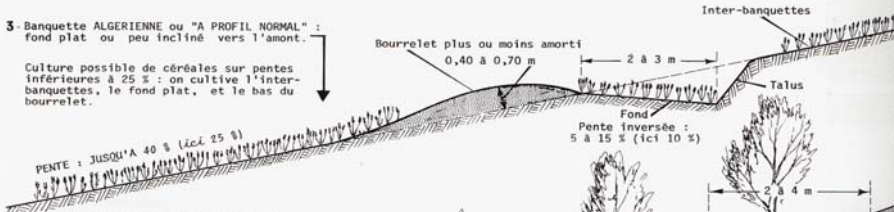
# I - LES PROFILS AMORTIS : Culture possible même SUR LES BANQUETTES



## II - LES PROFILS ACCENTUES : Culture possible seulement ENTRE LES BANQUETTES ou DANS LE FOND des banquettes

### 3-Banquette ALGERIENNE ou "A PROFIL NORMAL" : fond plat ou peu incliné vers l'amont.

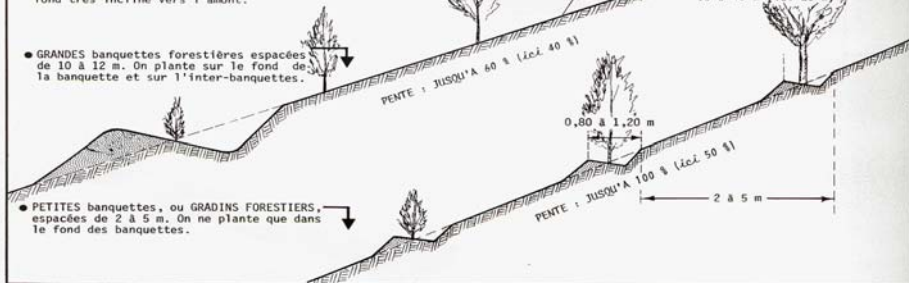
Culture possible de céréales sur pentes inférieures à 25 % : on cultive l'inter-banquettes, le fond plat, et le bas du bourrelet.



Au delà de cette pente, cultures arboricoles ou viticoles sur le bourrelet ou dans le fond, ou sur l'inter-banquettes.

### 4-Banquettes FORESTIERES à PROFIL DÉVERSÉ : fond très incliné vers l'amont.

● GRANDES banquettes forestières espacées de 10 à 12 m. On plante sur le fond de la banquette et sur l'inter-banquettes.



● PETITES banquettes, ou GRADINS FORESTIERS, espacées de 2 à 5 m. On ne plante que dans le fond des banquettes.

## Banquettes + évacuateurs d'eau enherbés



### Planche 6 - 49 - L'ÉTABLISSEMENT D'UN RÉSEAU DE BANQUETTES

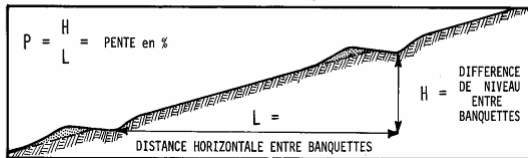
Fig. et tableau 6 - 50

#### LES MESURES CARACTÉRISTIQUES DES BANQUETTES.

De nombreuses formules existent pour calculer l'écartement des banquettes en fonction de la pente.

En voici deux, à partir desquelles le tableau a été calculé.

Pour les autres formules, voir principalement le manuel « La Défense des Sols contre l'Erosion » par Jacques GRECO - La Maison Rustique - 1979.



Formule appliquée	Pente du terrain en %	Différence de niveau entre deux banquettes (mètres)	Distance horizontale des banquettes (mètres)	Densité réseau à l'hectare (mètres)	Surface traitée pour 1.000 m de banquettes (hectares)
$H^3$ $\frac{H}{P} = 260 - 10$	3	2,00	67	149	6,70
	5	2,35	47	212	4,70
	10	3,00	30	333	3,00
	12	3,15	26	384	2,60
	15	3,40	23	434	2,30
	20	3,70	19	526	1,90
	25	4,00	16	625	1,60
$H^2$ $\frac{H}{P} = 64$	30	4,37	14,50	689	1,45
	35	4,72	13,40	746	1,34
	40	5,05	12,60	793	1,26
	45	5,36	11,90	831	1,19
	50	5,65	11,30	884	1,13
	55	5,92	10,70	934	1,07
	60	6,19	10,30	970	1,03
	70	6,68	9,50	1.050	0,95
	80	7,15	8,90	1.120	0,90
	90	7,58	8,40	1.190	0,84
	100	8,00	8,00	1.250	0,80

## c.) Terrasses

- Ensemble de la pente est redessiné
- Zones avec pentes nulles
- Réduction de la longueur de la pente
- Sur fortes pentes et sols peu épais, mise à nu d'horizons peu fertiles
- Largeur variable des terrasses rend la mécanisation difficile
- Rupture des terrasses en cas de pluies exceptionnelles

# Sur l'efficacité des terrasses

(cf document pdf sur le portail)



## **A review of the effect of terracing on erosion**

Luuk Dorren and Freddy Rey

Cemagref Grenoble, France

[luuk.dorren@cemagref.fr](mailto:luuk.dorren@cemagref.fr) / [freddy.rey@cemagref.fr](mailto:freddy.rey@cemagref.fr)

### **Abstract**

Terracing is one of the oldest means of saving soil and water. The objective of this paper is to provide information on the different types of terraces and their functioning, and to describe advantages and disadvantages of terraces regarding their efficacy to stop or reduce soil erosion. Existing literature and information shows that terraces can considerably reduce soil loss due to water erosion if they are well planned, correctly constructed and properly maintained. If not maintained, they can provoke land degradation. Terracing has to be combined with additional soil conservation practices, of which the most important one is the maintenance of a permanent soil cover. There are several disadvantages to terracing, therefore hedgerows and vegetation ridges could be good alternatives for terraces, but eventually they work in the same way. A future challenge is to develop conservation practices that are also productive. The ancient farming techniques such as terracing may provide a good basis for that.



**Terrasses construites...**

**Et terrasses de  
formation lente...**

# Terrasses (Thailande)



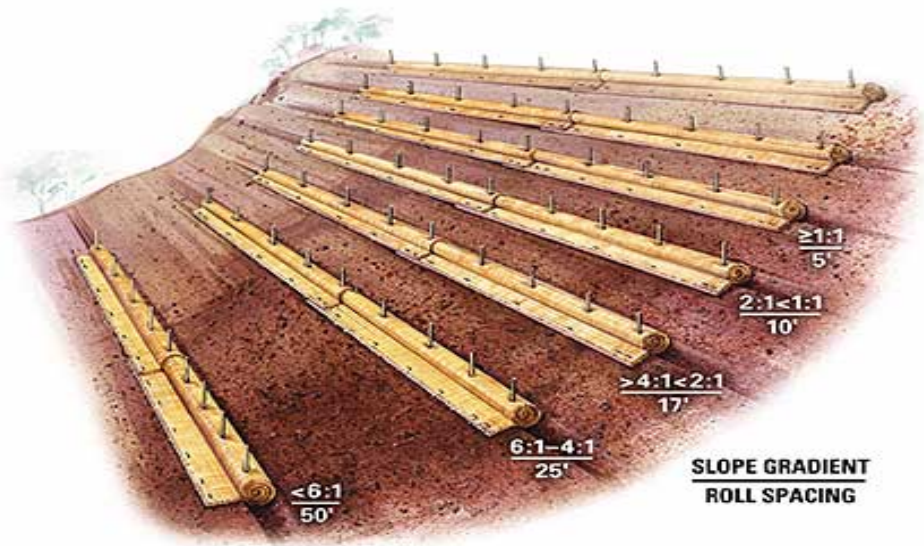
# Terrasses au Népal



# Terrasses (USA)



105 Espacement des dispositifs : cordons, rondins, banquettes, terrasses...



**L'équation de Ramser** a été prévue pour calculer l'écartement entre deux structures antiérosives. Equation de Ramser

:

$$H \text{ (mètres)} = 0,305 (a + [P\%/ b])$$

où a et b sont des paramètres que l'on fait varier empiriquement de 25 % en fonction de l'agressivité climatique ou des risques particuliers d'érosion

Dans la plupart des cas : a = 2

b varie de 2 à 4 si climat plus agressif

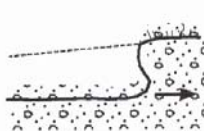
## C.) Contrôle des ravines

Revégétalisation (mais besoin de stabilisation des ravines)....

- Aménagement des têtes de ravines  
(Ouvrages en gabions / pneus, fascines....)
- Seuil
- Bandes enherbées
- Epis

**PRINCIPLE**

Measure is intended to arrest regressive erosion and block the advance of the gully, preventing it from progressing any further uphill.



The gully makes it's way uphill by undercutting the bank, causing it to cave in.

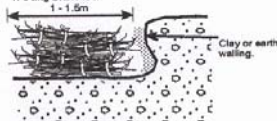


By creating a barrier of unrodable material, the gully is prevented from eating it's way uphill.

**CONDITIONG** This measure only suitable for use in the first stages of erosion

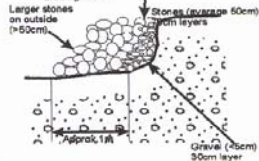
**CONSTRUCTION**

**1. Using Branches.**

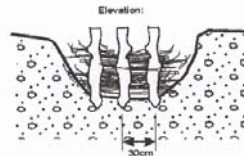
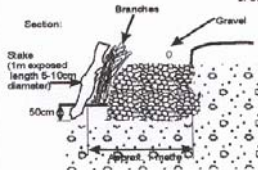


- Tie branches into bundles
- Pack bundles into head of gully
- Fill in any spaces between the earth and the bundles with clay or wadding made up of earth mixed with straw and twigs.

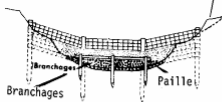
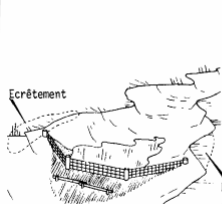
**2. Using Stones**



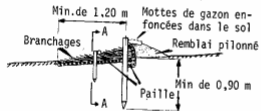
**3. Using Fascines and Gravel.**



BARRAGE DE TREILLIS DE FIL DE FER

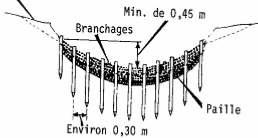
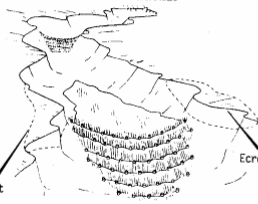


SECTION AUX POINTS A-A

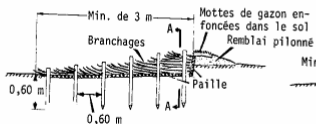


SECTION AU CENTRE

BARRAGE DE BRANCHAGES



SECTION AUX POINTS A-A

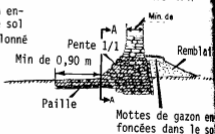


SECTION LONGITUDINALE

BARRAGE DE PIERRES SÈCHES



SECTION AUX POINTS A-A











Sur l'aspect méthode et technologie ....

## **International Erosion Control Association**

<http://www.ieca.org/>

## **Erosion Control Magazine**

<http://www.forester.net/ec.html>

## **Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)**

<http://www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f00.htm#Contents>