



# UE16S5- Géographie des milieux : Les hydrosystèmes

Licence 3

Laurent Chalumeau

CM : 12h

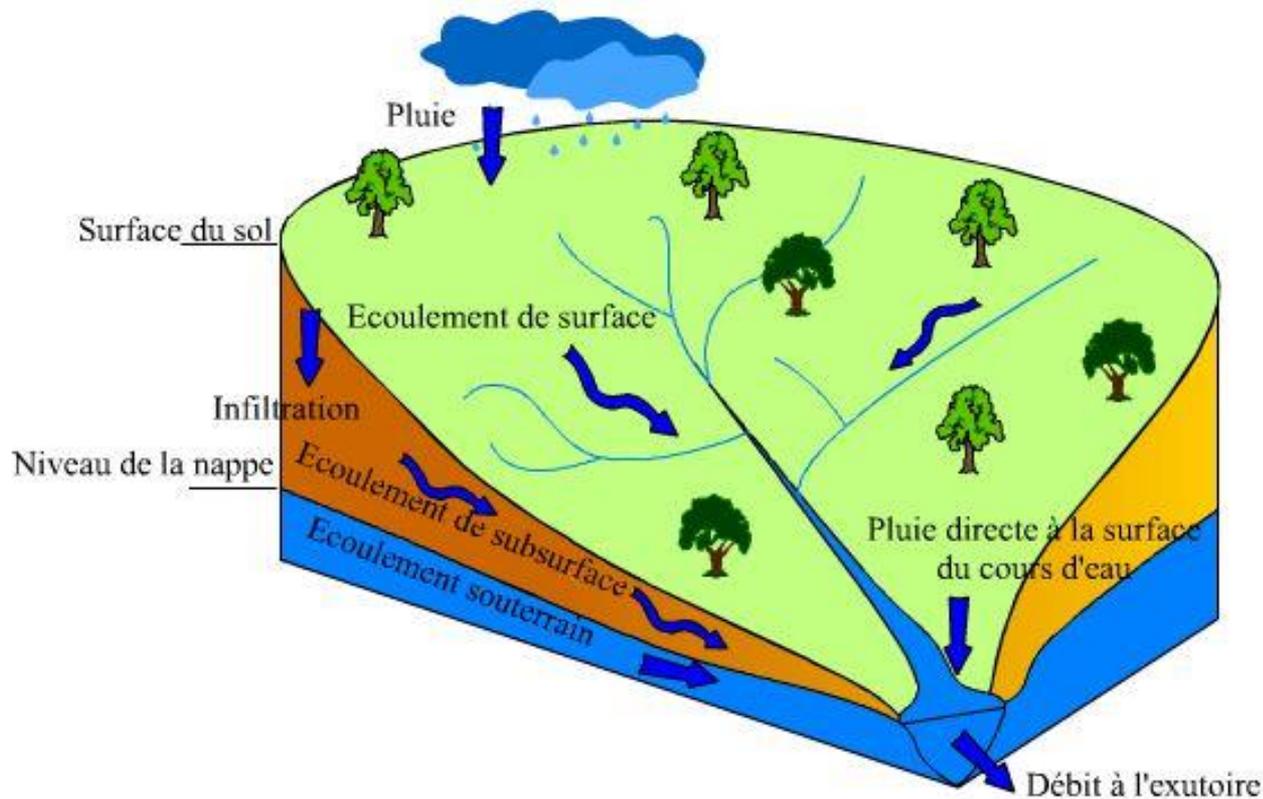
TD : 12h

# Introduction

Une fois arrivée au sol, l'eau a deux possibilités :

- s'infiltrer dans le sol pour s'écouler par la suite
- s'écouler en surface

=> dépend des propriétés physiques et de l'état du sol



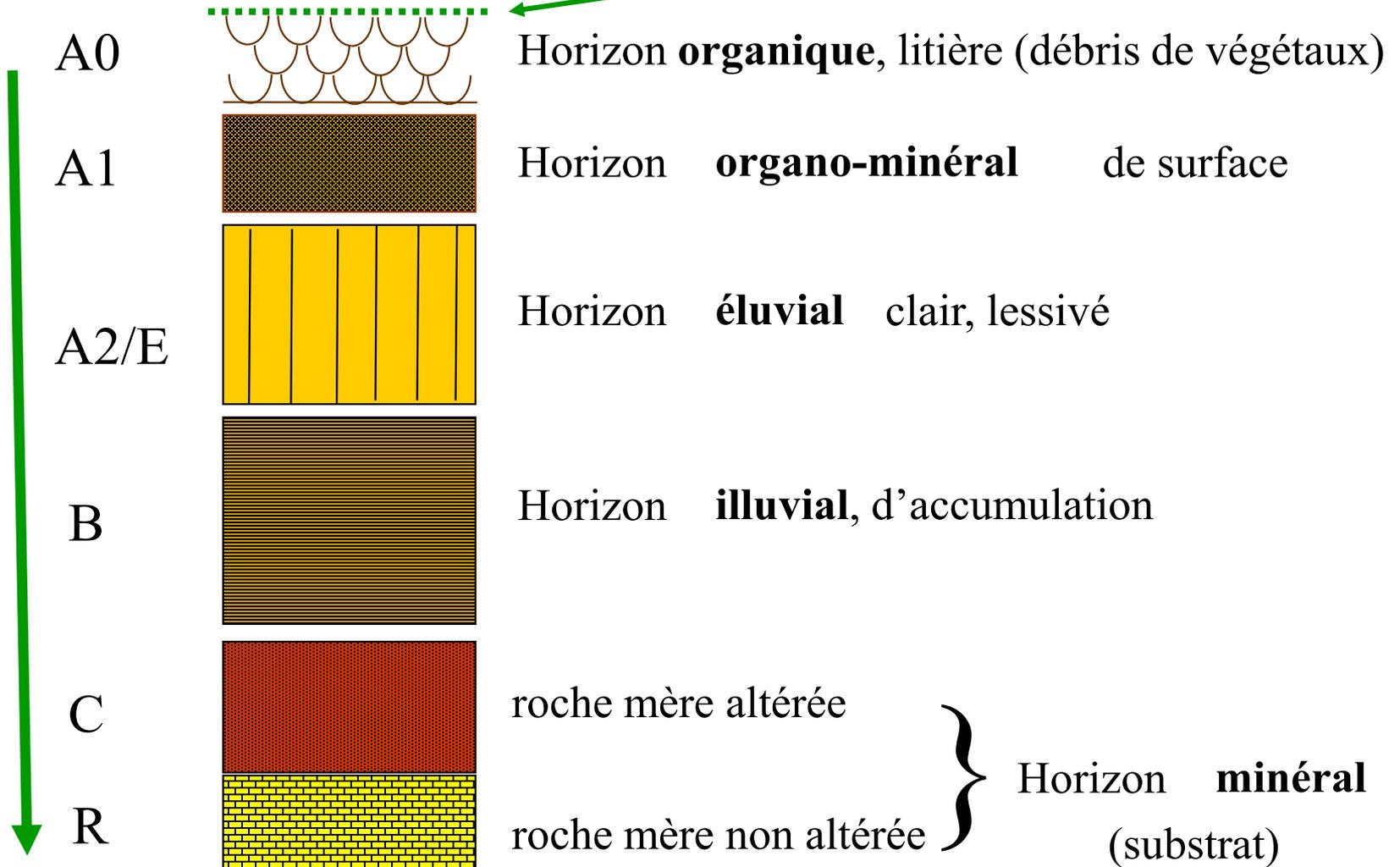
# Le sol et ces propriétés

**Sol** : Formation naturelle de *surface* à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche-mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques

# Le sol et ces propriétés

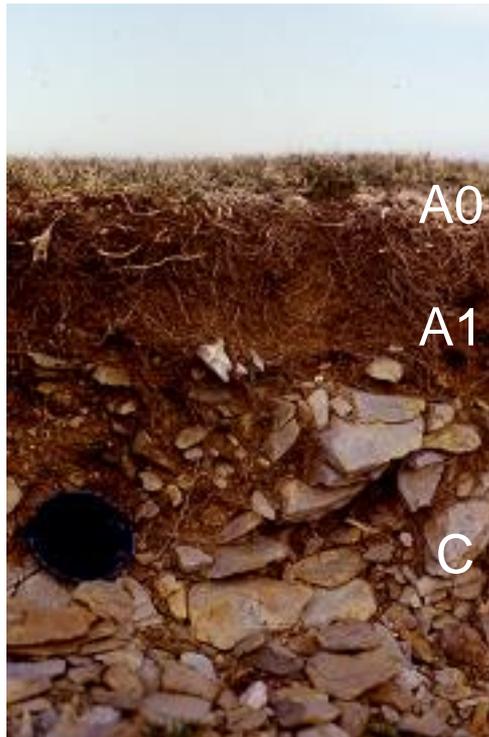
La phase solide des sols et **ces horizons**

**Surface avec au dessus  
la végétation aérienne**



# Le sol et ces propriétés

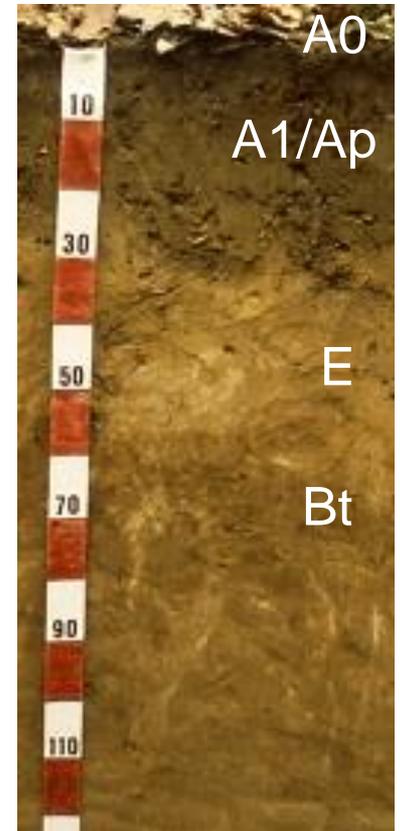
## La phase solide des sols et ces horizons



Sol peu développé sur dépôts de pente



Podzol



Sol brun lessivé

# Le sol et ces propriétés

La phase solide des sols : **la texture d'un sol**

Composition granulométrique

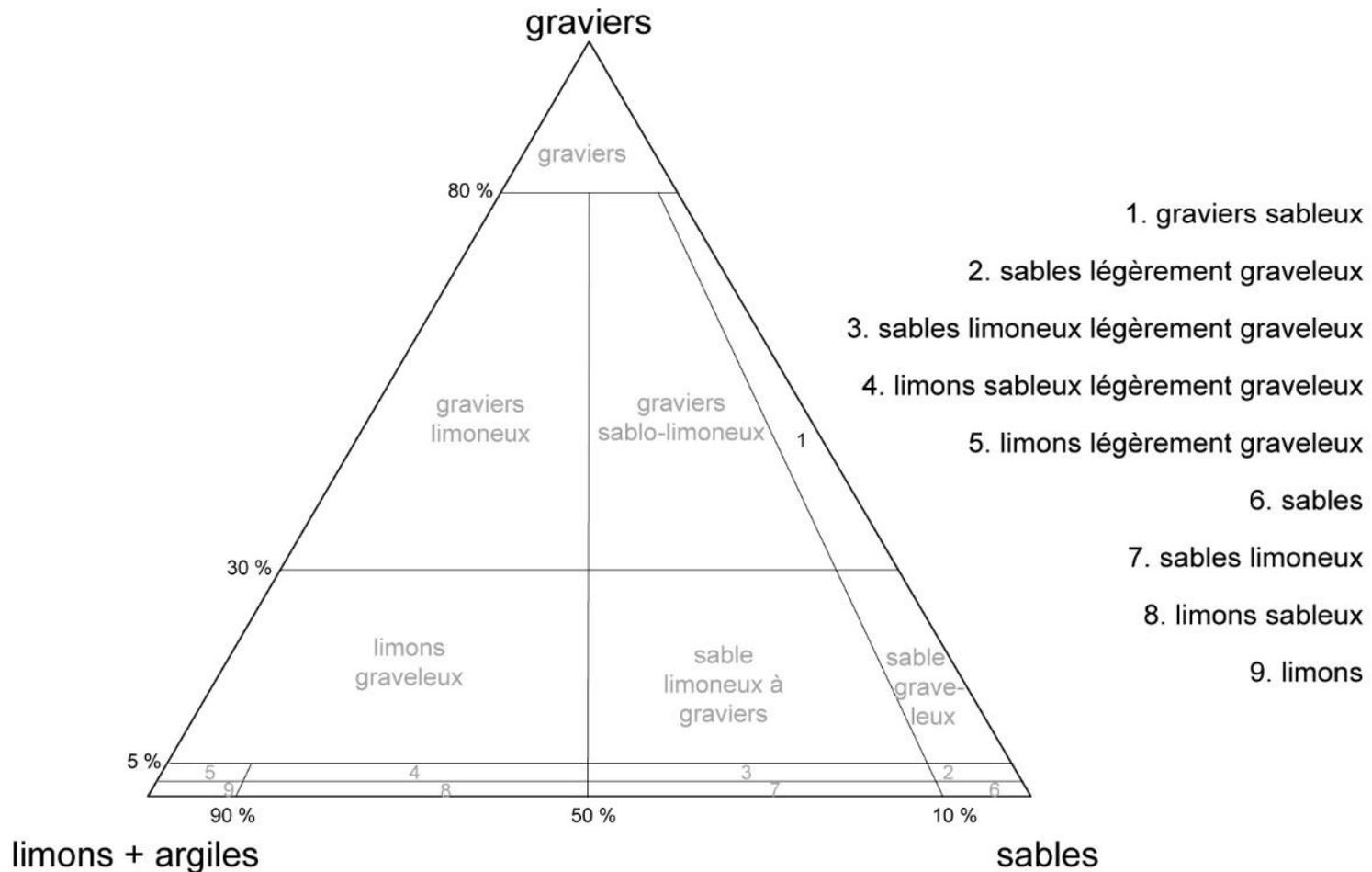
<b>Particules</b>	<b>Tailles</b>
Graviers	2 - 64 mm
Sables grossiers	0,2 - 2
Sables fins	0,05 – 0,2
Limons grossiers	0,02 – 0,05
Limons fins	0,002 – 0,02
Argile	< 0,002 mm

AFNOR, 1987

# Le sol et ces propriétés

## La phase solide des sols : la texture d'un sol

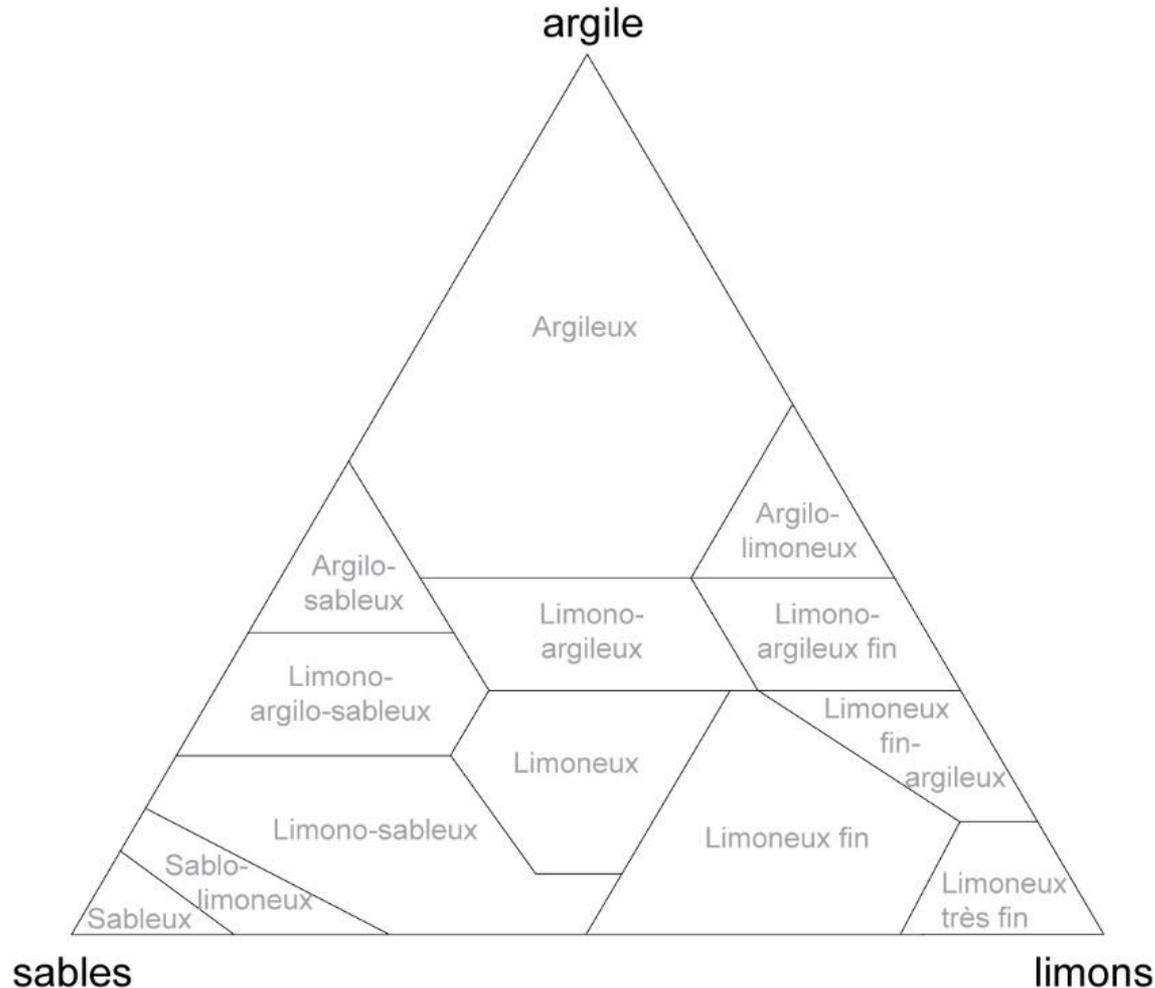
### Diagramme triangulaire des textures selon Folk (1954)



# Le sol et ces propriétés

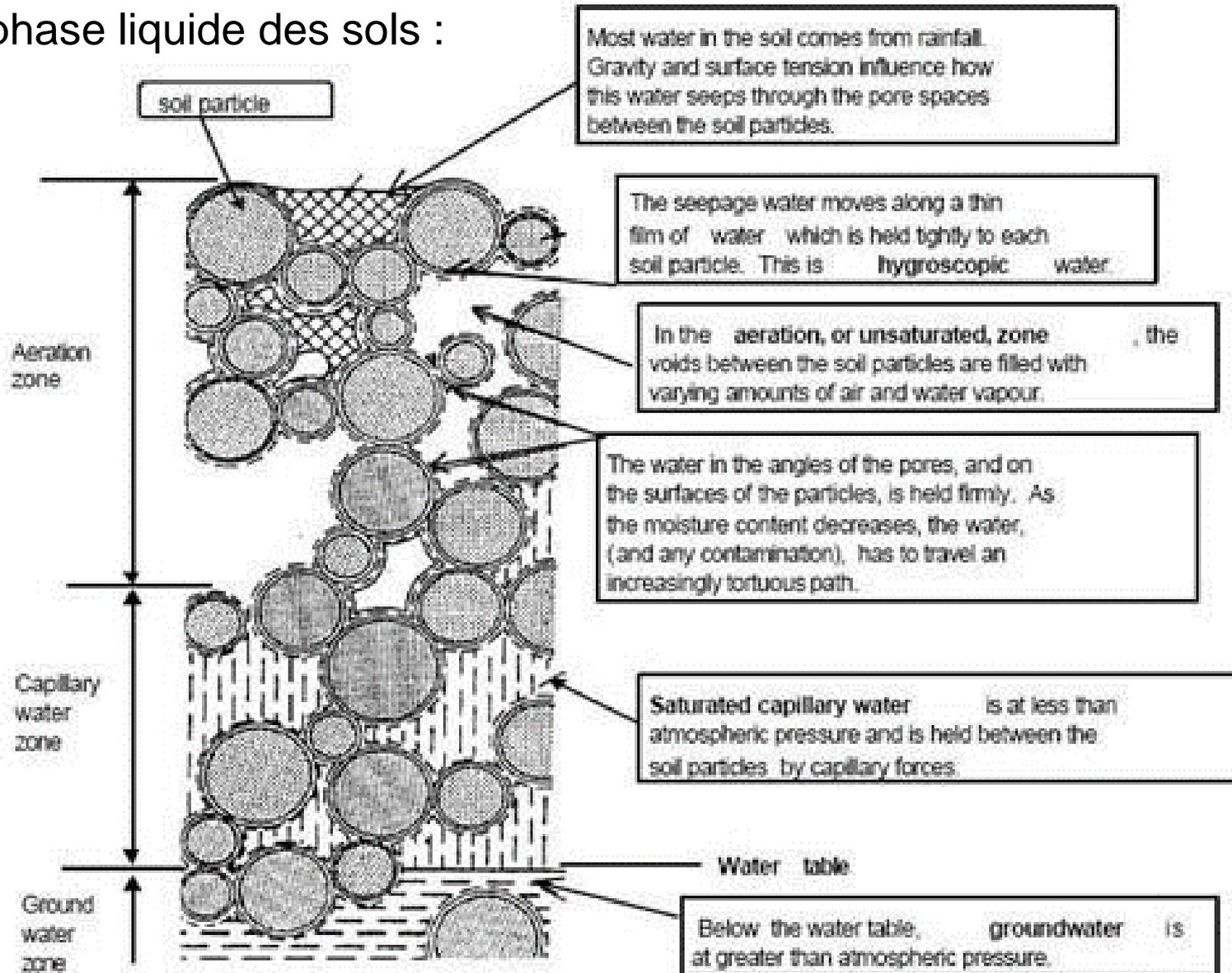
La phase solide des sols : **la texture d'un sol**

Diagramme triangulaire des textures selon USDA (1975)



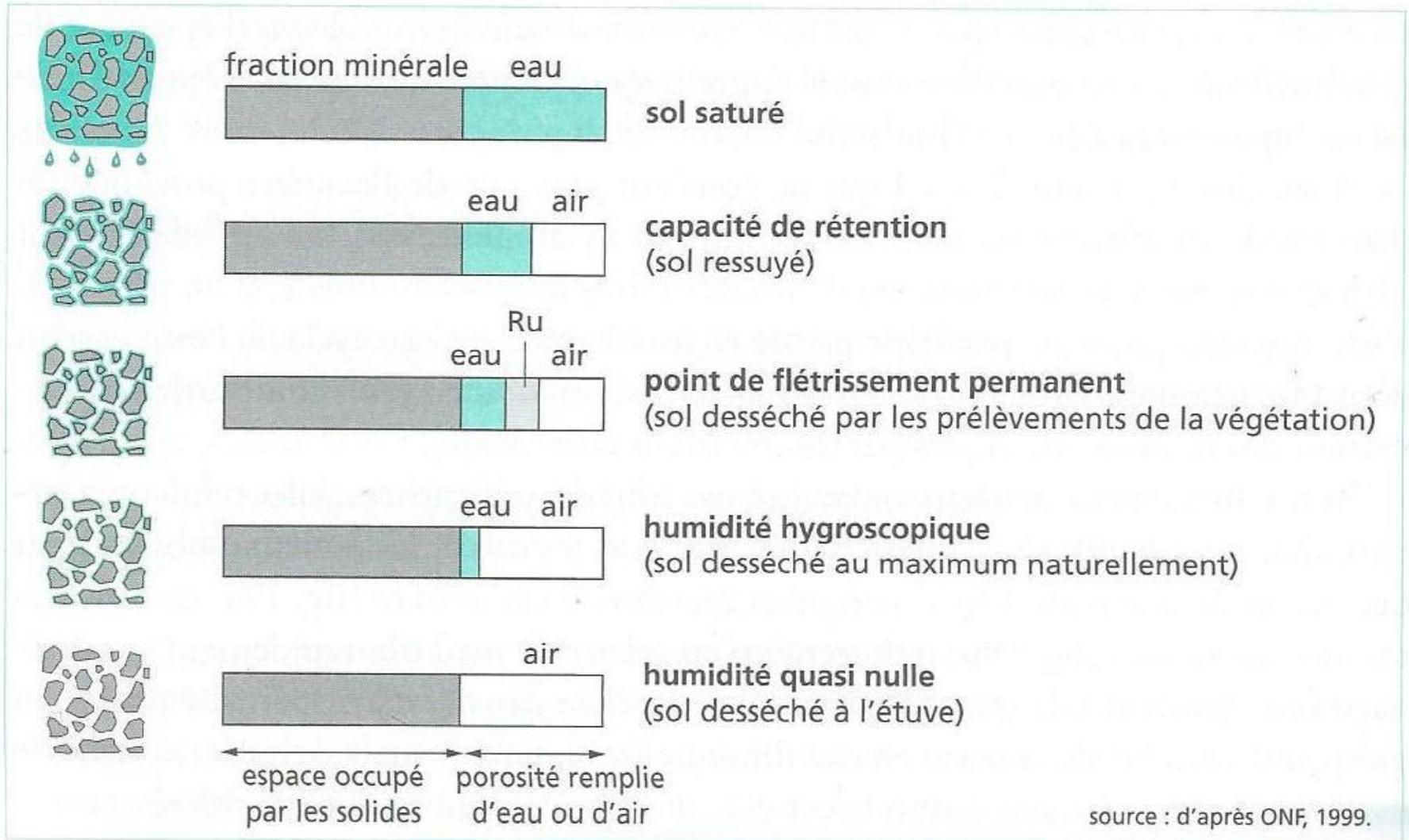
# Le sol et ces propriétés

La phase liquide des sols :



# Le sol et ces propriétés

## La phase liquide des sols : états hydriques du sol



# L'infiltration

## Définition

**Infiltration** : Passage de l'eau à travers la surface du sol sous l'effet de la gravité.

=> **Régime (ou taux) d'infiltration  $i(t)$**  (mm/h) : désigne le flux d'eau pénétrant dans le sol en surface. Il dépend :

- du régime d'alimentation (irrigation, pluie),
- de l'état d'humidité
- des propriétés du sol.

=> **Infiltration cumulative  $I(t)$**  (mm) : volume totale d'eau infiltrée pendant une période donnée

=> **Conductivité hydraulique à saturation  $K_s$**  : la valeur limite du taux d'infiltration si le sol est saturé et homogène

# L'infiltration

## Définition

**Infiltration** : Passage de l'eau à travers la surface du sol sous l'effet de la gravité.

=> **Capacité d'infiltration, d'absorption ou infiltrabilité** : flux d'eau maximal que le sol est capable d'absorber lorsqu'il reçoit une pluie ou qu'il est recouvert d'eau.

# L'infiltration

## Régime (ou taux) d'infiltration (mm/h) et Infiltration cumulative $I(t)$

Avec :

$I(t)$  : infiltration cumulative au temps  $t$  [mm],

$i(t)$  : régime ou taux d'infiltration au temps  $t$  [mm/h].

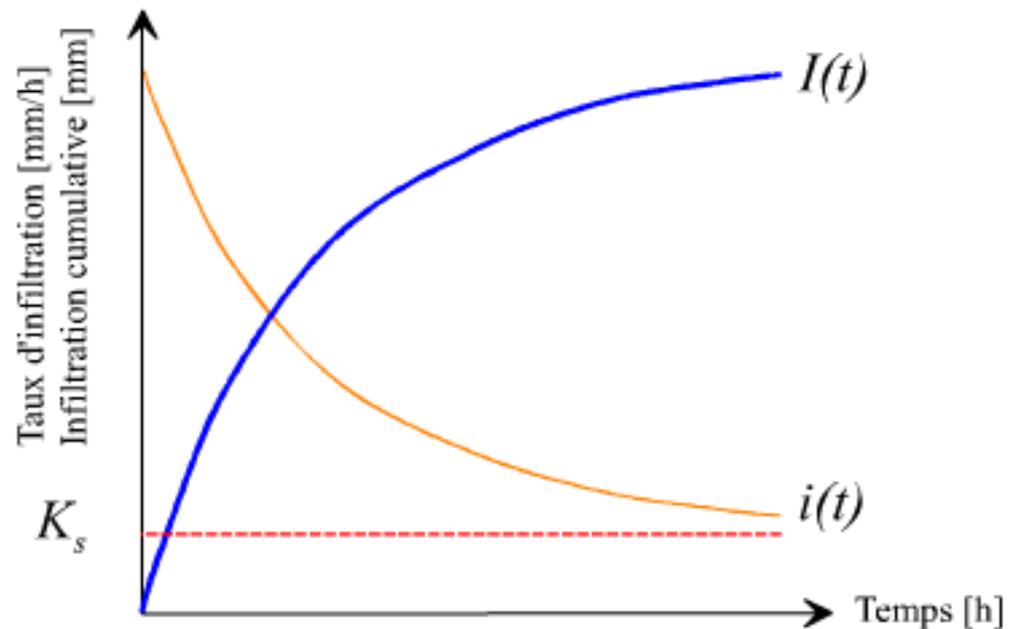


Fig. 5.2 - Evolution générale du régime d'infiltration et de l'infiltration cumulative au cours du temps  
( $K_s$  = conductivité hydraulique à saturation)

# L'infiltration

## Facteurs influençant l'infiltration

**Débit d'alimentation : intensité des précipitations ou des apports en eau par irrigation, submersion**

Pour une quantité de pluie ( $P$  en mm/h) et une capacité d'infiltration d'un sol ( $IC$  en mm/h, dépend des paramètres qui suivent):

Si  $P < IC \Rightarrow$  infiltration uniquement

Si  $P > IC \Rightarrow$  infiltration + ruissellement par dépassement de seuil

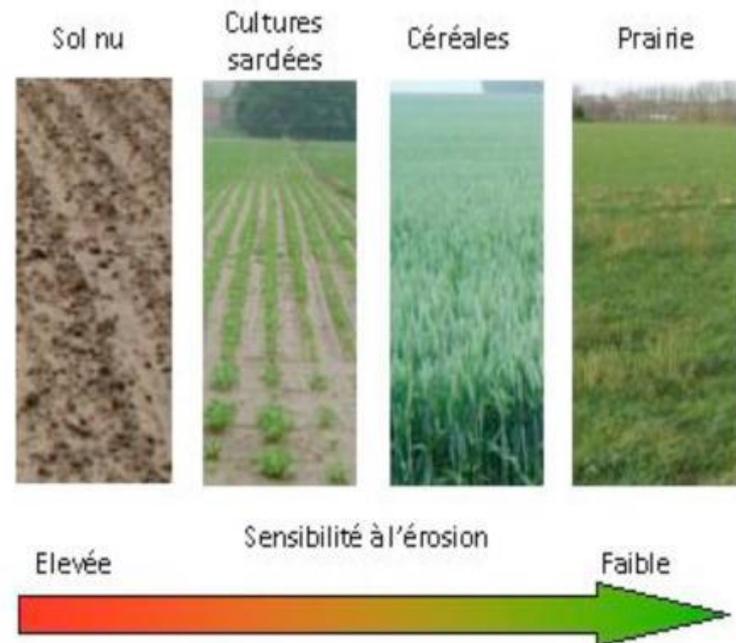


# L'infiltration

## Facteurs influençant l'infiltration

### Couverture du sol : couvert végétal

Nature du couvert végétal	Ruissellement/infiltration
Forêt	2%
Prairies	5%
Culture du blé	25%
Culture du maïs	50%

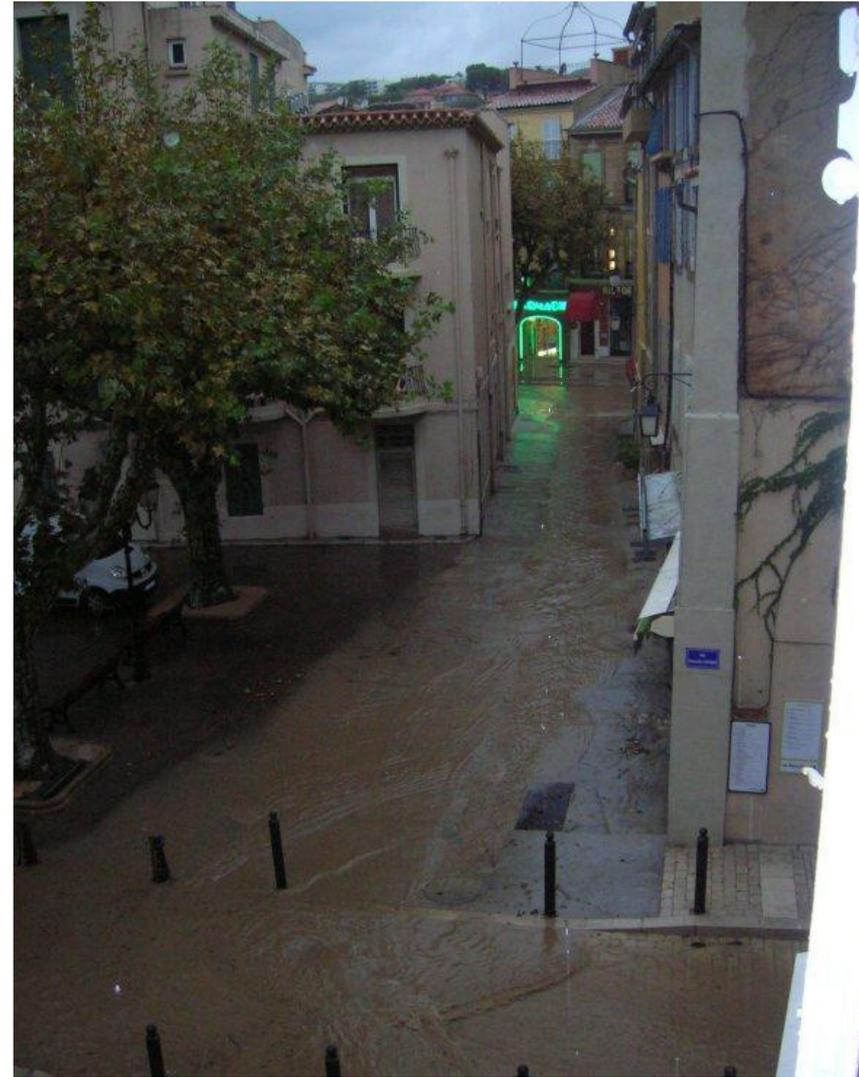


# L'infiltration

## Facteurs influençant l'infiltration

Couverture du sol : urbanisé

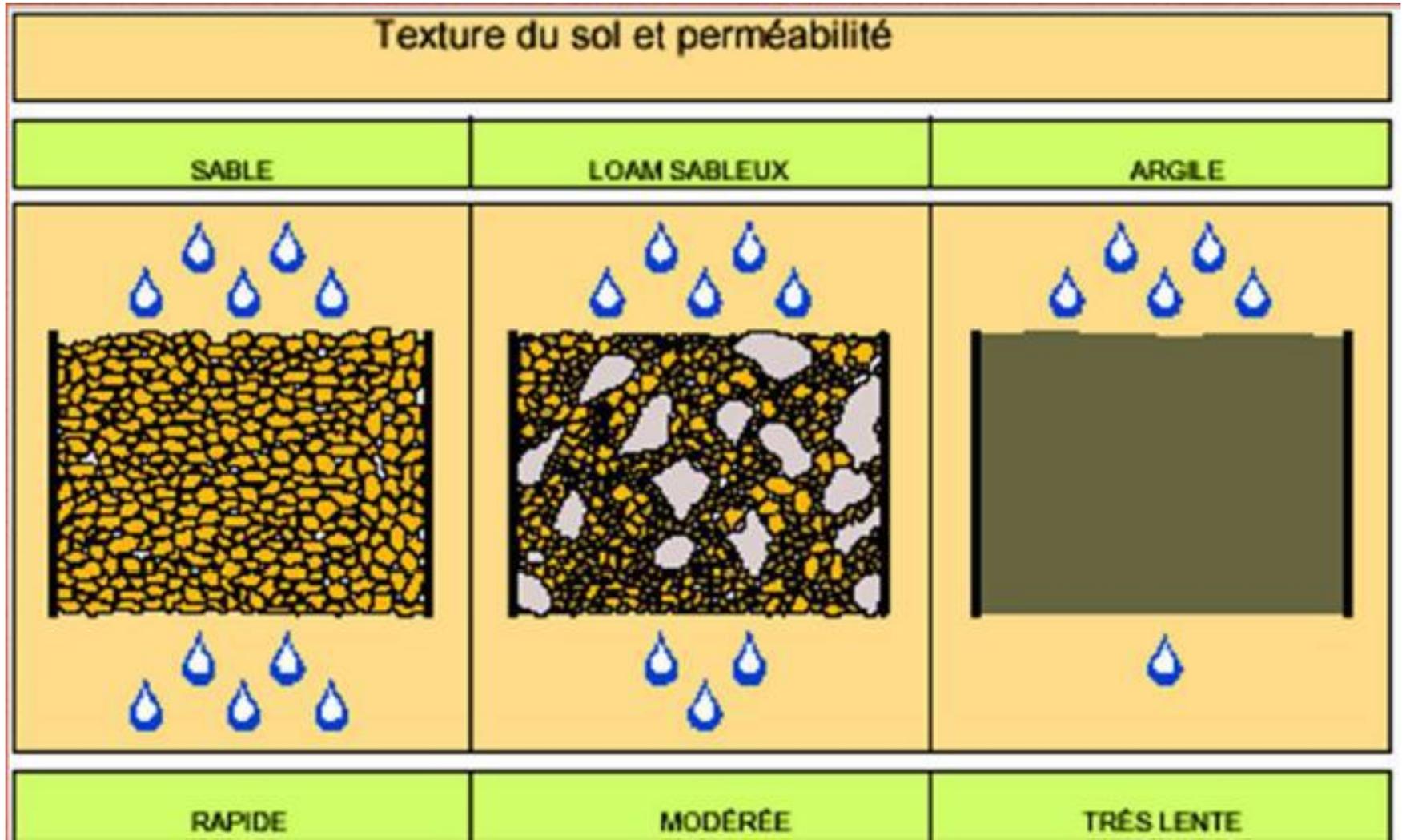
coefficient de ruissellement  
souvent **sup. à 90 %**



# L'infiltration

## Facteurs influençant l'infiltration

Type de sol : principalement la porosité



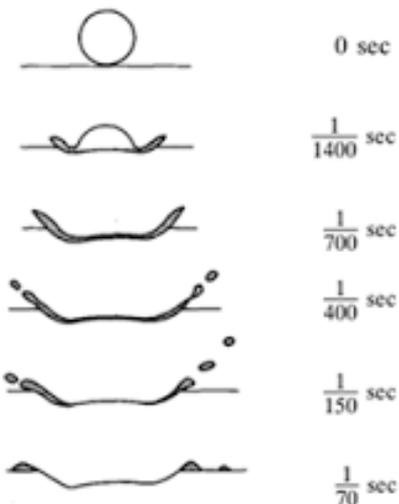
# L'infiltration

## Facteurs influençant l'infiltration

### Compaction du sol : battance



## Le splash



Étapes de la création d'un cratère lors de l'impact d'une goutte de pluie sur le sol.

Source : Lagacé, 2011, adapté de Mihara, 1952.



Phase 0  
état initial fragmentaire  
poreux et meuble  
après un travail du sol

infiltration possible :  
30 à 60 mm/h

Croûte structurale  
(certains fragments  
restent bien distincts)



Phase 1  
fermeture de la surface  
par effet splash

infiltration possible :  
6 à 2 mm/h

Croûte sédimentaire  
(lissage de la surface)



Phase 2  
sédimentation  
dans les flaques

infiltration possible :  
1 mm/h

# L'infiltration

## Facteurs influençant l'infiltration

**Compaction du sol : via les actions ou activités humaines**

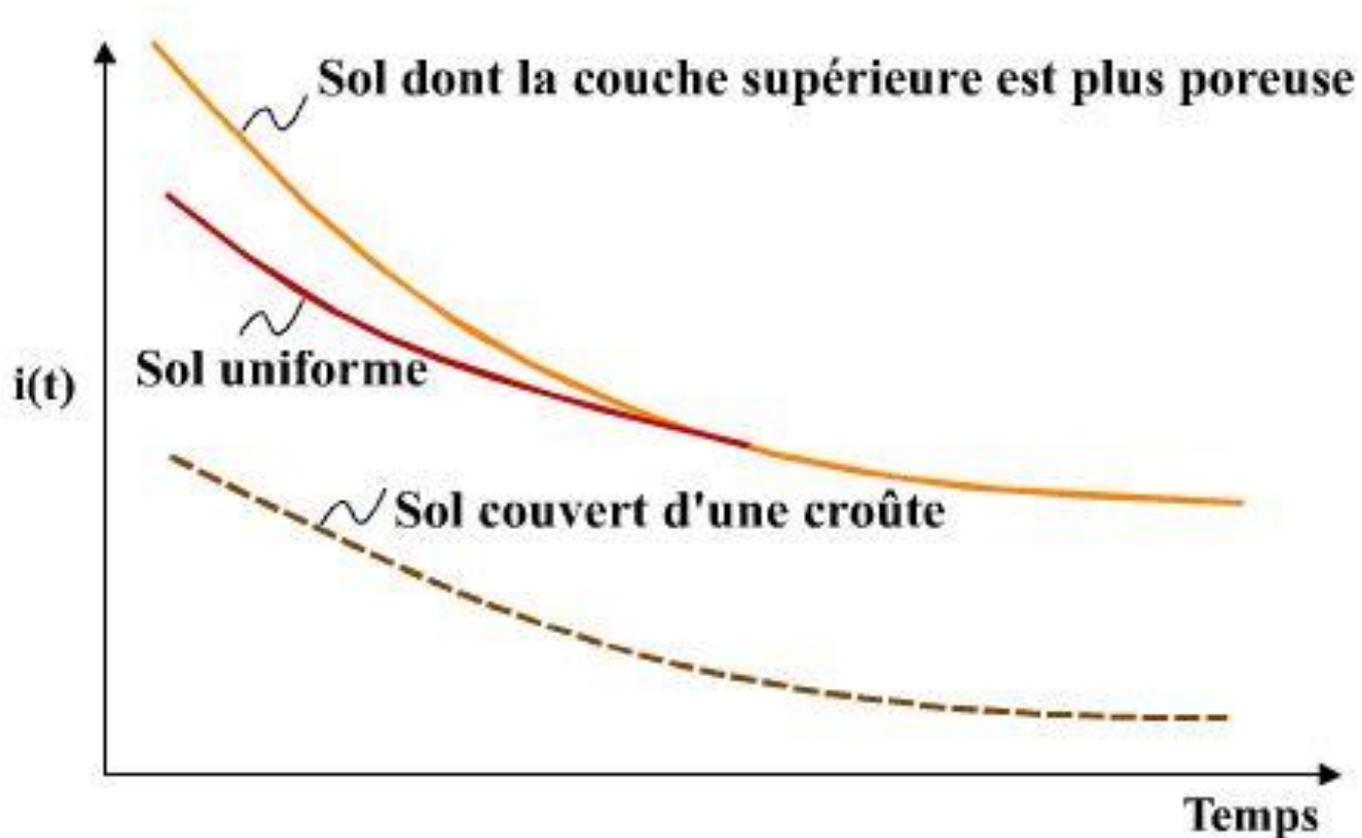


# L'infiltration

## Facteurs influençant l'infiltration

### Compaction du sol :

Régime d'infiltration en fonction du temps pour différents sols



# L'infiltration

## Facteurs influençant l'infiltration

**Topographie et morphologie du terrain :**

Plus la **pente** est **forte**, plus le ruissellement tend à être **important**

# L'infiltration

## Facteurs influençant l'infiltration

**Teneur en eau initiale** (conditions antécédentes d'humidité) :

Un **sol saturé** ne permet pas l'infiltration des précipitations.

=> ruissellement par  
dépassement du seuil  
de saturation

# L'infiltration

## Infiltration au cours d'une averse : profil hydrique du sol

Sol homogène

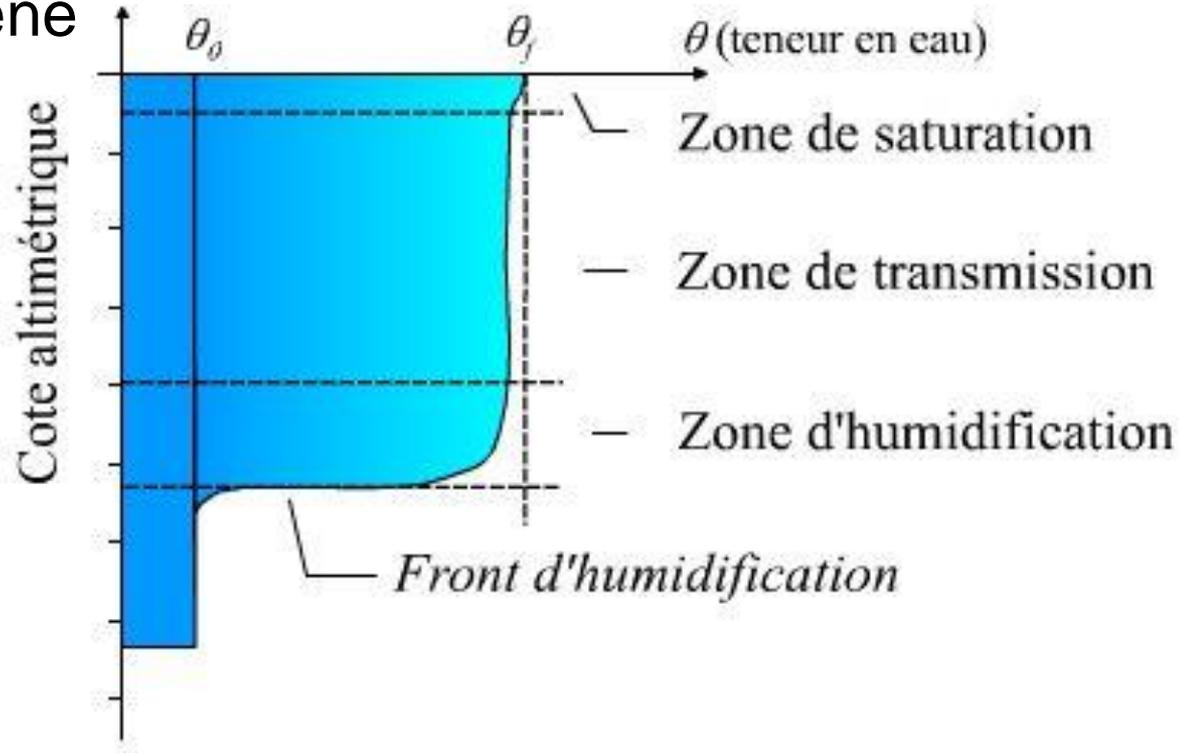


Fig. 5.4 - Caractéristiques du profil hydrique au cours d'une infiltration (avec  $(q_0)$  teneur initiale en eau et  $(q_f)$  teneur finale) (Tiré de Musy, Soutter 1991)

# L'infiltration

**Infiltration au cours d'une averse : profil hydrique du sol évolution dans le temps**

Sol homogène

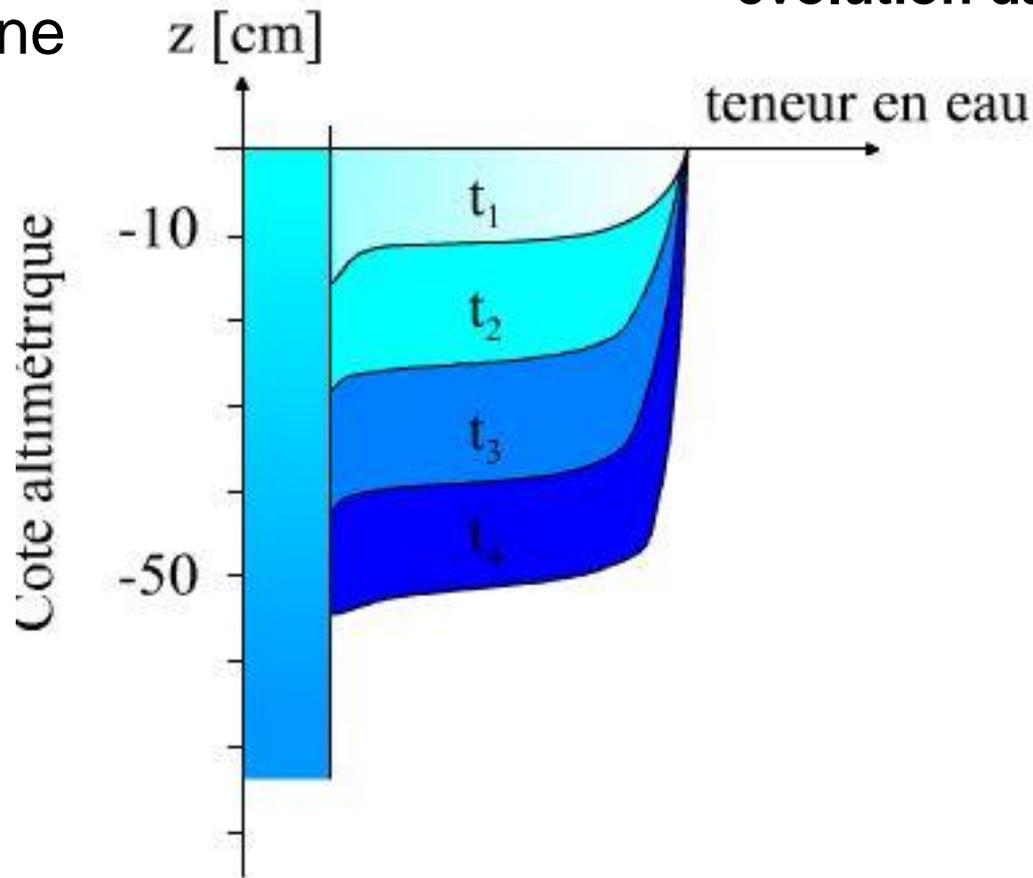


Fig. 5. 5 - Evolution du profil hydrique au cours de l'infiltration  
(Tiré de Musy et Soutter 1991).

# L'infiltration

## Infiltration au cours d'une averse : pluviométrie vs infiltration

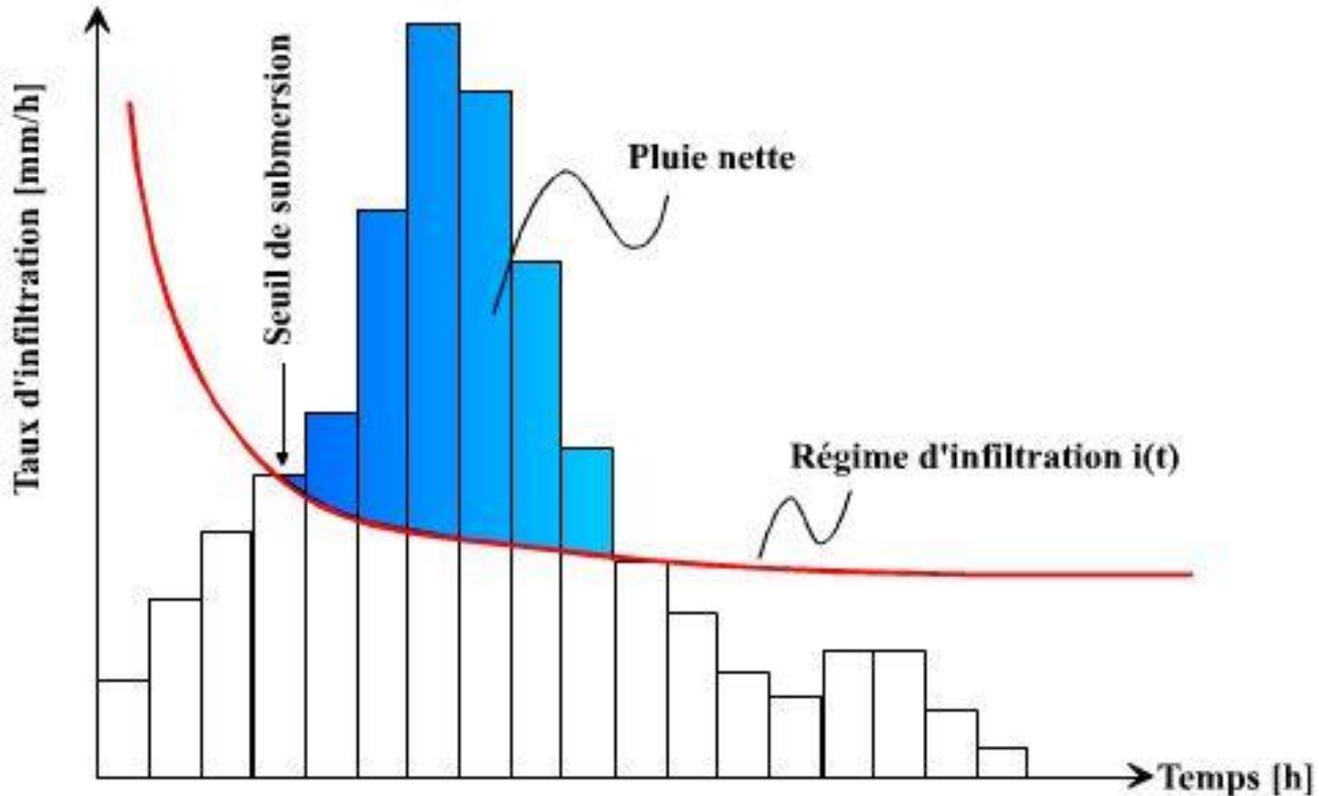
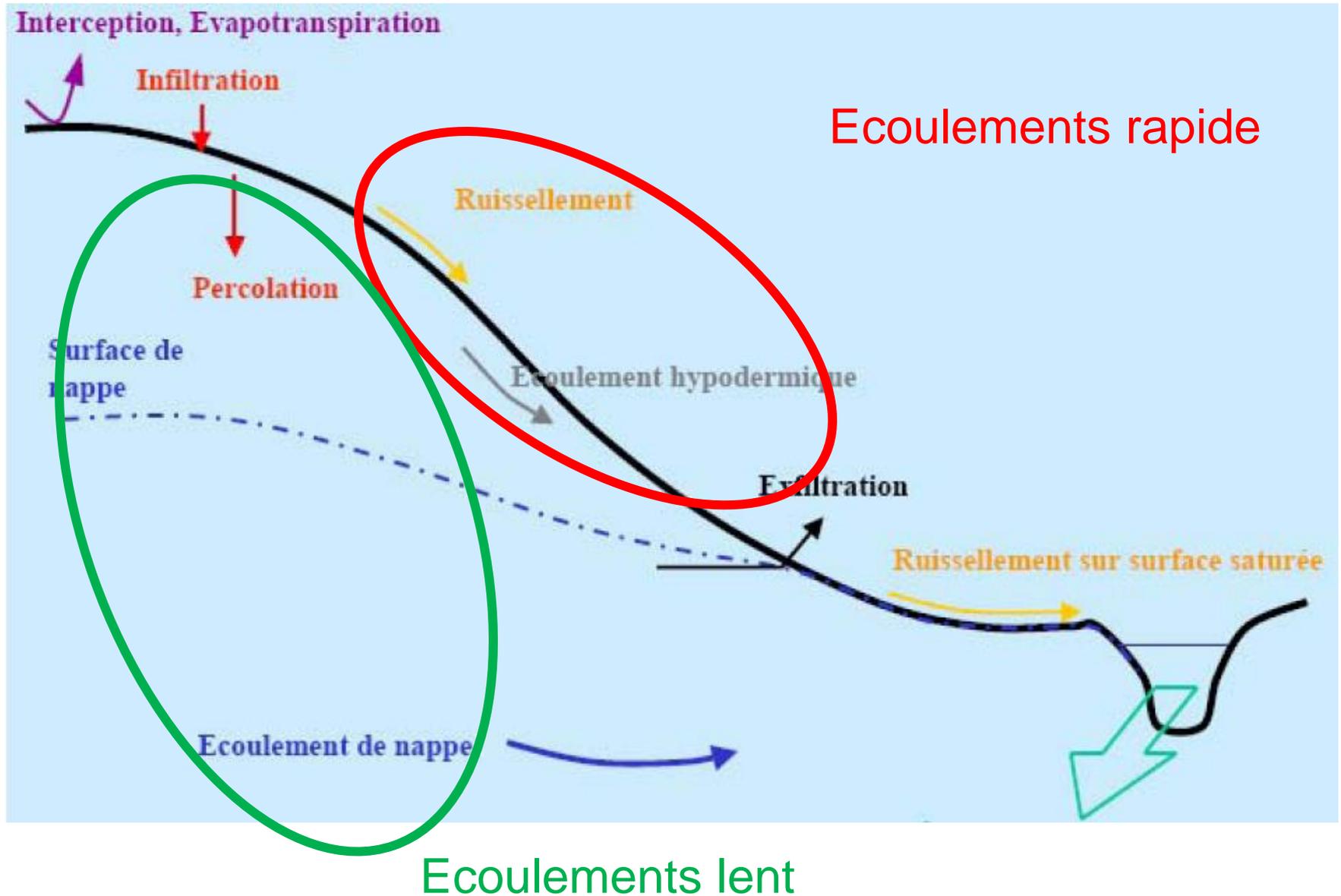
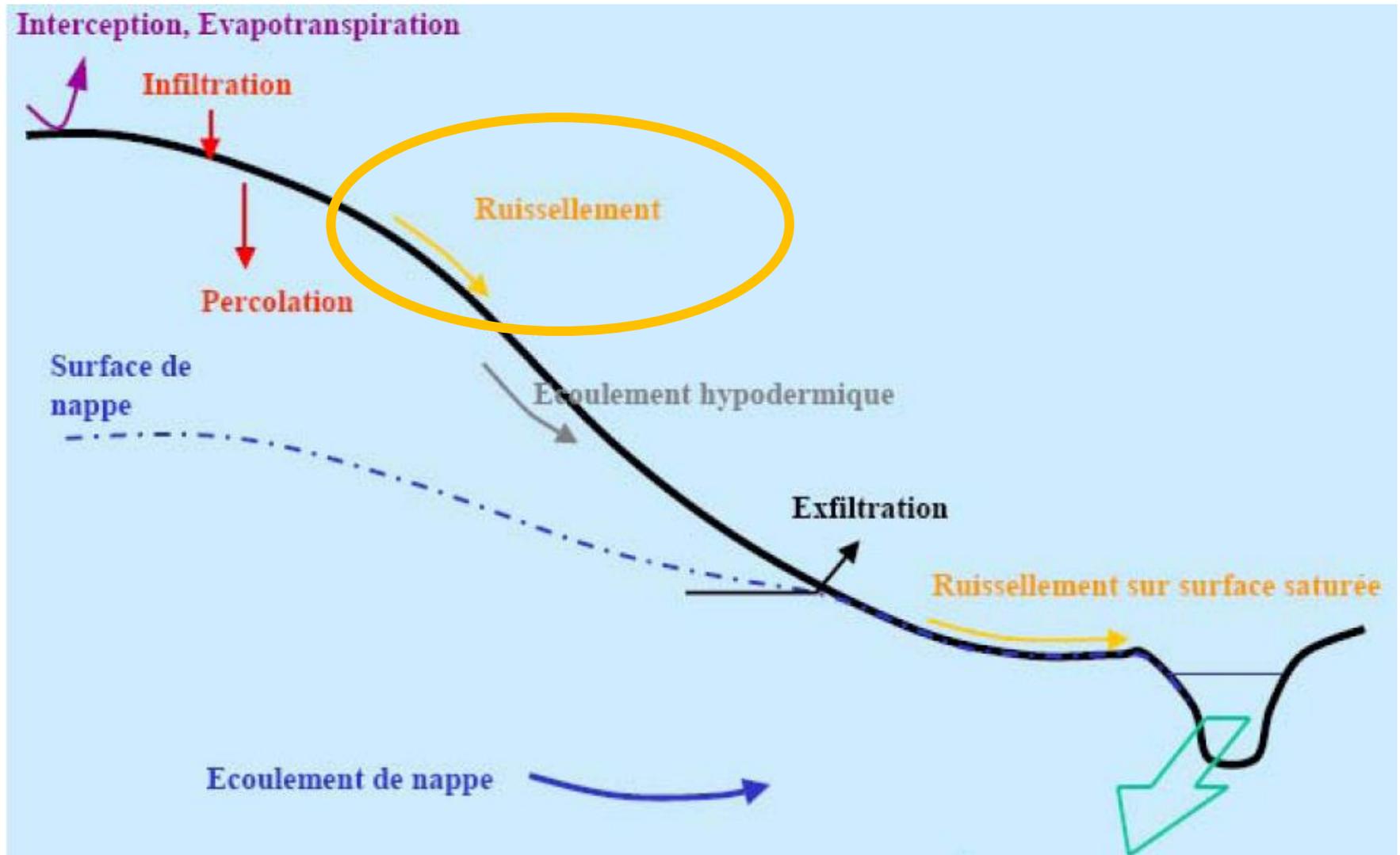


Fig. 5.6 - Régime d'infiltration et capacité d'infiltration d'un sol  
(Tiré de Musy et Soutter, 1991).

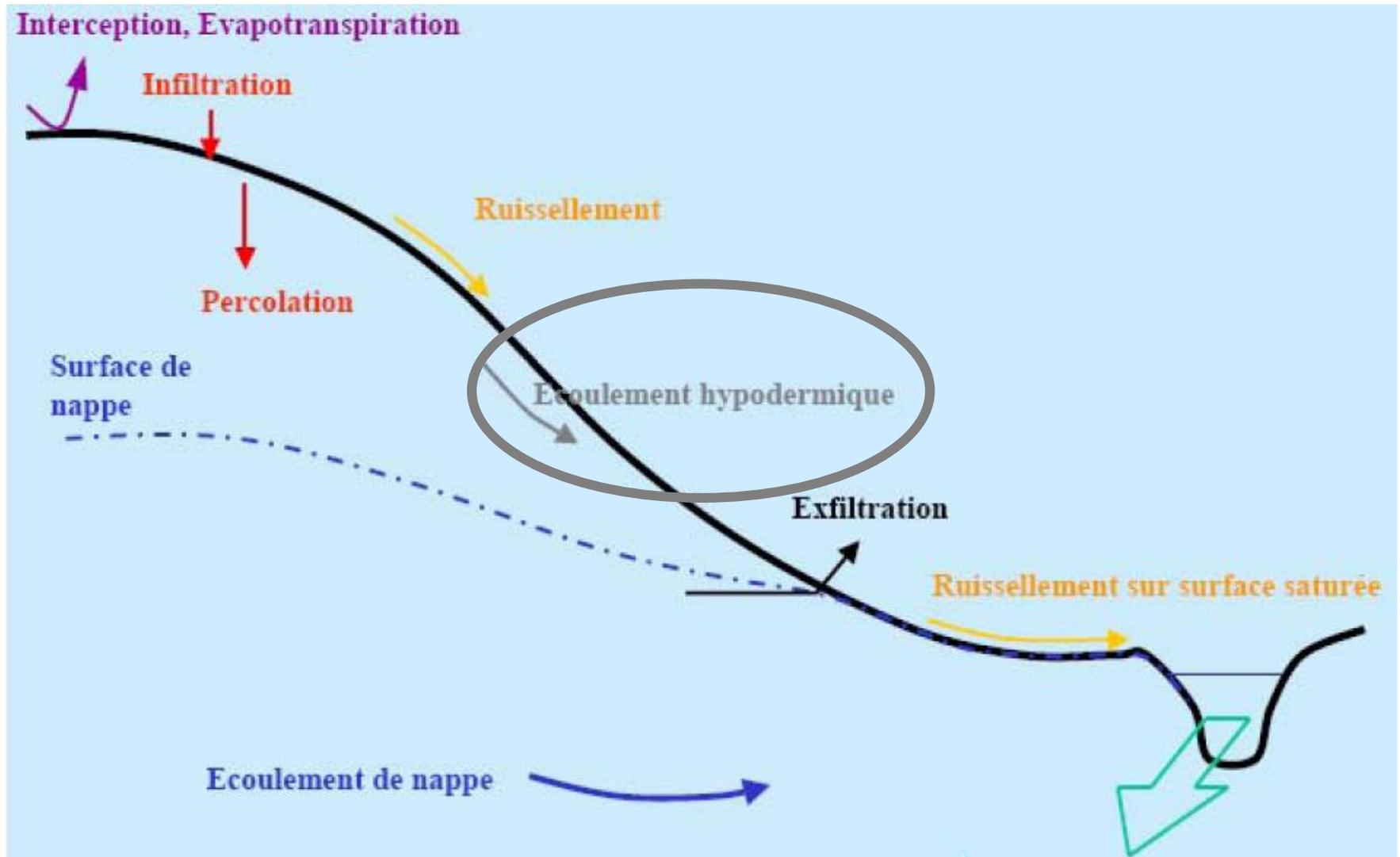
# Les écoulements



# Les écoulements



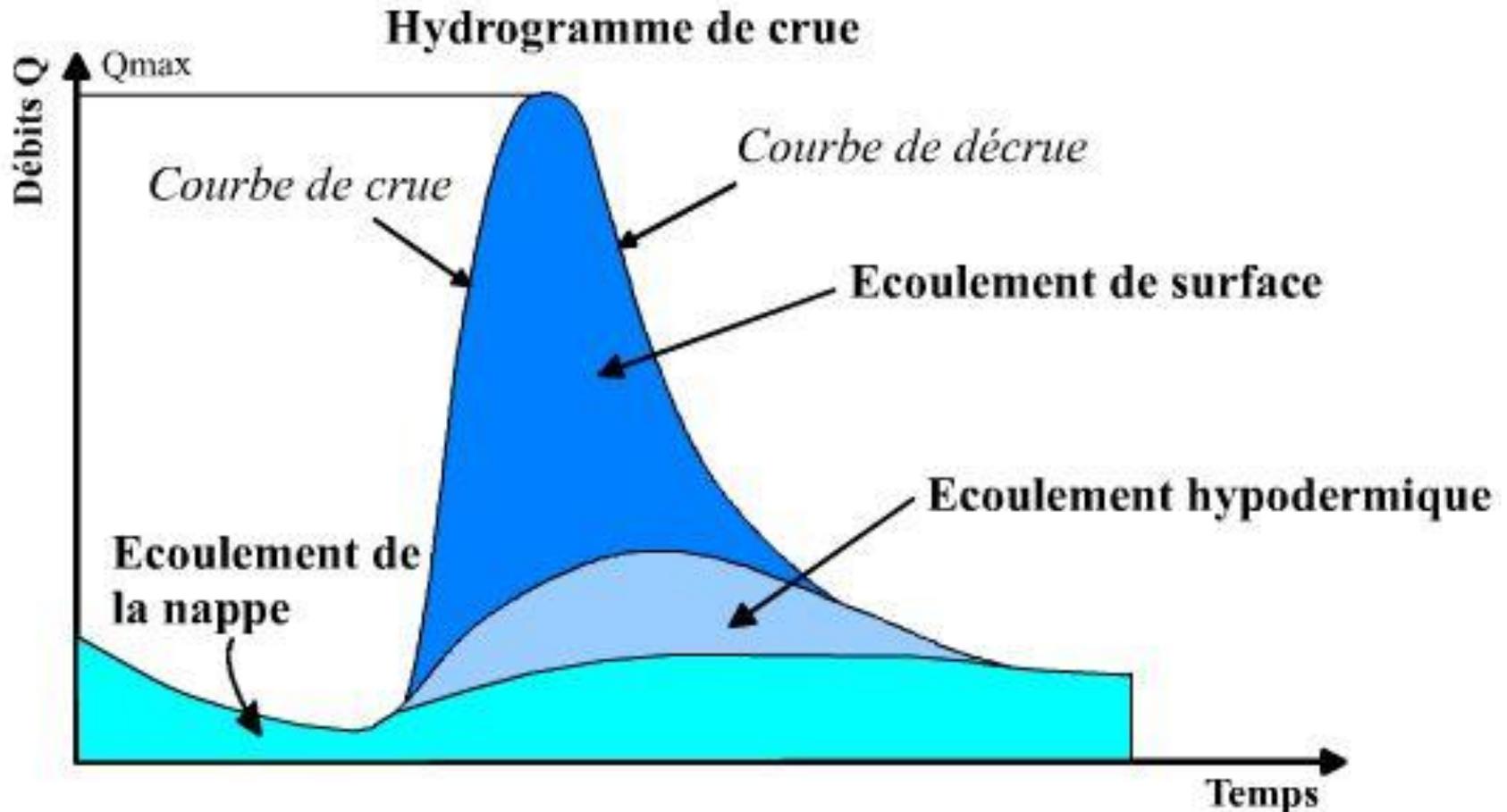
# Les écoulements



# Les écoulements

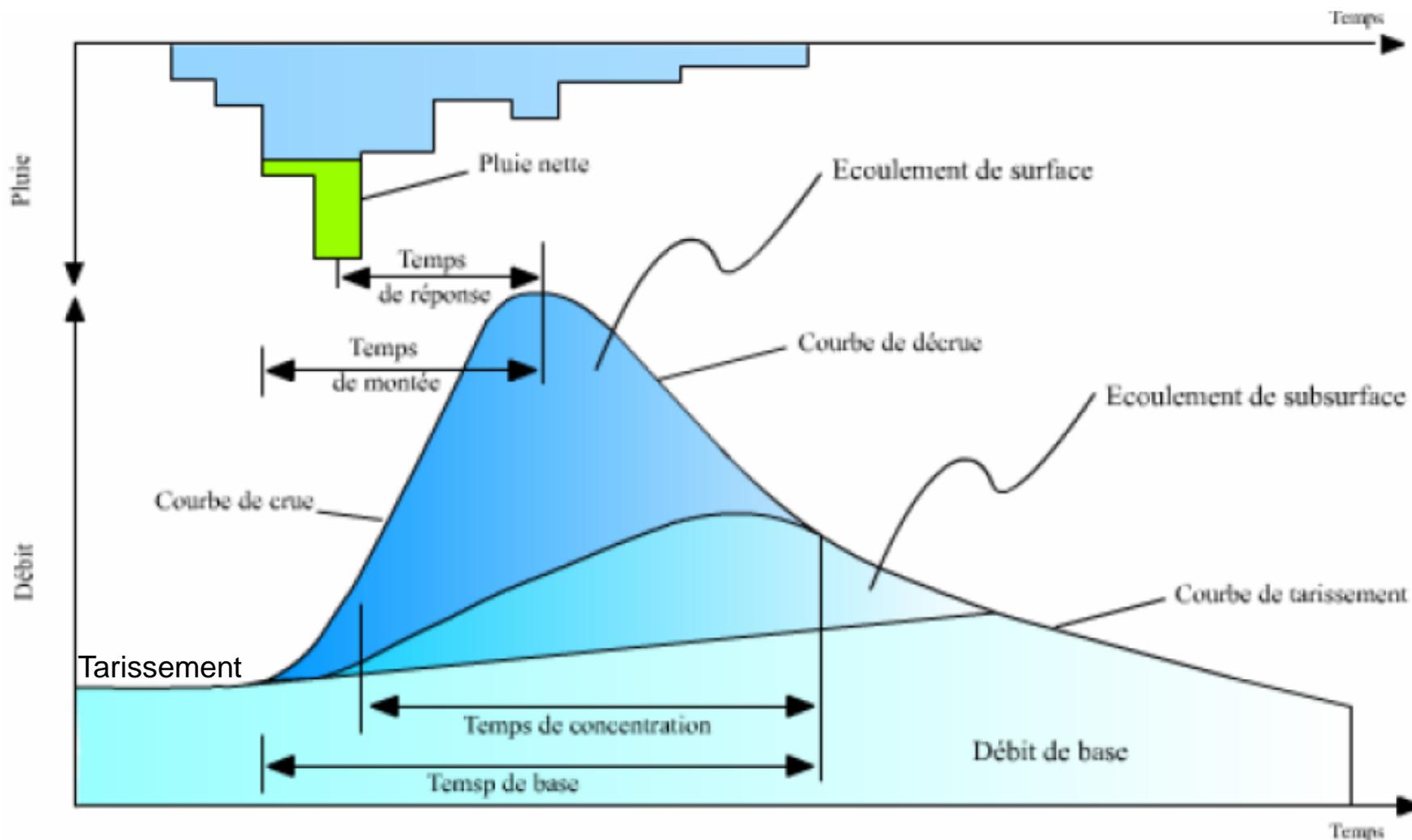
Origine des eaux  
Cheminement distinct  
Vitesses d'écoulement

explique la plupart des  
comportements hydrologiques  
des bassins versants lors de  
crues



# Les écoulements

## Mesure des écoulements



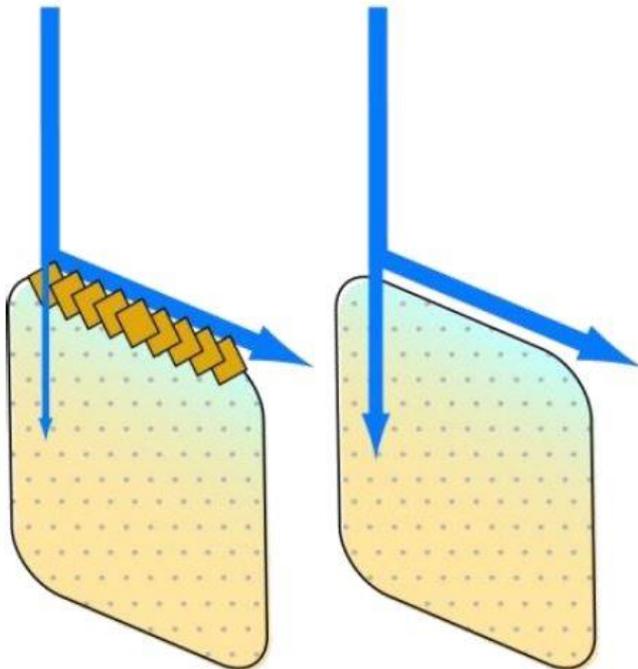
**Figure:** Hyétogramme et hydrogramme résultant d'un événement pluie-débit (A. Musy, *La réponse hydrologique*)

# Les écoulements

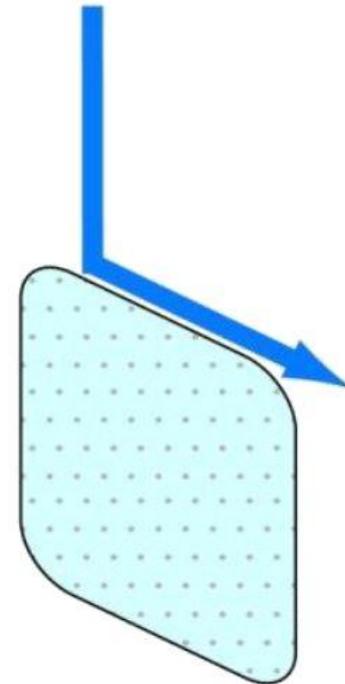
## Écoulements de surface : ruissellement

### Rappels sur leurs origines

**Ruissellement par dépassement de la capacité d'infiltration** (ruissellement hortonien)



**Ruissellement sur surface saturée** (font de vallée, remonté de nappe, pluie faible sur de longue période)



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Quantification

Le **coefficient d'écoulement de surface**  $C_{es}$ , obtenu en calculant le rapport entre les quantités d'eau écoulées rapidement et les quantités d'eau précipitées :

$$C_{es} = \frac{E_s + E_h}{P}$$

$E_s$  : écoulement superficiel

$E_h$  : écoulement hypodermique

$P$  : Précipitations

# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Quantification

Le **coefficient ruissellement**  $C_r$  est défini par le rapport entre la quantité d'eau ruisselée (i.e. écoulée) à la surface du sol et celles des précipitations :

$$C_r = \frac{E_s}{P}$$

$E_s$  : écoulement superficiel

$P$  : Précipitations

# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Quantification

#### Le coefficient ruissellement $C_r$

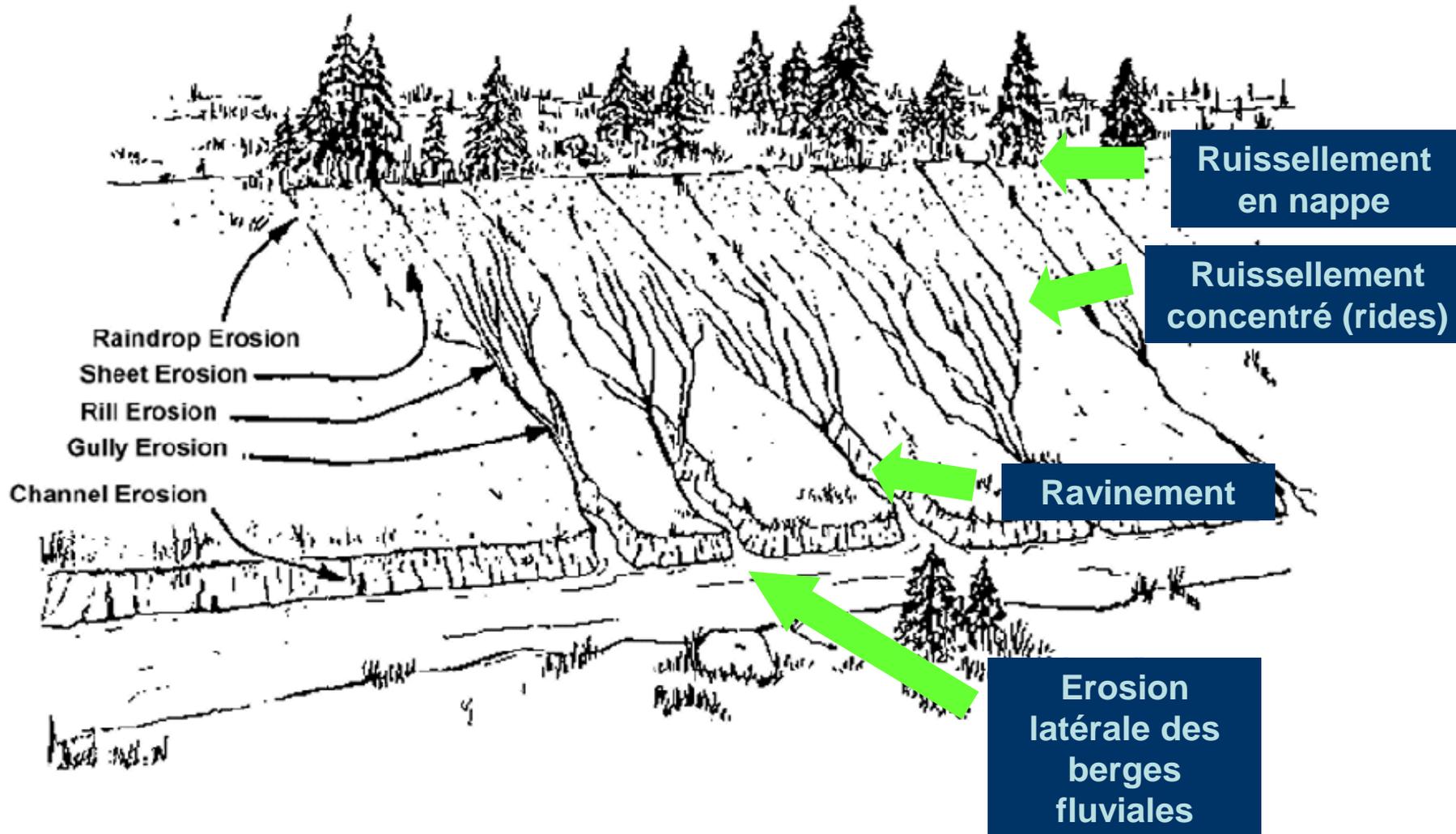
Attention : Son calcul et son emploi sont simples, mais il peut conduire à commettre de grossières erreurs. Il est fortement influencé par la couverture du sol.

Nature superficielle du bassin versant	Coefficient de ruissellement ( $C_r$ )
Bois	0,1
Prés, champs cultivés	0,2
Vigne, terrains nus	0,5
Rochers	0,7
Routes sans revêtement	0,7
Routes avec revêtement	0,9
Villages, toitures	0,9

# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les différents types de ruissellement



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les différents types de ruissellement

**Ruissellement diffus (en nappe) :** Écoulement en minces filets ou en nappe plus ou moins continue sur l'ensemble d'une surface.



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les différents types de ruissellement

**Ruissellement concentré** : lorsque la pente est plus importante, les vitesses d'écoulement vont augmenter et faire que les écoulements vont s'organiser, se concentrer et se faire selon des lignes.

Formes	Tracé	Longueur	Largeur	Profondeur
Griffe	Sinueux	< 1 m	< 10 cm	5-6 cm
Rill	Rectiligne	Centaine de m	10-20 cm	5-10 cm
Rigole	Sinueux	Dizaine de m	5-70 cm	10- 30 cm
Ravine	Peu sinueux	Centaine de m	50cm à 1 m	30-50 cm
Petit ravin	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1m	50-200 cm
Cours d'eau				

# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les différents types de ruissellement

#### Ruissellement concentré : exemple de rigoles



Rills in a recently cultivated paddock.



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les différents types de ruissellement

#### Ruissellement concentré : exemple de ravine



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les différents types de ruissellement

**Réseau hydrographique** : ensemble hiérarchisé et structuré de chenaux qui assurent le drainage superficiel, permanent ou temporaire, d'un bassin versant ou d'une région donnée.

# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les différents types de ruissellement

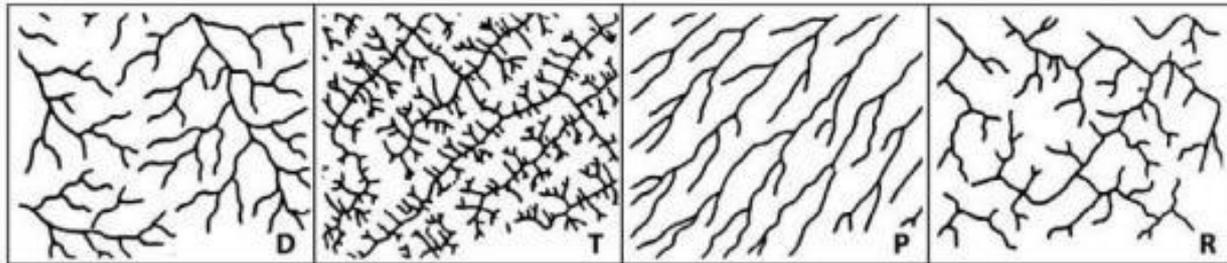
**Réseau hydrographique** : ensemble

- hiérarchisé et structuré de chenaux qui assurent le drainage superficiel,
- permanent ou temporaire,

d'un bassin versant  
ou d'une région donnée

Il est caractérisé par :

- la géométrie

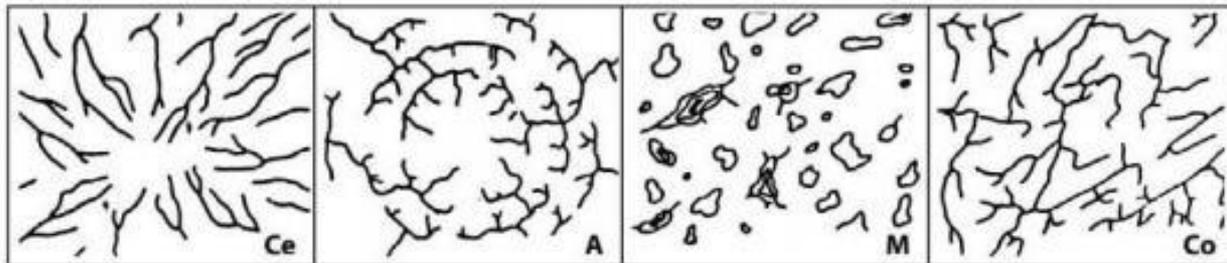


*Dendritique (D)*

*Treillis (T)*

*Parallèle (P)*

*Rectangulaire (R)*



*Radial (Ce)*

*Annulaire (A)*

*Multi-bassins (M)*

*Contourné (Co)*

# Les écoulements

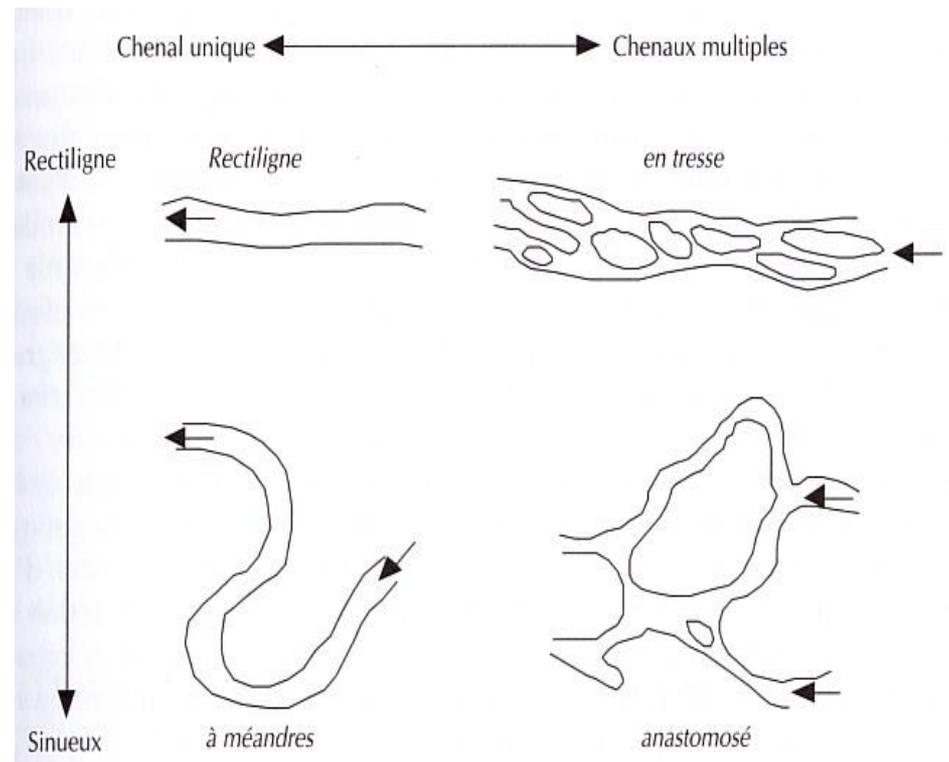
## Écoulements de surface : ruissellement

### Les différents types de ruissellement

**Réseau hydrographique** : ensemble hiérarchisé et structuré de chenaux qui assurent le drainage superficiel, permanent ou temporaire, d'un bassin versant ou d'une région donnée.

Il est caractérisé par :

- la géométrie
- le style fluvial



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les différents types de ruissellement

**Réseau hydrographique** : ensemble hiérarchisé et structuré de chenaux qui assurent le drainage superficiel, permanent ou temporaire, d'un bassin versant ou d'une région donnée.

Il est caractérisé par :

- la géométrie
- le style fluvial
- la densité de drains

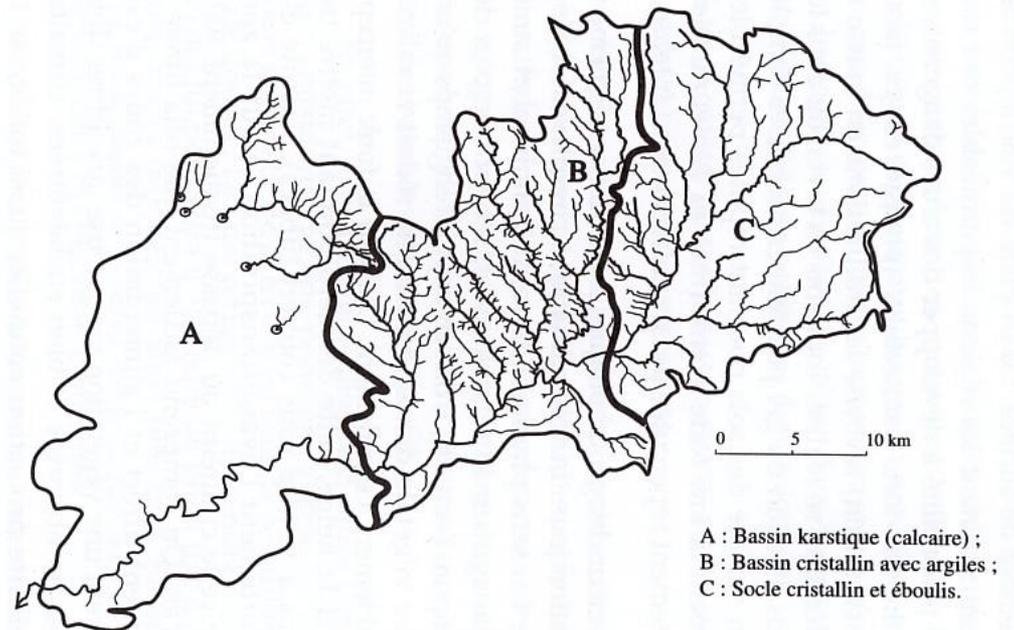


Figure 5 : L'influence du substratum géologique sur le réseau hydrographique. Le bassin versant du Célé  
(Source : cartes IGN 1/100 000 Figeac, Decazeville, Aurillac, Brive)

# Les écoulements

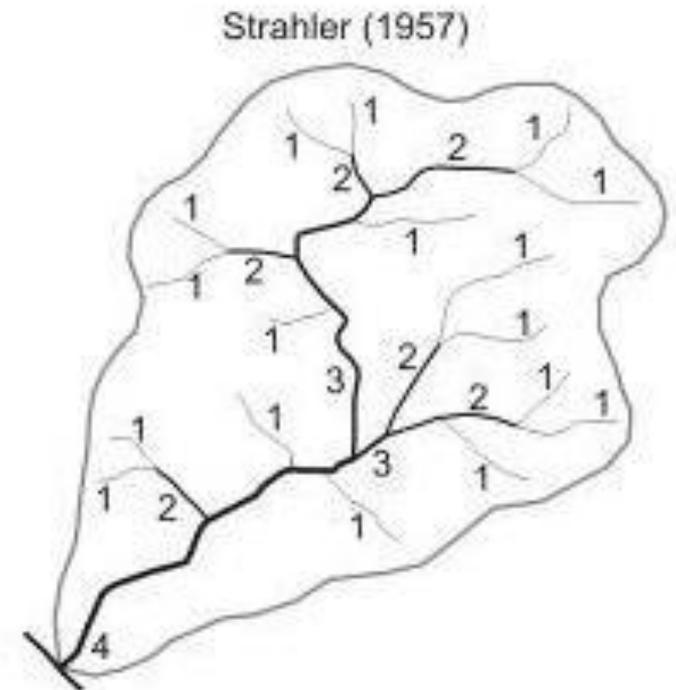
## Écoulements de surface : ruissellement

### Les différents types de ruissellement

**Réseau hydrographique** : ensemble hiérarchisé et structuré de chenaux qui assurent le drainage superficiel, permanent ou temporaire, d'un bassin versant ou d'une région donnée.

Il est caractérisé par :

- la géométrie
- le style fluvial
- la densité de drains
- la hiérarchisation des cours d'eau



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### La mesure du ruissellement concentré

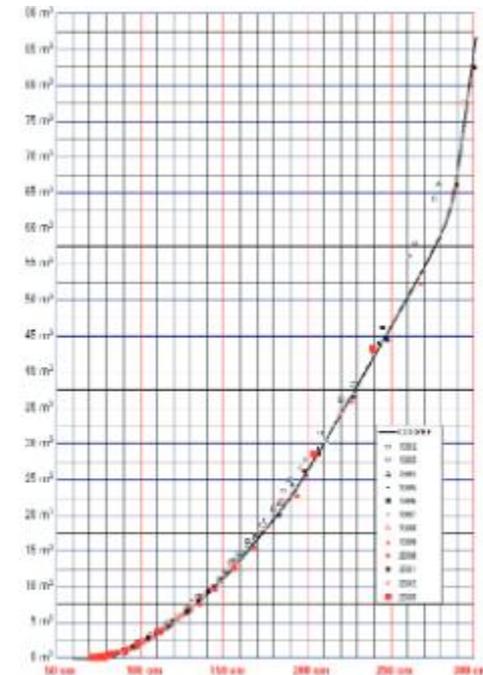
**Débit:** volume d'eau liquide traversant une section transversale de l'écoulement, par unité de temps =>  $m^3/s$



Jaugeage à l'aide d'un moulinet (photo Diren Haute Normandie)



Jaugeage à l'aide d'un profileur (phot Diren Bourgogne)



Courbe de tarage de la Tille à Arcelot (Diren Bourgogne)

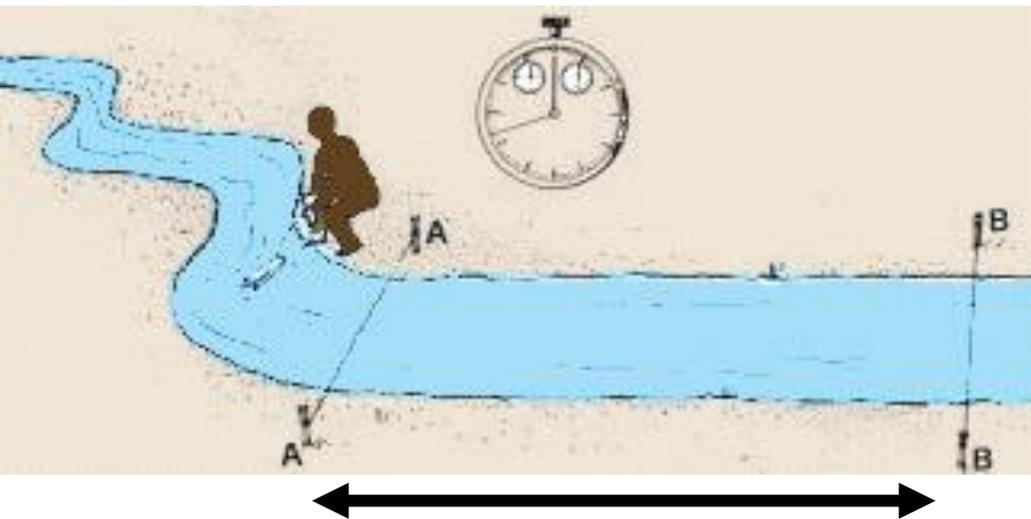
# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### La mesure du ruissellement concentré

**Débit:** volume d'eau liquide traversant une section transversale de l'écoulement, par unité de temps =>  $\text{m}^3/\text{s}$

Méthode du flotteur



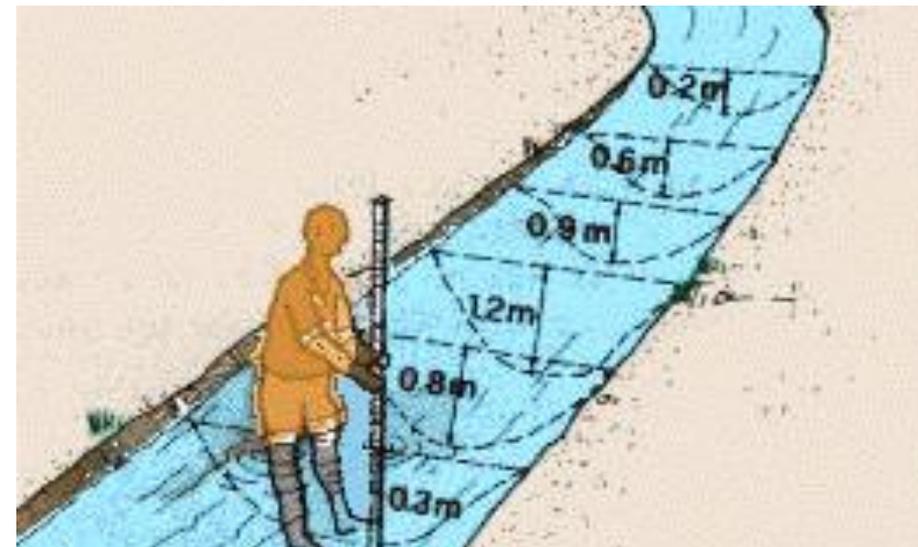
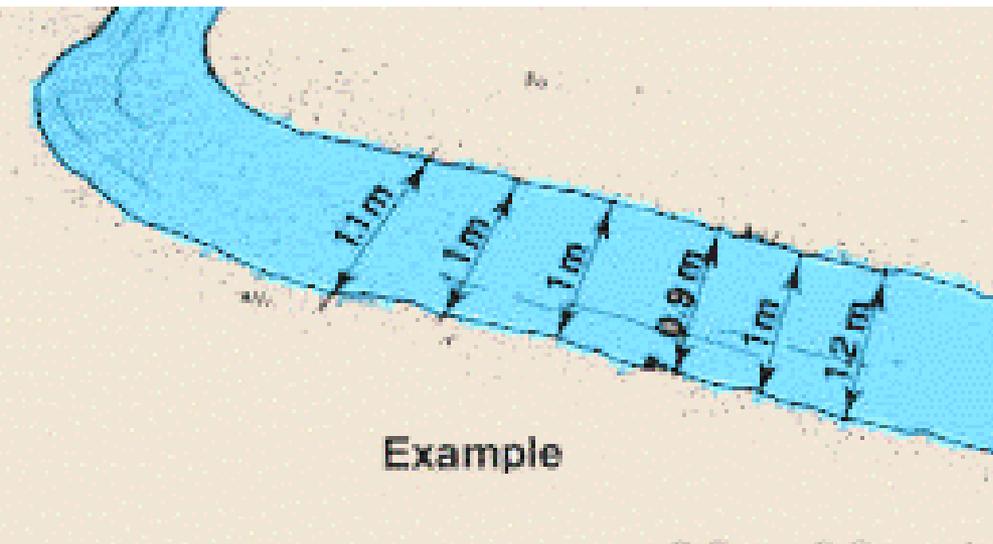
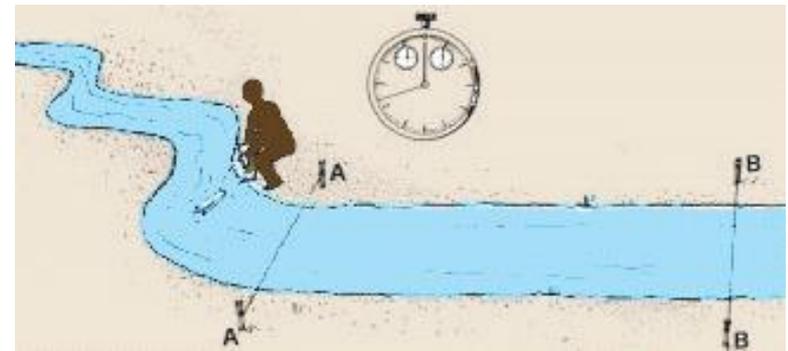
# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### La mesure du ruissellement concentré

**Débit:** volume d'eau liquide traversant une section transversale de l'écoulement, par unité de temps =>  $m^3/s$

Méthode du flotteur



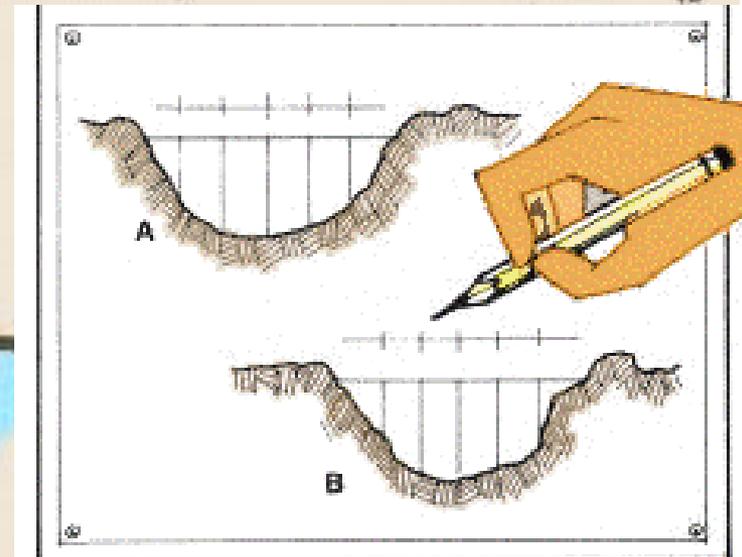
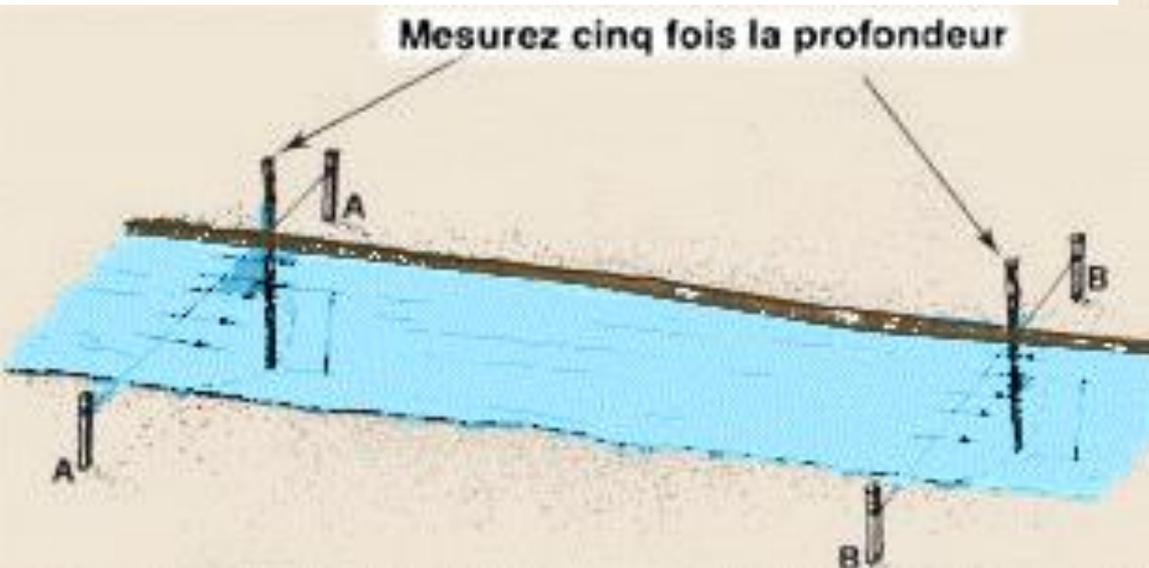
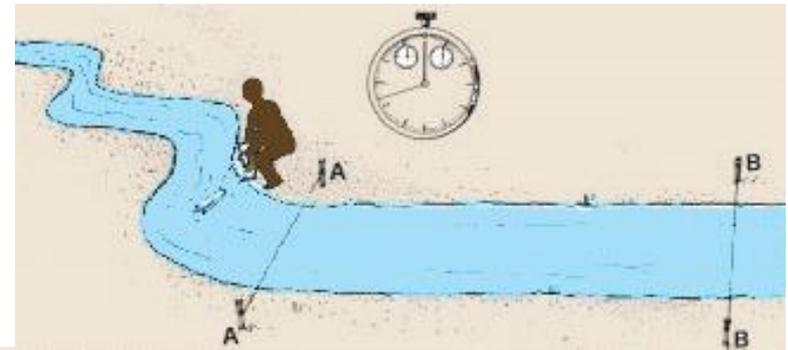
# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### La mesure du ruissellement concentré

**Débit:** volume d'eau liquide traversant une section transversale de l'écoulement, par unité de temps =>  $m^3/s$

Méthode du flotteur



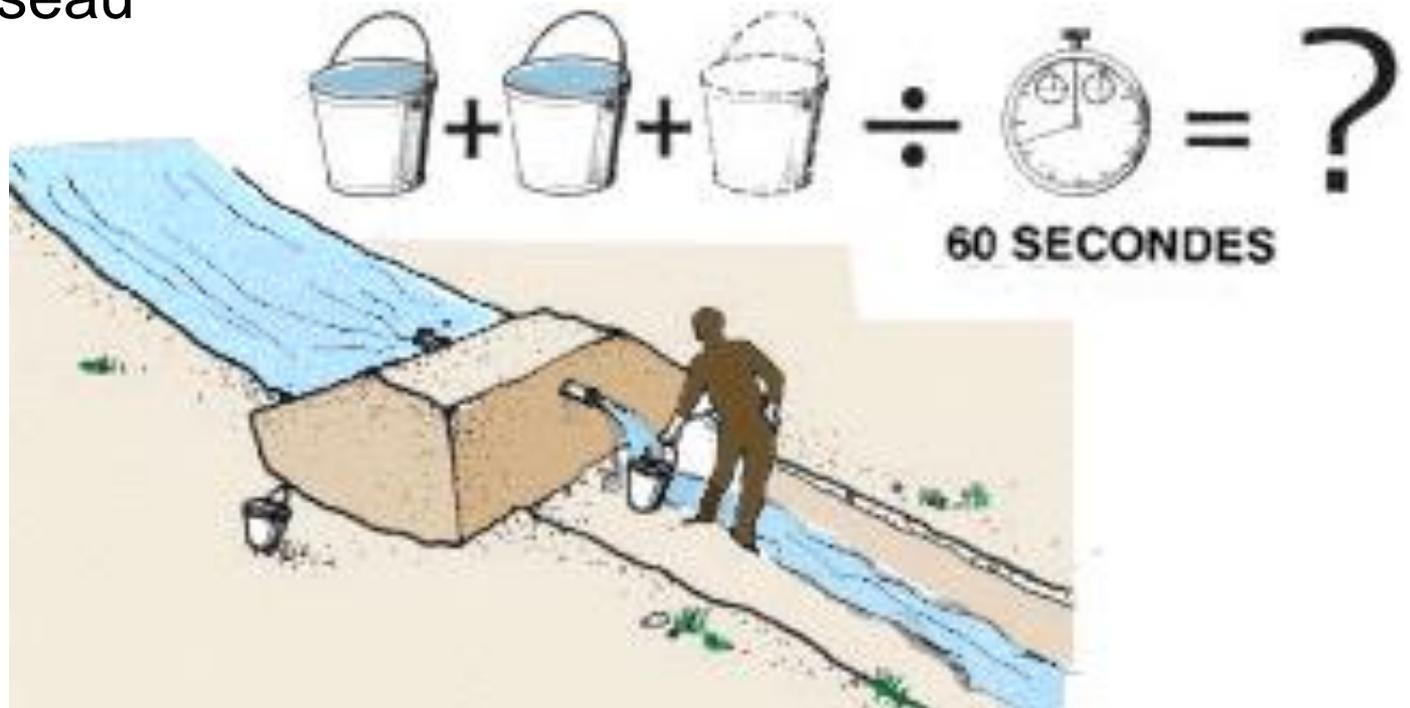
# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### La mesure du ruissellement concentré

**Débit:** volume d'eau liquide traversant une section transversale de l'écoulement, par unité de temps => m<sup>3</sup>/s

Méthode du seau



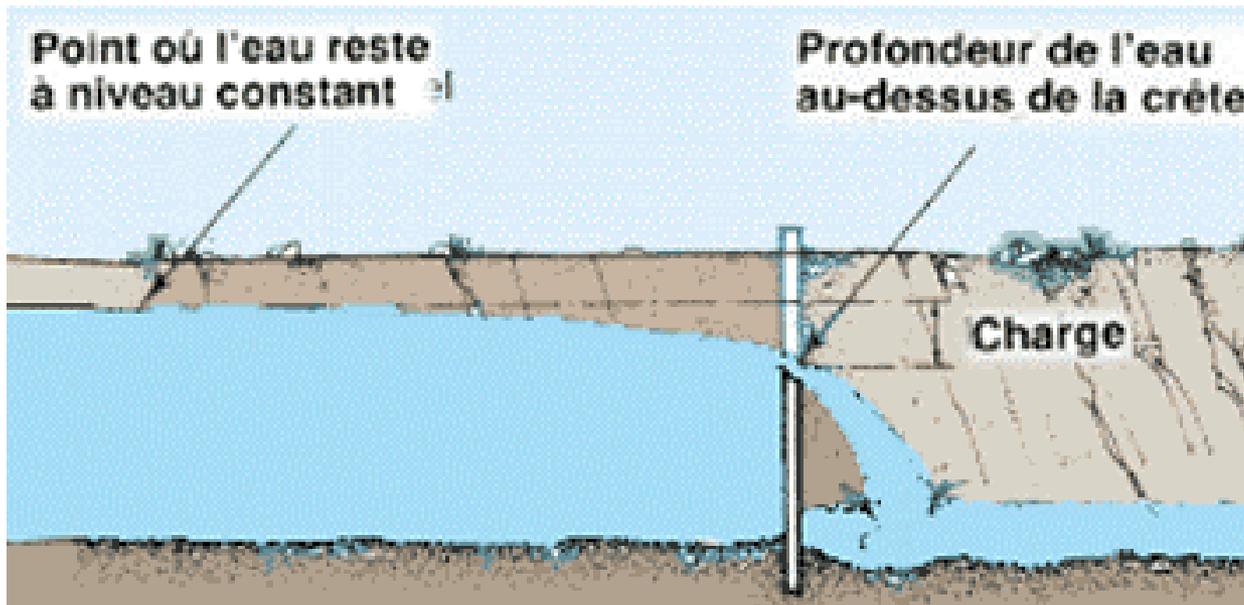
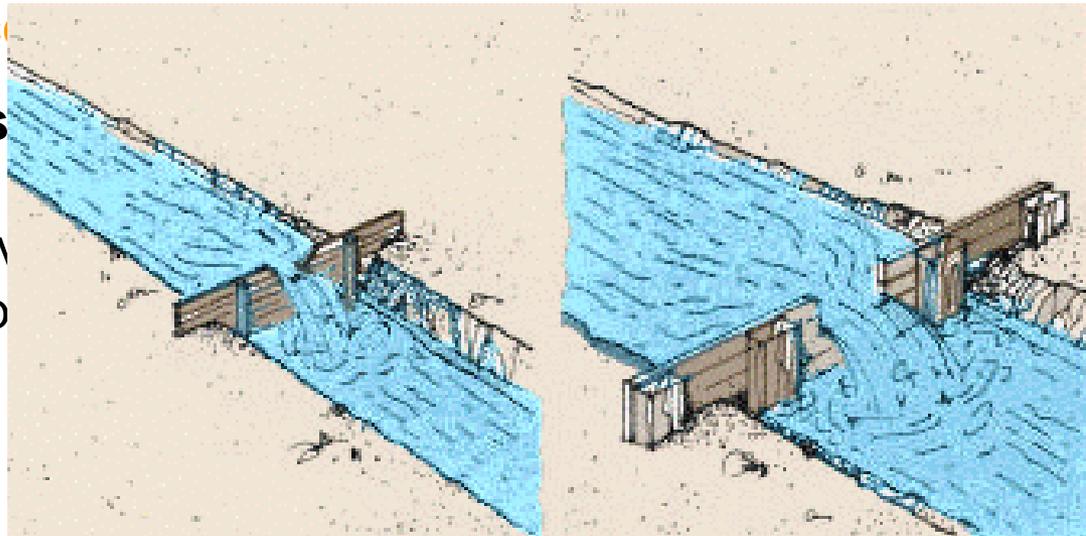
# Les écoulements

## Écoulements de surface

### La mesure du ruissellement

**Débit:** volume d'eau liquide traversant l'écoulement, par unité de temps

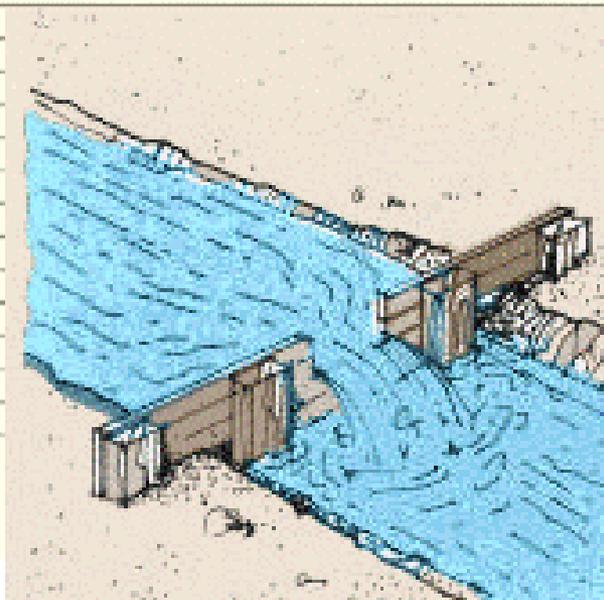
Méthode du déversoir



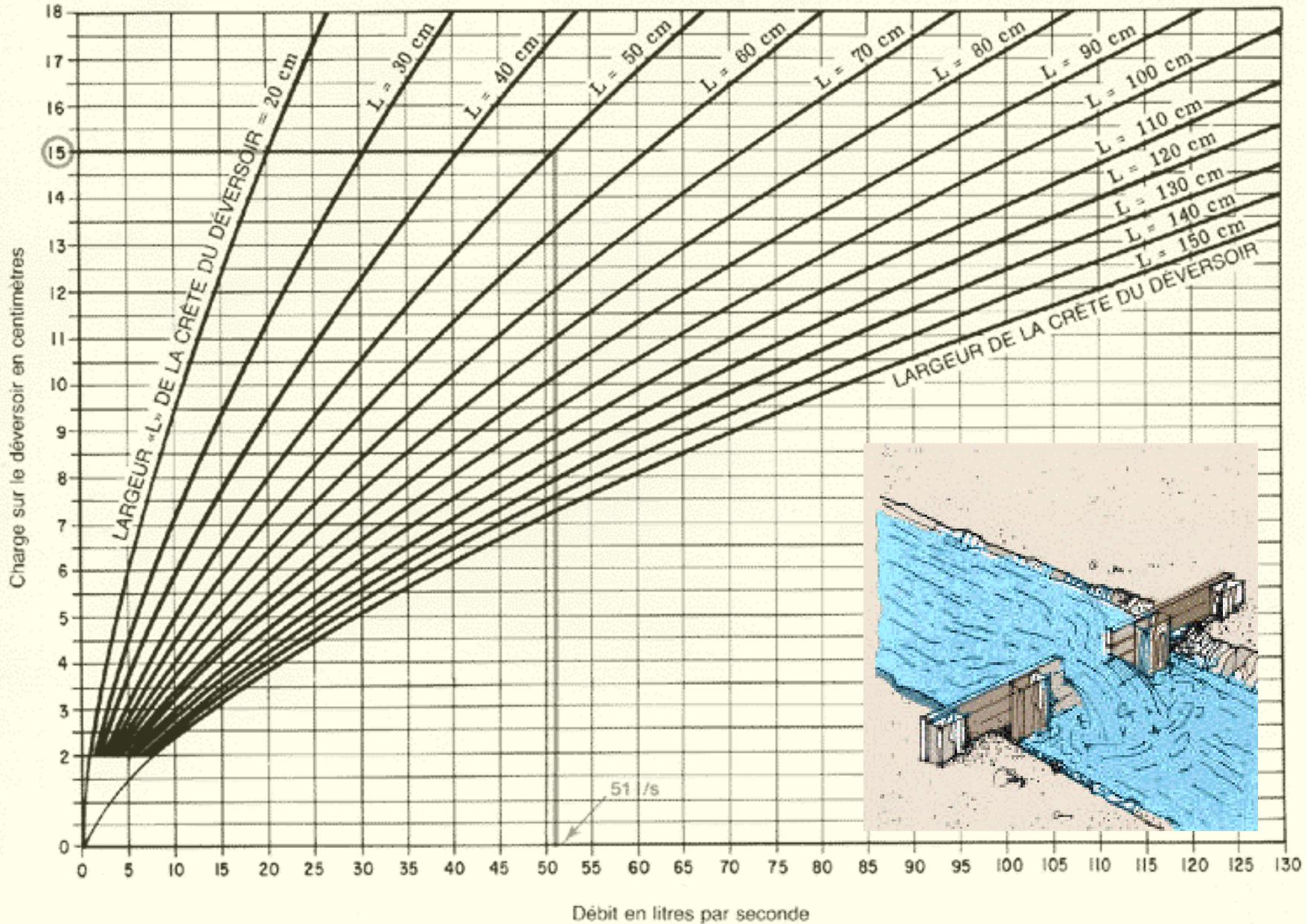
# Les écoulements

Dé  
l'éc  
Mo

Charge (cm)	LARGEUR DE CRÊTE DU DÉVERSOIR (cm)								Par 10 cm <sup>2</sup>	Charge (cm)
	15	20	25	30	60	90	120	180		
4	2,09	2,83	3,56	4,30	8,71	13,13	17,55	26,38	1,45	4
6	3,73	5,08	6,44	7,79	15,90	24,01	32,13	48,35	2,65	6
8	5,58	7,66	9,74	11,82	24,31	36,80	49,30	74,28	4,05	8
10	7,56	10,47	13,38	16,29	33,75	51,20	68,66	103,57	5,65	10
12	9,64	13,46	17,29	21,11	44,06	67,00	89,95	135,84	7,50	12
14	11,76	16,58	21,40	26,22	55,13	84,05	112,96	170,79	9,30	14
16	13,90	19,78	25,67	31,56	66,89	102,22	137,54	208,20	11,30	16
18		23,04	30,07	37,10	79,25	121,41	163,56	247,87	12,50	18
20		26,33	34,56	42,79	92,16	141,53	190,91	289,65	15,50	20
22			39,11	48,61	105,57	162,53	219,49	333,41	18,30	22
24			43,70	54,52	119,42	184,32	249,22	379,03	20,75	24
26			48,30	60,50	133,68	206,86	280,04	426,40	23,30	26
28				66,52	148,30	230,09	311,88	475,45	26,00	28
30				72,56	163,27	253,97	344,67	526,08	28,70	30
32					178,53	278,45	378,37	578,22	31,55	32
34					194,07	303,50	412,94	631,81	34,40	34
36					209,85	329,08	448,31	686,78	37,40	36
38					225,85	355,16	484,46	743,07	40,40	38
40					242,05	381,70	521,35	800,64	43,50	40
42					258,43	408,68	558,93	859,43	—	42
44					274,96	436,07	597,17	919,39	—	44
46					291,72	463,84	636,05	980,49	—	46
48					308,40	491,97	675,54	1 042,68	—	48
50					325,27	520,43	715,59	1 105,91	—	50
52					342,22	549,21	756,19	1 170,17	—	52
54					359,23	578,27	797,32	1 235,40	—	54
56					376,29	607,61	838,94	1 301,58	—	56
58					393,37	637,20	881,03	1 368,68	—	58
60					410,47	667,02	923,57	1 436,66	—	60



# Les écoulements



# Les écoulements

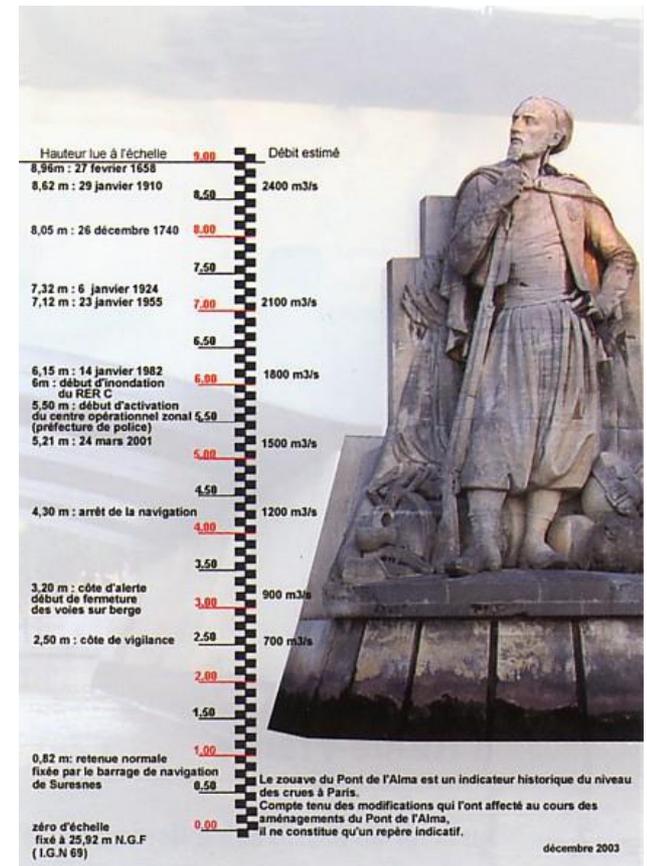
## Écoulements de surface : ruissellement

### La mesure du ruissellement concentré

Débit brut ou abondance :  $\text{m}^3/\text{s}$  (Q)

Débit spécifique :  $\text{l}/\text{s}/\text{km}^2$  (Qs)

Lame d'eau équivalente : mm (E)

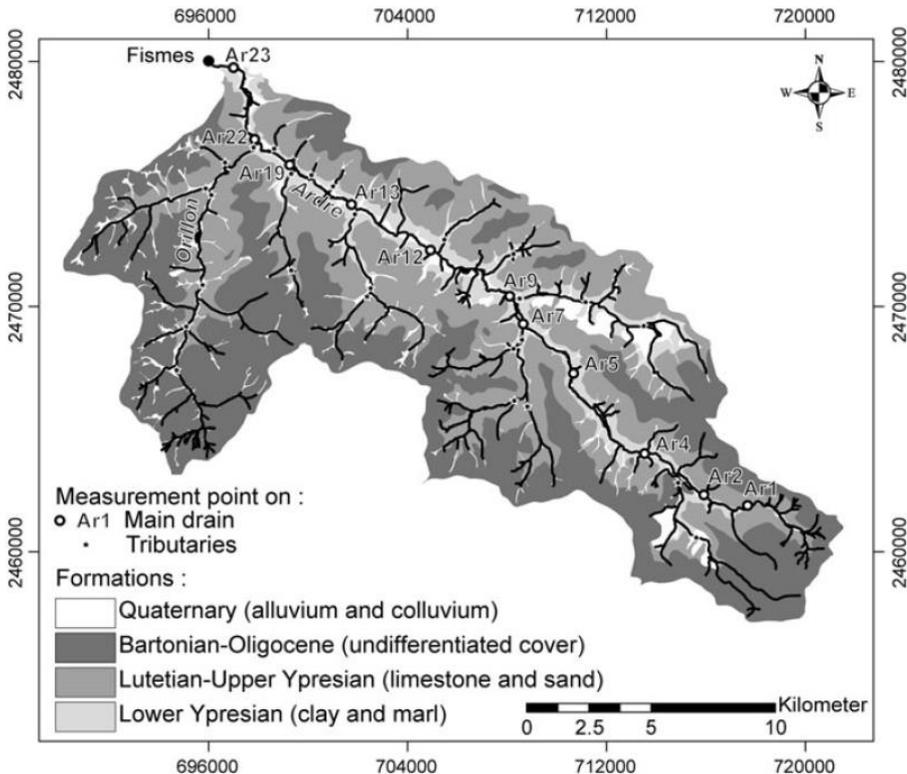


# Les écoulements

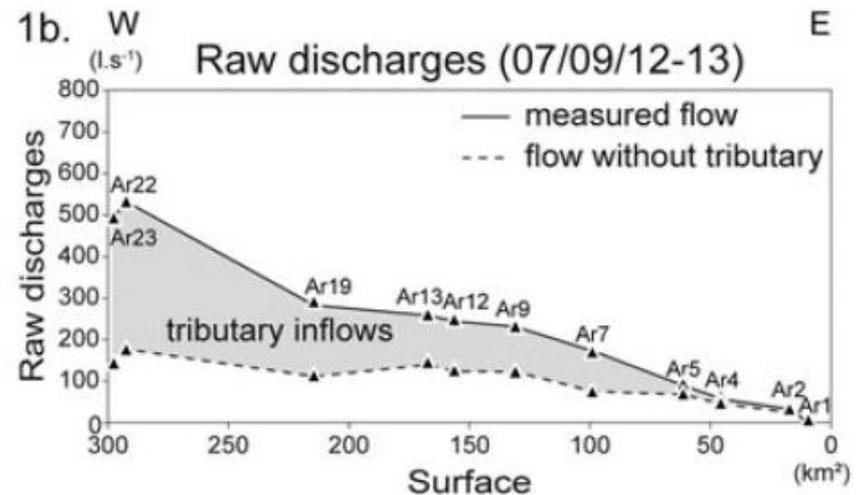
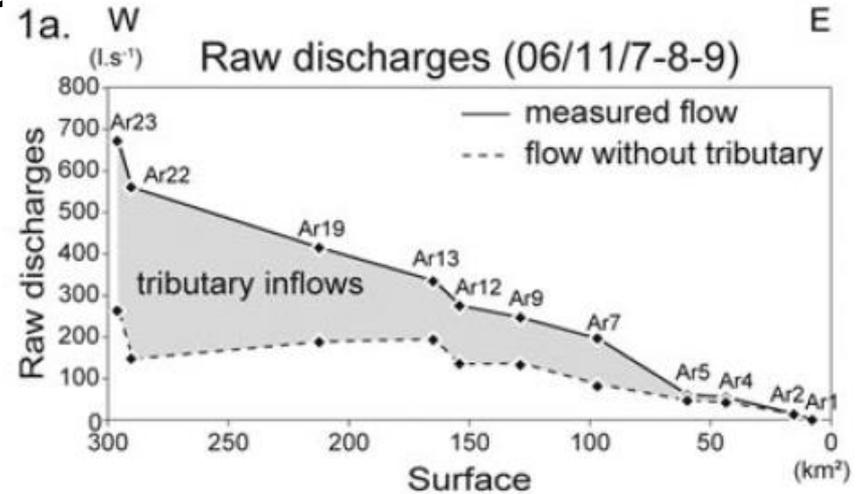
## Écoulements de surface : ruissellement

### La mesure du ruissellement concentré

### Débit brut ou abondance :



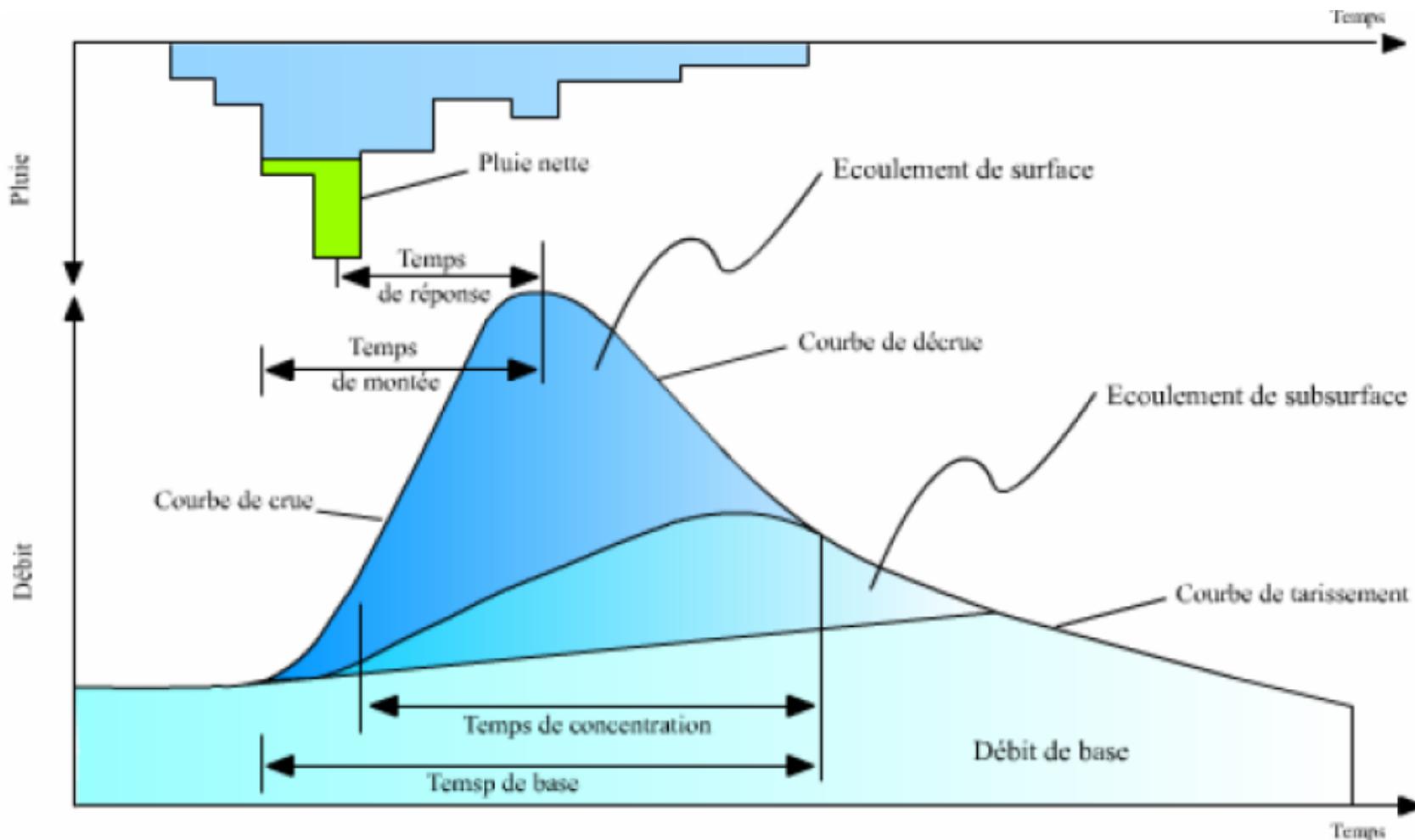
Projected coordinate system : NTF Lambert 2 étendu metric  
Data source : BRGM, 1976, 1977a, 1977b, 1981 and ©IGN BD TOPO®, 2011



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### La mesure du ruissellement concentré



**Figure:** Hyétogramme et hydrogramme résultant d'un événement pluie-débit (A. Musy, La réponse hydrologique)

# Les écoulements

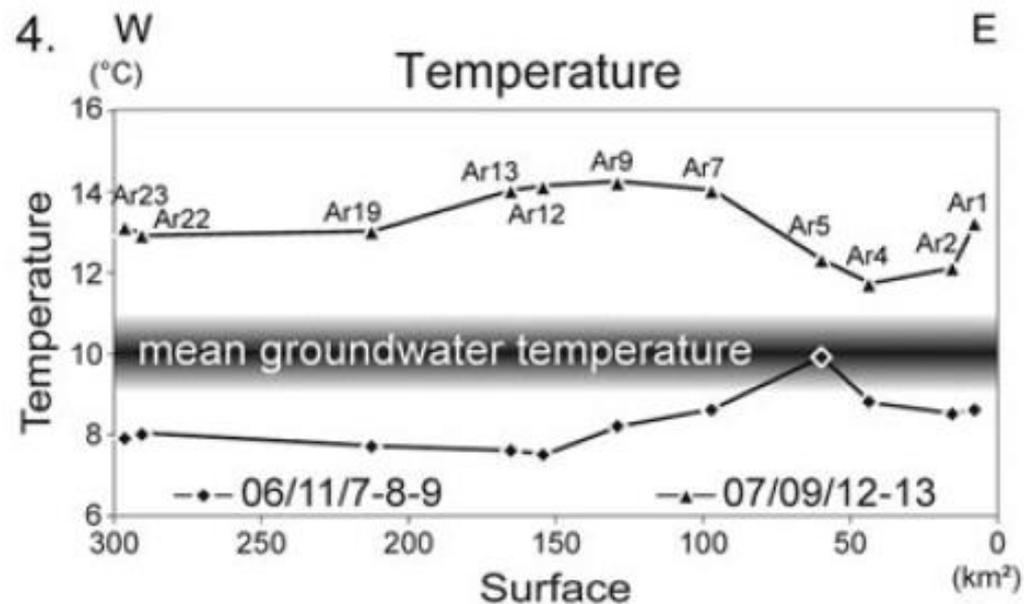
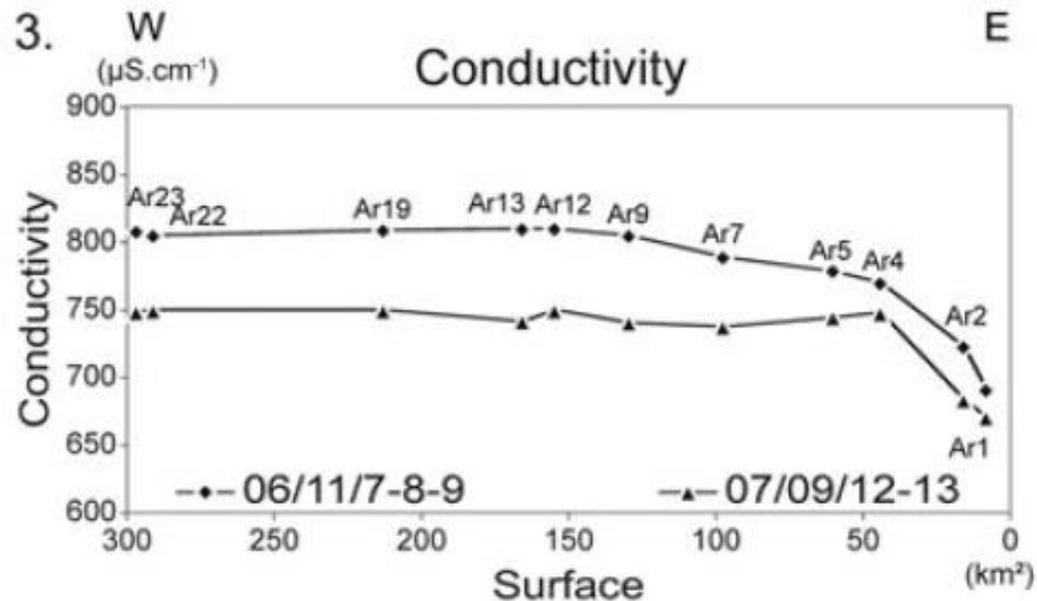
Écoulements de surfac

Paramètres mesurés

pH

Conductivité

Température



# Les écoulements

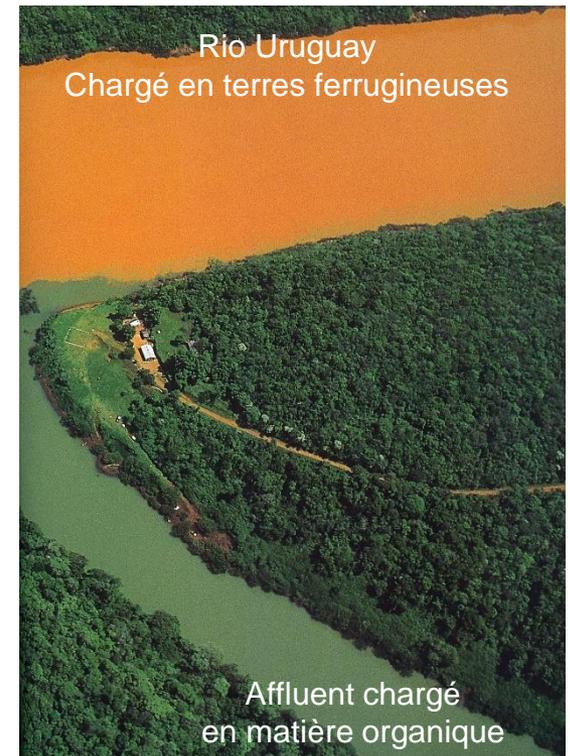
## Écoulements de surface : ruissellement

### Le transport de particules solides : définitions

**La compétence d'un cours d'eau** : diamètre maximum des débris rocheux que peut transporter le cours d'eau. Cette caractéristique est essentiellement fonction de la vitesse de l'eau.

=> diagramme de Hjulstrom

Elle décroît vers l'aval pour un fleuve.

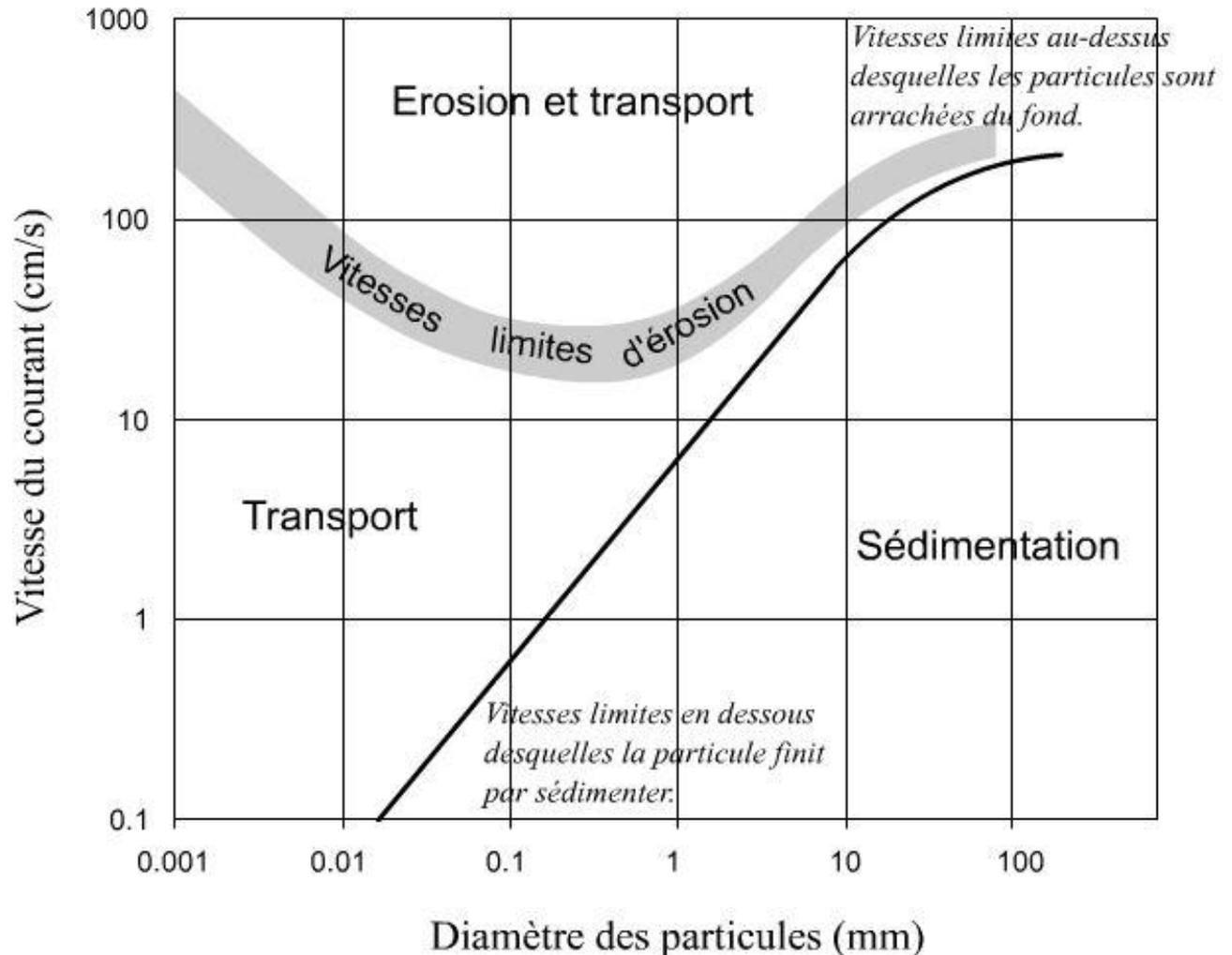


# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Le transport de particules solides : définitions

diagramme  
de Hjulstrom



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Le transport de particules solides : définitions

**La capacité d'un cours d'eau** - C'est la quantité maximale de matériaux solides que peut transporter en un point et à un instant donné le cours d'eau.

Elle ne décroît pas vers l'aval.

La capacité est fonction de la vitesse de l'eau, du débit et des caractéristiques de la section (forme, rugosité, etc.).

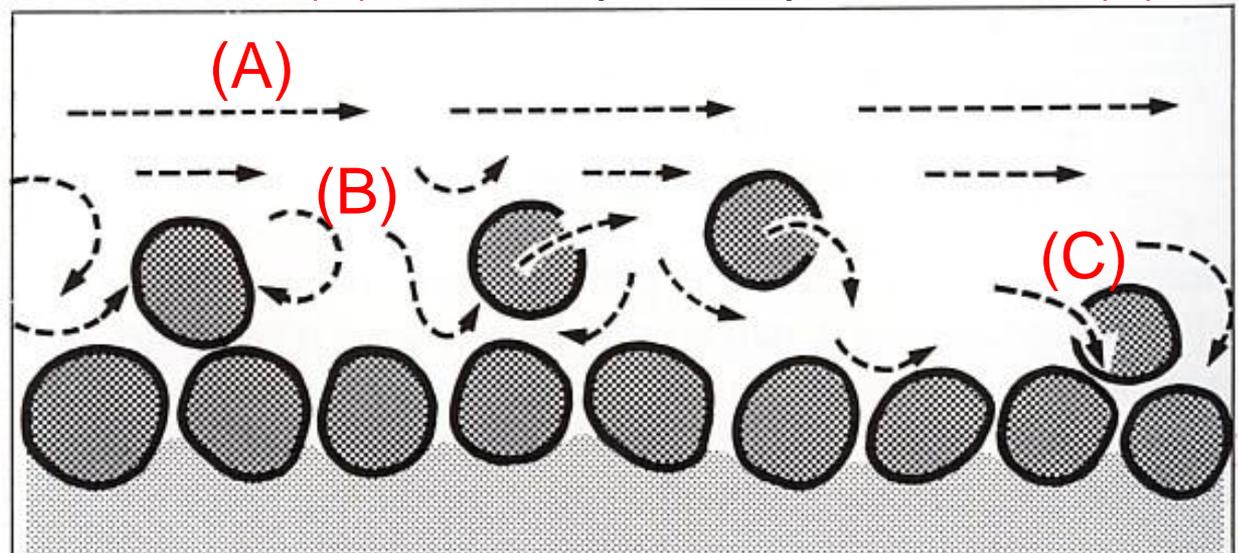
# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Le transport de particules solides : définitions

**La charge en suspension** : Matériaux restant en suspension dans l'eau courante pendant un temps assez considérable sans toucher le fond du lit ni s'y déposer. (A)

**La charge de fond** : formée de matériaux trop gros pour être mis en suspension compte tenu de leur densité et de la vitesse du courant. Ces particules roulent sur le fond (C) ou se déplacent par saltation (B)

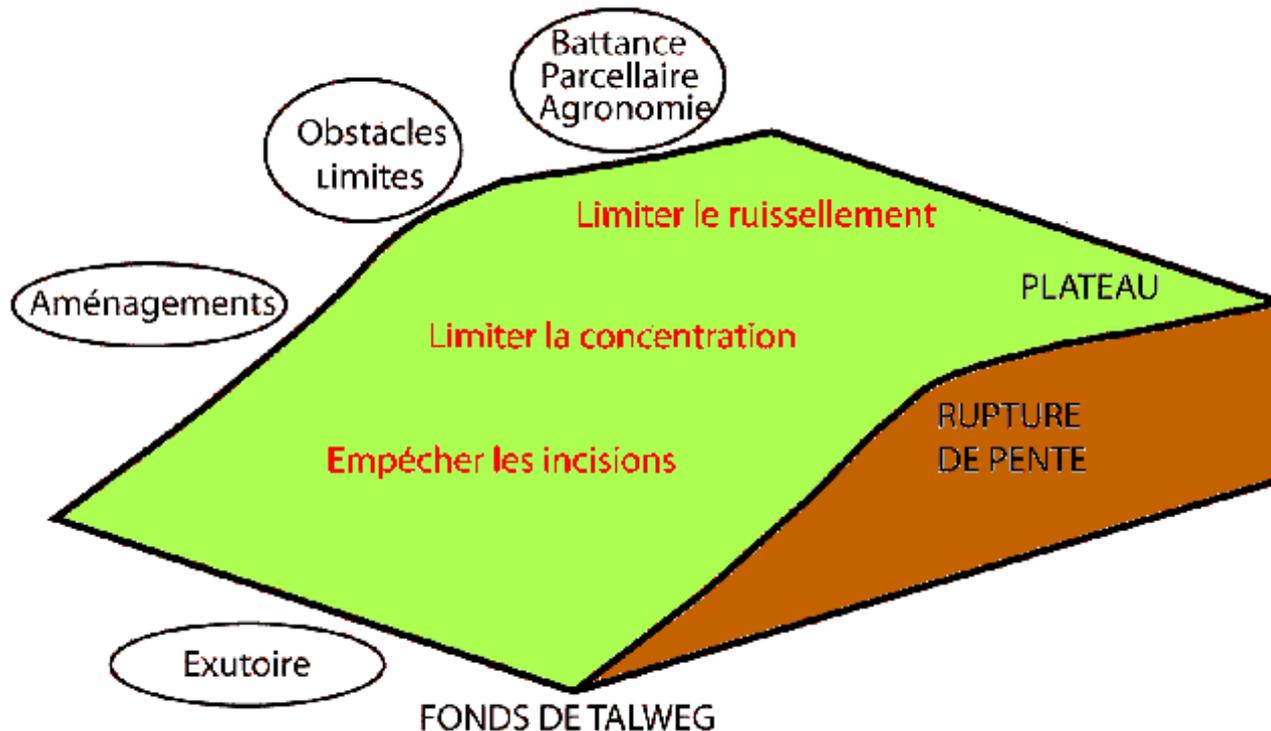


# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants

Dans les agrosystèmes, la réduction du ruissellement (et de l'érosion des sols) a été encouragée par les **mesures agri-environnementales** (réforme de la PAC, mai 1992)



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

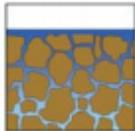
### Les dispositifs limitants



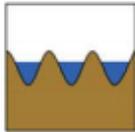
Protéger le sol contre l'impact érosif des gouttes de pluie



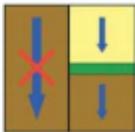
Maintenir ou augmenter la résistance du sol au détachement



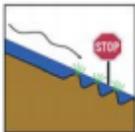
Augmenter la capacité d'infiltration du sol



Augmenter la rétention superficielle d'eau à la surface du sol



Réduire les volumes d'eau de ruissellement en limitant les longueurs de pente



Ralentir les eaux de ruissellement



Conduire les eaux de ruissellement sans provoquer d'érosion

# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants



**Ray-grass**

Eviter que le sol soit mise à nu



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants



Eviter que le sol soit mise à nu



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants



Eviter que le sol soit mise à nu

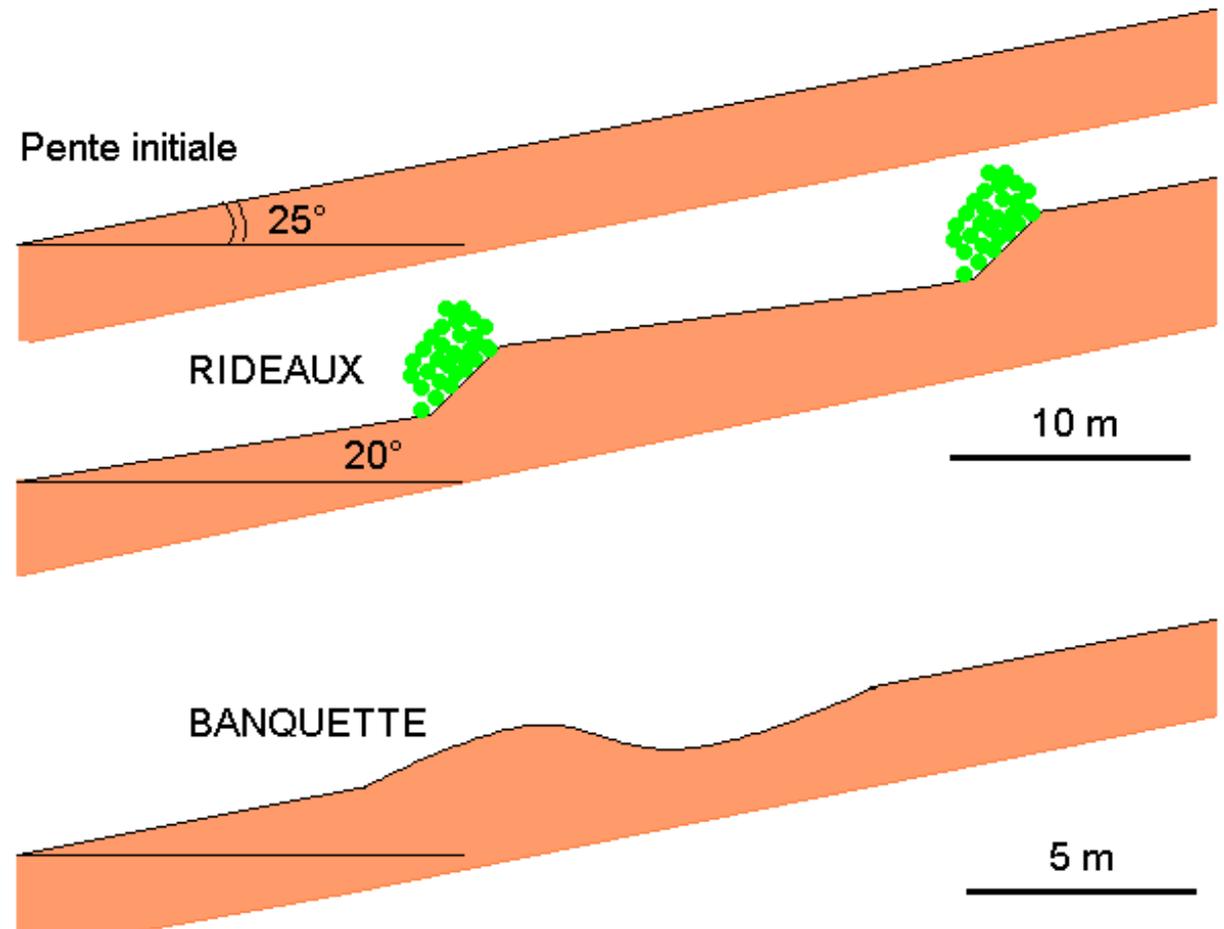
Epandage de paille ou d'écorce

# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants

Correction du profil  
des versants



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants



Correction du profil  
des versants



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants



Correction du profil  
des versants  
Culture en terrasses

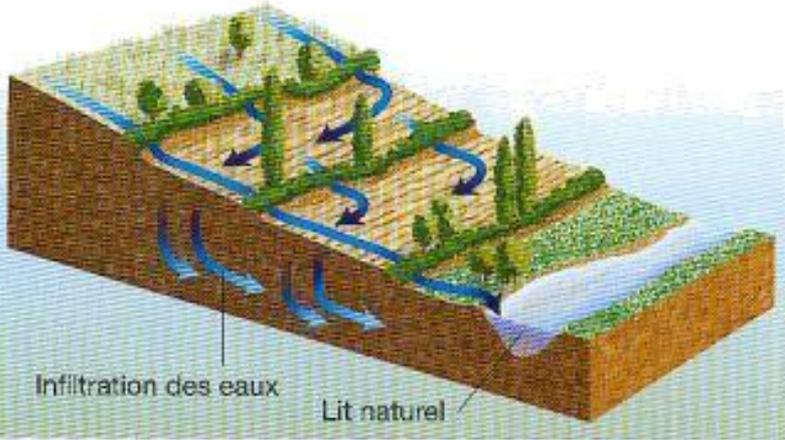


# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants

Mise en place de haies



Cultures traditionnelles en terrasse sur un terrain en pente

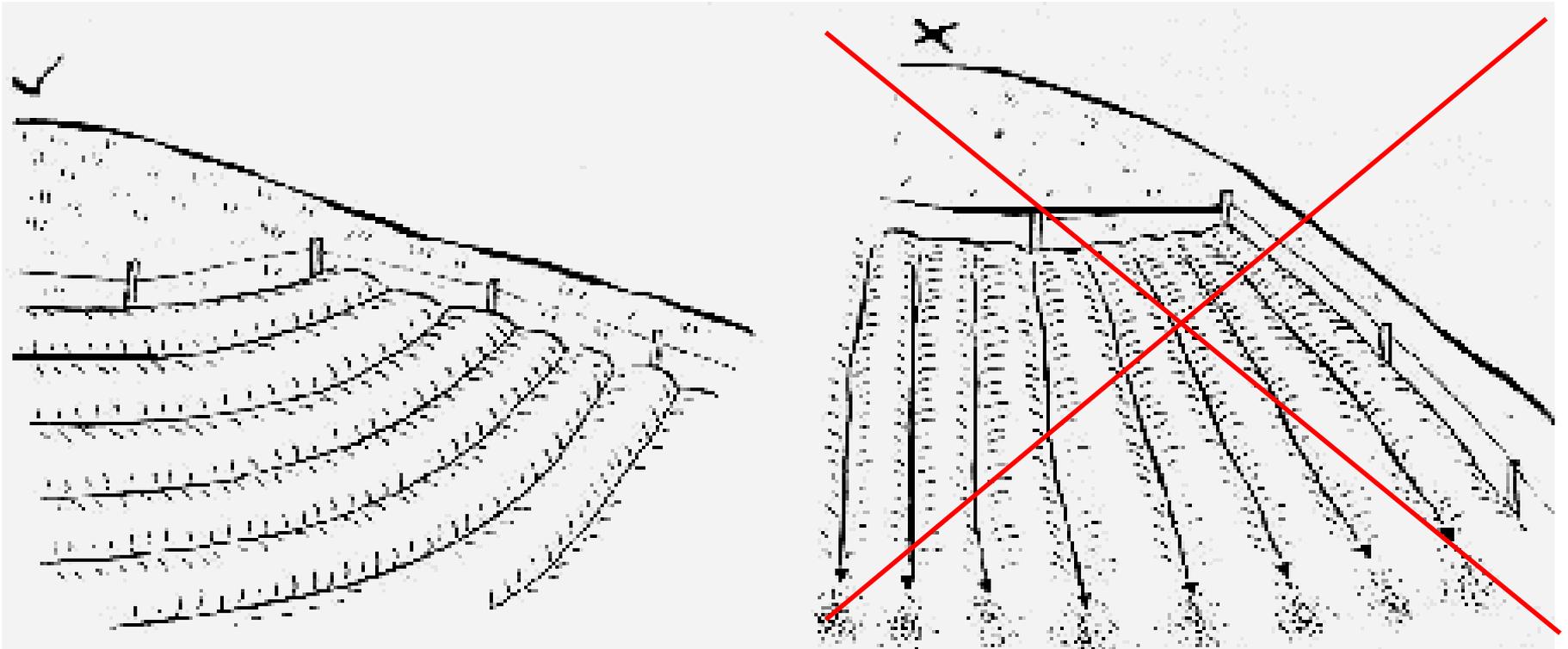


# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants

Labourer  
perpendiculairement à  
la pente



# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants



Cultiver en bandes où alternent des espèces qui:

- n'ont pas les mêmes rythmes de croissance
- n'ont pas les mêmes dates de récolte

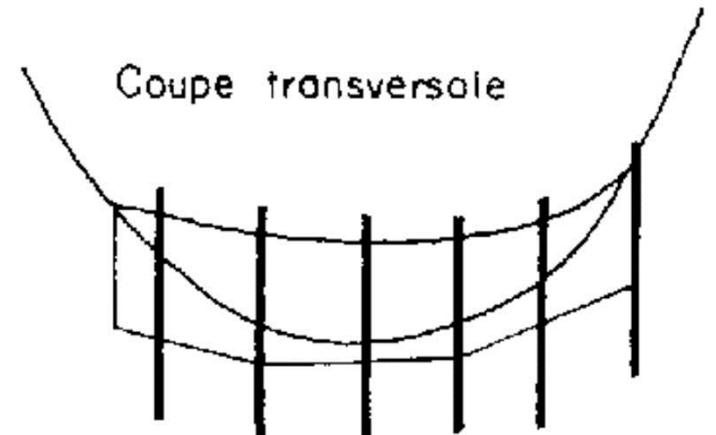
# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

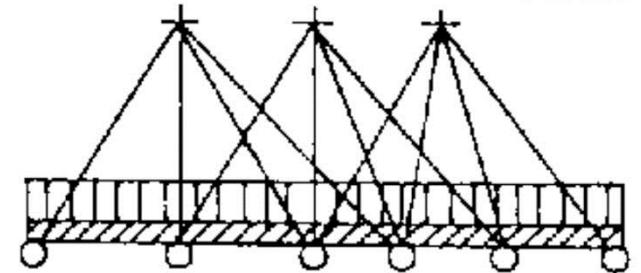
### Les dispositifs limitants



Casser les flux



Tendeurs : fer à béton de 12mm



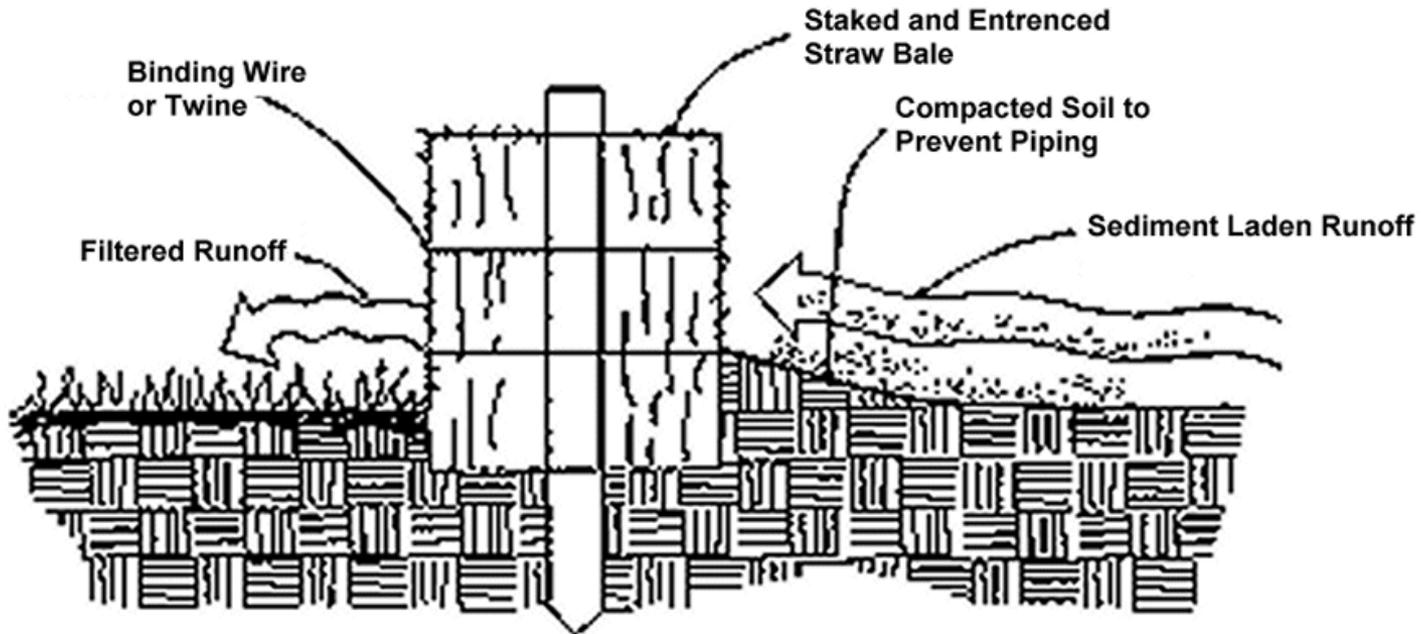
Fers cornières (l = 2,5 m)

# Les écoulements

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants

Casser les flux



# Les écoulements

Canaliser les flux

## Écoulements de surface : ruissellement

### Les dispositifs limitants



# Les écoulements

Écoulements de surface : ruissellement

Les dispositifs limitants



Retenir les flux



# Les écoulements

## Écoulements de subsurface ou hypodermique

