

# LES SOLS SONT :

- \* UNE RESSOURCE  
NON RENOUVELABLE  
TRÈS SOLLICITÉE

- \* UN SYSTEME  
MULTIFONCTIONS ET  
PAS SEULEMENT  
LE SUPPORT  
DES CULTURES

... mais avant tout,  
quelques bases indispensables

- Concepts
- Exemples
- Organisation
- Formation
- Constituants
- etc...





1. c'est quoi, un sol ?



...la surface sur laquelle on marche



# 1. c'est quoi, un sol ?



...une surface qui a des propriétés de volume



1. c'est quoi, un sol ?

...la terre arable

...le sous-sol





1. c'est quoi, un sol ?



...un matériau : la terre



1. c'est quoi, un sol ?

...un matériau : la terre (2)

Terre	Sol
Beefsteack	Boeuf
Brique	Maison
Cellule	Plante
Fonte	Moteur
etc...	etc...





1. c'est quoi, un sol ?

Sol argilo-calcaire  
Sol granitique  
Sol gréseux  
Marne  
Sol de graves  
...

...un terrain **géologique**

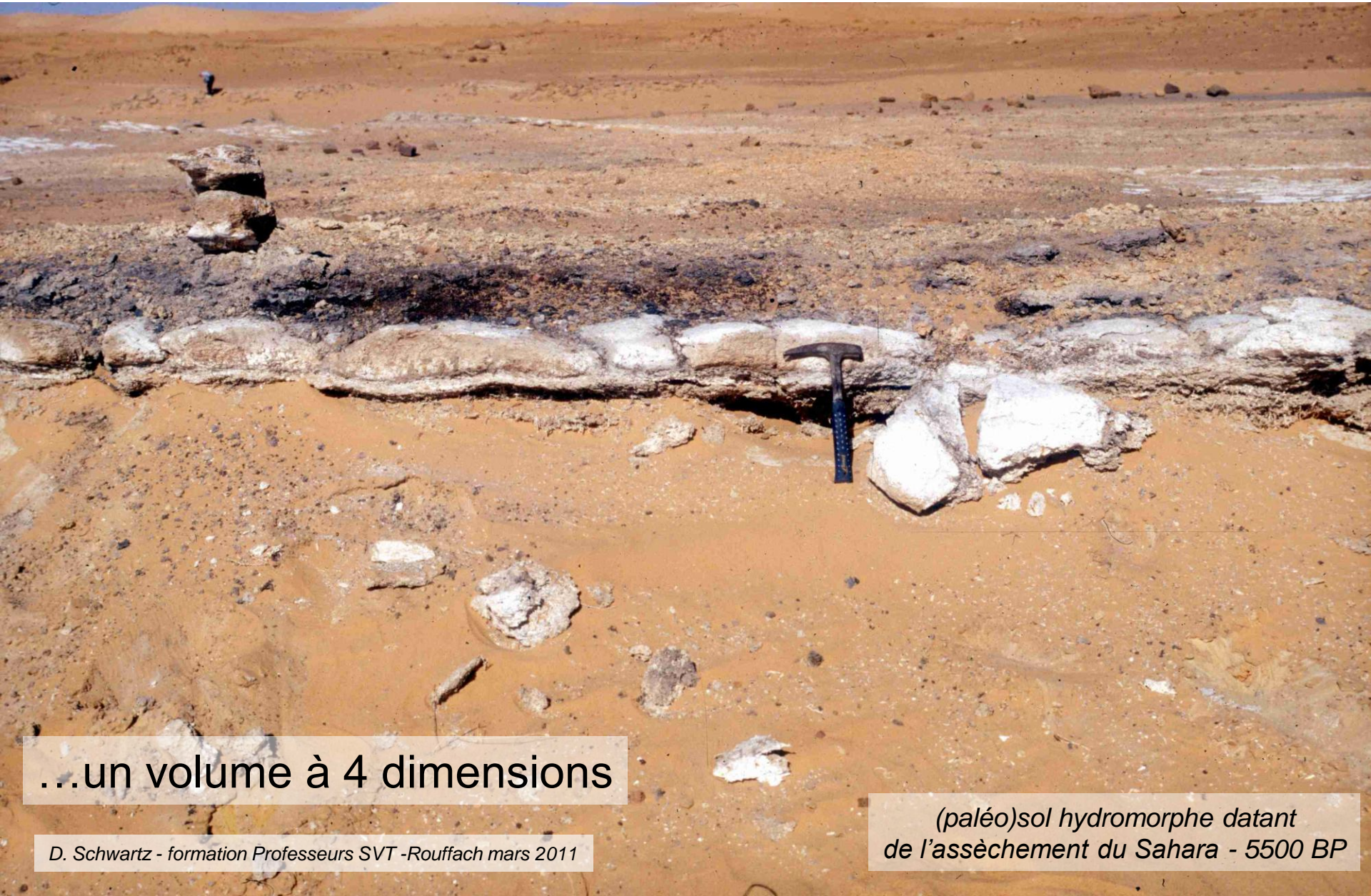


1. c'est quoi, un sol ?

...une paléo-surface (sol archéologique, paléosol)



# 1. c'est quoi, un sol ?



...un volume à 4 dimensions



# INTRODUCTION A LA PÉDOLOGIE - D. SCHWARTZ

*c'est quoi, un sol ?*

...un milieu vivant et évolutif  
à 4 dimensions

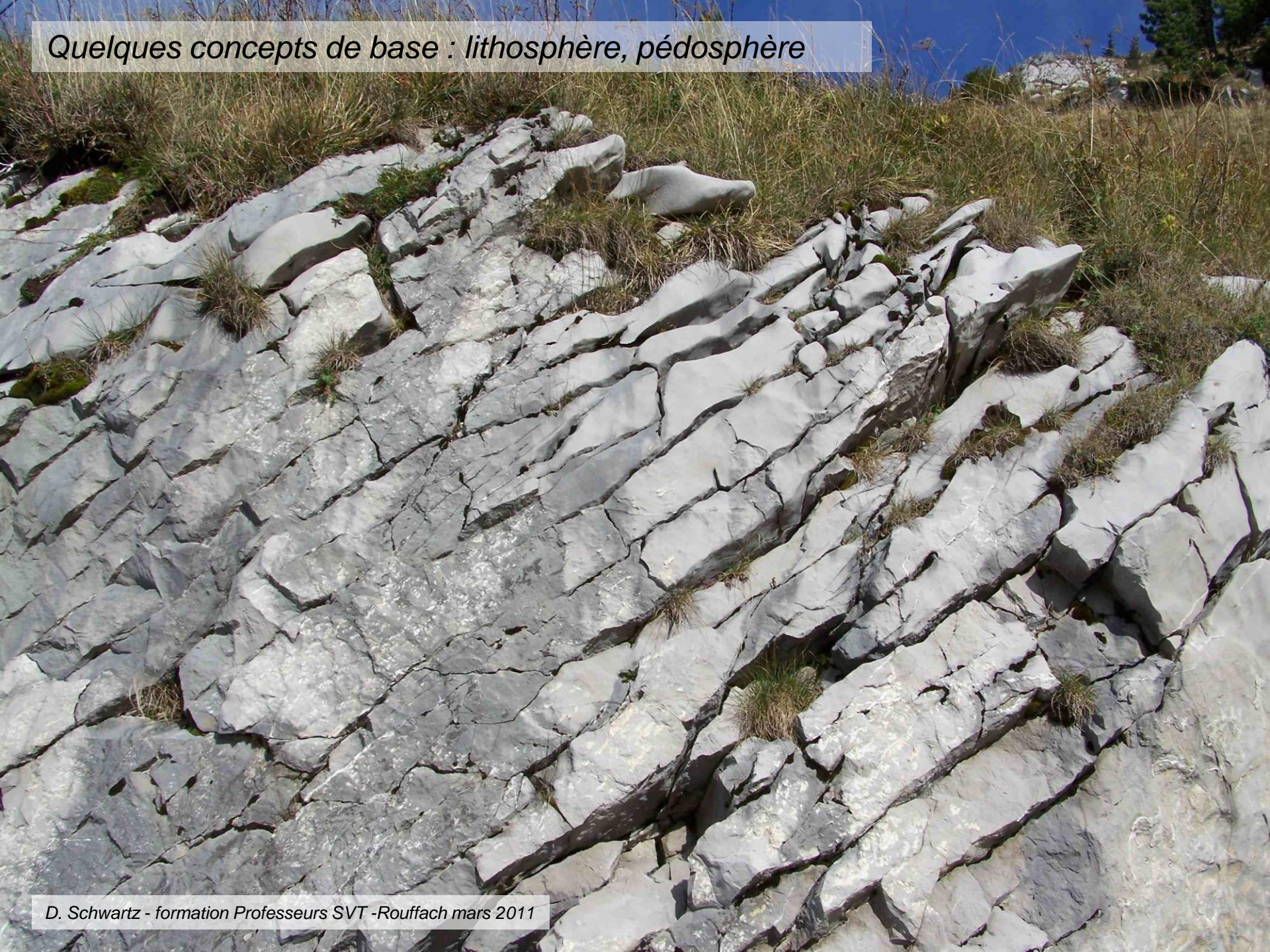
...un ensemble organisé, variant  
dans le temps et l'espace, formant  
une mince pellicule à l'interface  
entre lithosphère et atmosphère ;

Il résulte de l'altération, de la  
réorganisation et de transferts de  
matières par des processus  
biologiques, physiques et  
chimiques



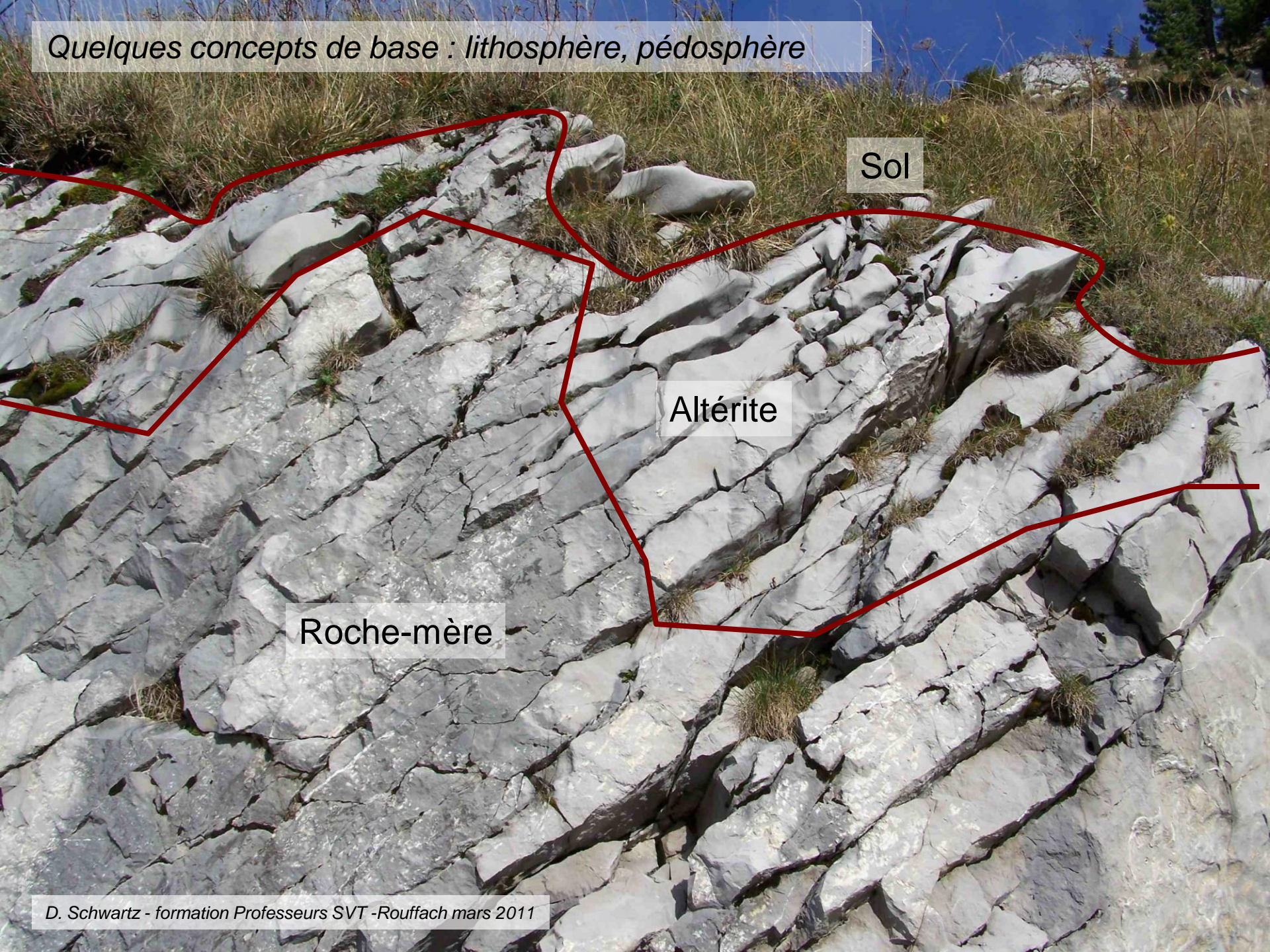


*Quelques concepts de base : lithosphère, pédosphère*





*Quelques concepts de base : lithosphère, pédosphère*



Sol

Altérite

Roche-mère



Dans une conception plus moderne

pédosphère

Sol

Altérite = Roche-mère

~~Roche-mère~~

Substratum

lithosphère

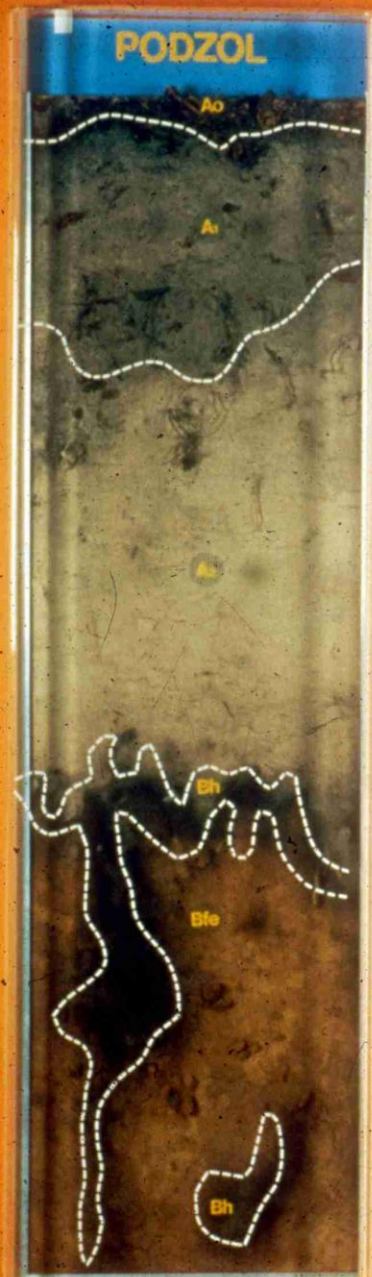


## *La diversité des sols : rendzine (**rendosol**)*

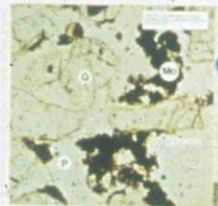




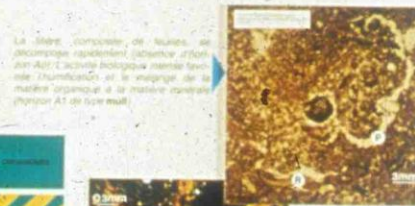
# La diversité des sols : podzol, sol brun lessivé (**podzosol**, **luvisol**)



## L'ALTERATION, LES TRANSFERTS ET LES ACCUMULATIONS CONTRIBUENT A LA DIFFERENCIATION DES HORIZONS ET DES SOLS

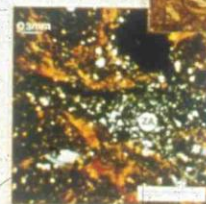
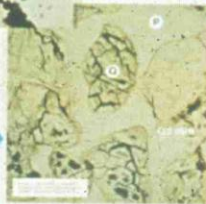


La liasse, composée d'aggrégats de résidus, se décompose rapidement et se présente en surface, choisis des. La liasse forme également les dépôts vides ou se trouve partiellement ou totalement décomposée (horizon A1 de type mod.)



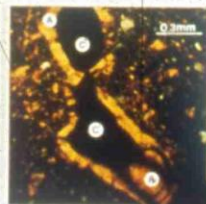
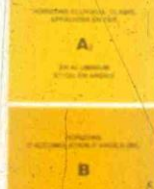
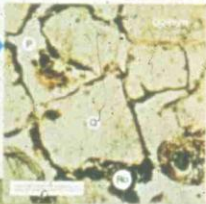
La liasse, composée de résidus, se décompose rapidement et se présente en surface, choisis des. La liasse forme également les dépôts vides ou se trouve partiellement ou totalement décomposée (horizon A1 de type mod.)

Le microbiote des champignons et des bactéries produit des composés organiques acides et complexes, qui contribuent à la formation de la liasse (horizon A1).

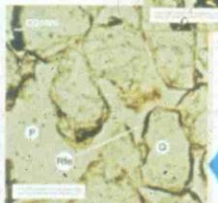


Les acides organiques des horizons A1 et A2 sont des produits de la décomposition de la liasse, mais ils sont aussi des produits de la liasse elle-même et leur présence contribue à la formation de la liasse (horizon A1).

Les complexes les plus riches en matière organique produisent d'abord des produits minéraux (horizon B1).



Les argiles, entrainées par les produits de la liasse, se déposent dans les horizons B1 et B2, où elles contribuent à la formation de la liasse (horizon A1).



Plus profondément, les complexes organiques du fer et de l'aluminium précipitent autour des grains minéraux (argiles, B1 et B2), pour former la liasse (horizon A1).



LE TRANSFERT, SOUS FORME SOLUBLE, DE MATIERE ORGANIQUE, DE FER ET D'ALUMINIUM, PUIS LEURS ACCUMULATIONS SUCCESSIVES, CONTRIBUENT A LA DIFFERENCIATION DE CE PODZOL HUMO-FERRUGINEUX SUR SABLES QUARTZEUX.

LE TRANSFERT, SOUS FORME PARTICULAIRE, PUIS L'ACCUMULATION D'ARGILES CONTRIBUENT A LA DIFFERENCIATION DES HORIZONS DE CE SOL BRUN LESSIVE SUR LIMONS CALCAIRES.





*La diversité des sols : sol hydromorphe à gley oxydé (**réductisol**)*





*La diversité des sols :  
sol hydromorphe organique  
(**histosol**)*





## *La diversité des sols : podzol tropical (**podzosol**)*





# LA DESCRIPTION DES SOLS

## *La notation des horizons*

A

E

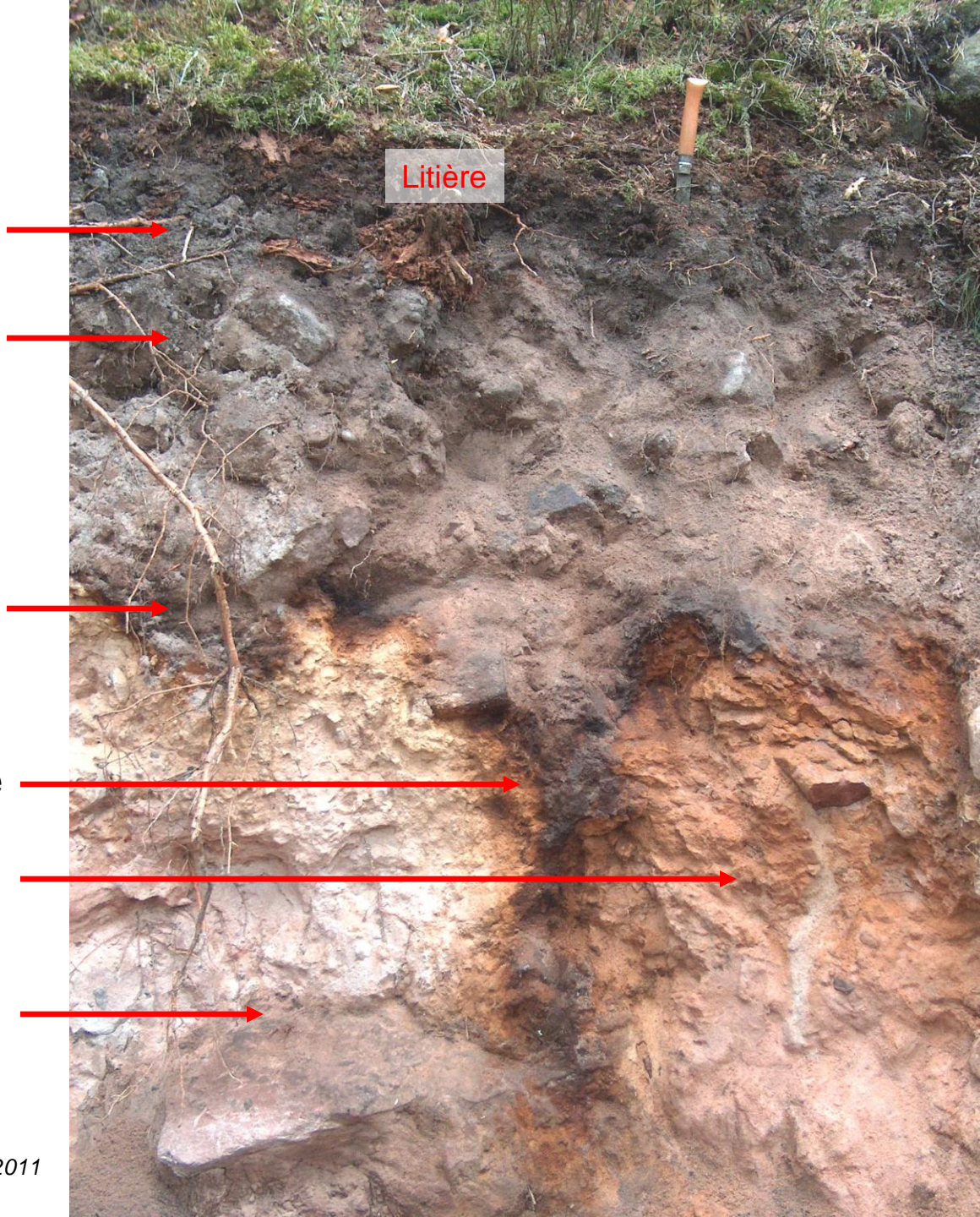
Bh

Bfe

C

D

Litière





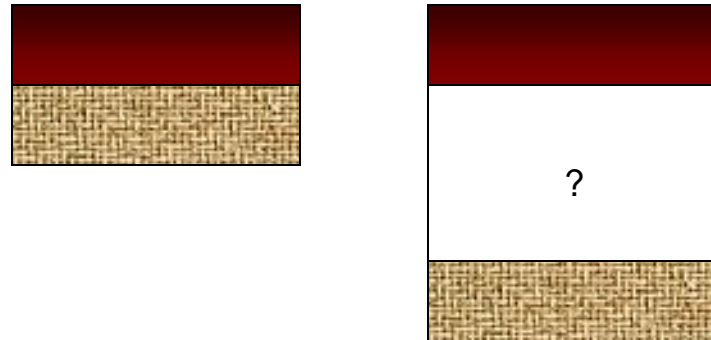
# LA DESCRIPTION DES SOLS

## *Les horizons majeurs*

Deux horizons systématiquement présents :



Deux cas de base :



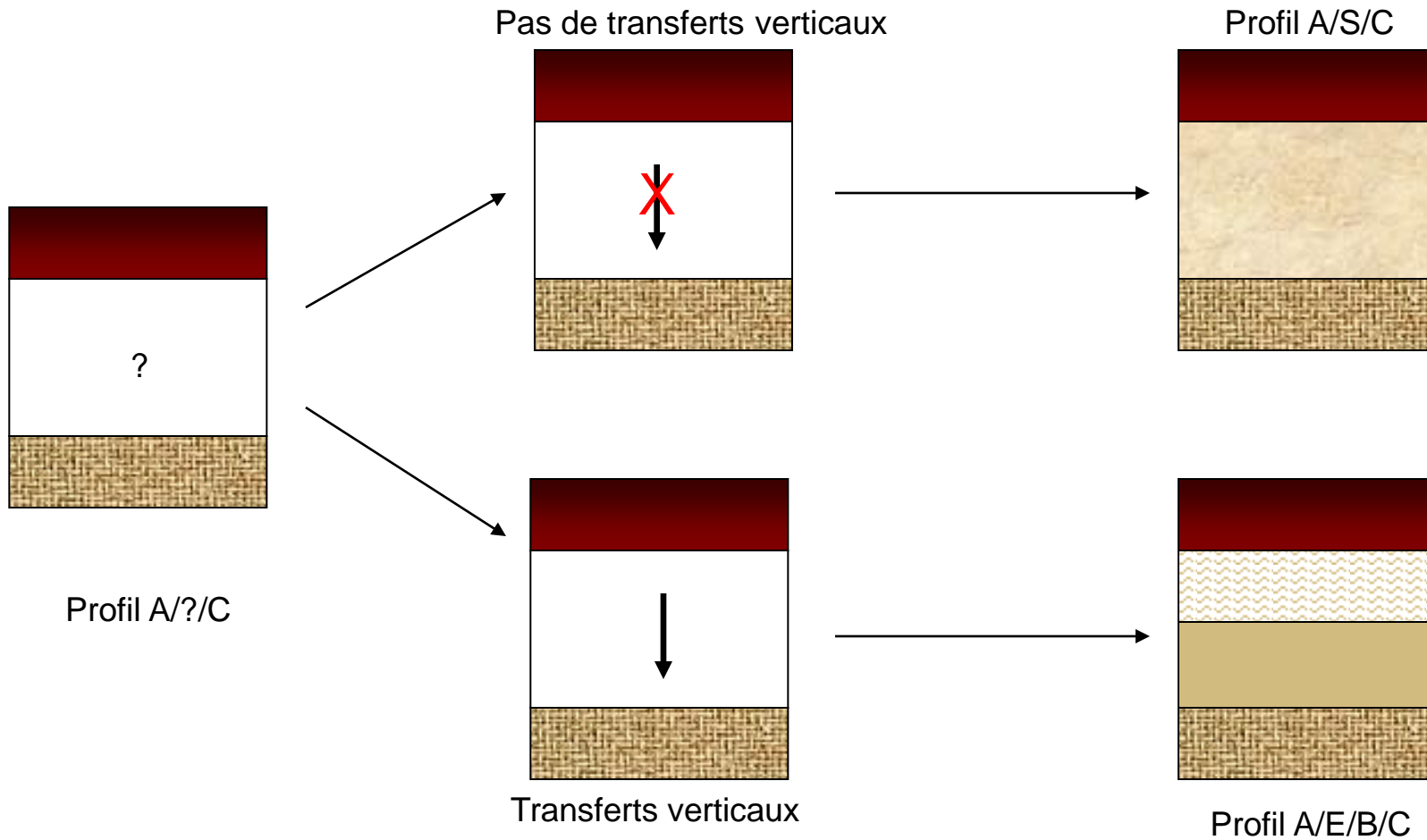
Profil A/C

Profil A/?/C



# LA DESCRIPTION DES SOLS

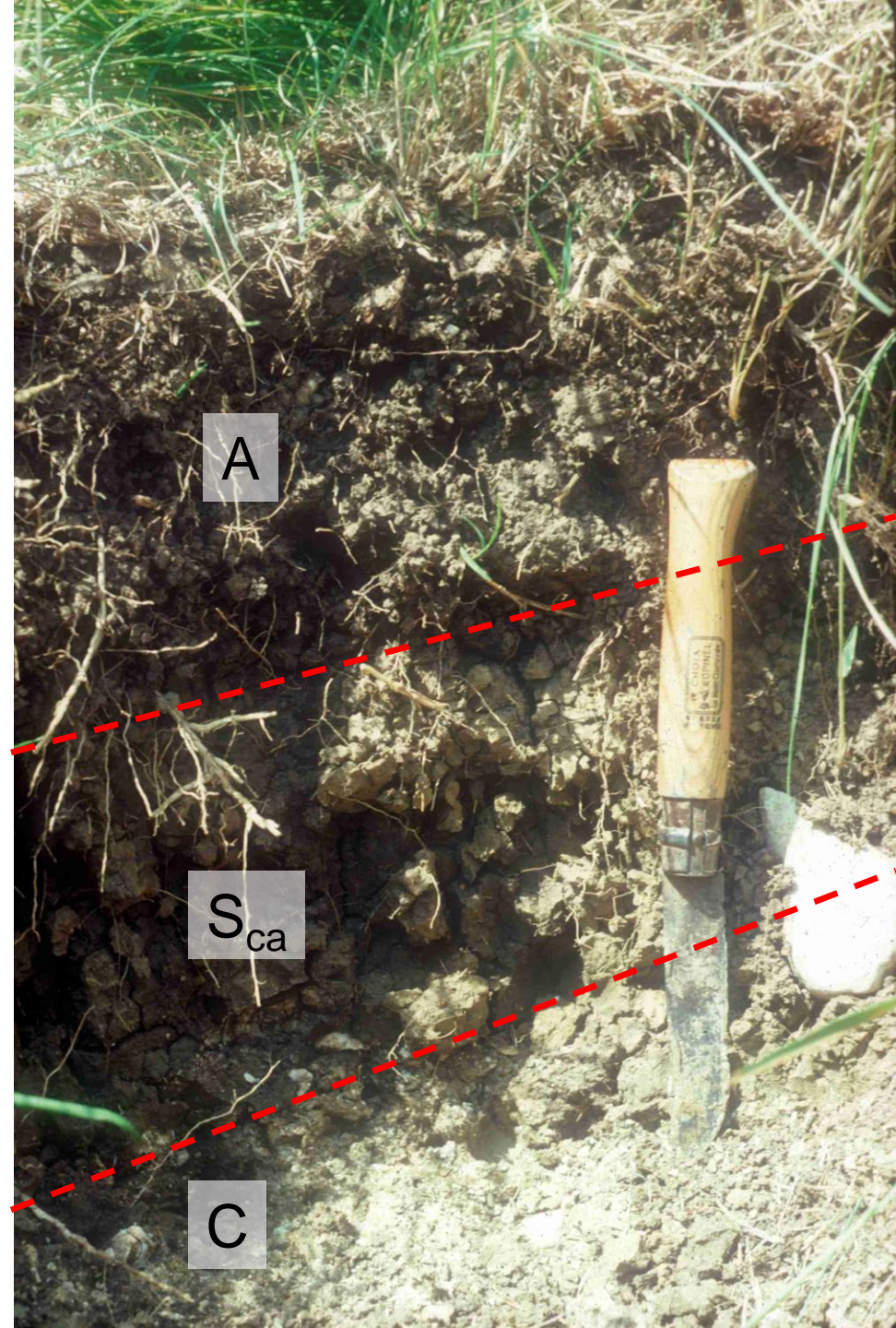
## *Les horizons majeurs*





# LA DESCRIPTION DES SOLS

## *Les horizons majeurs (exemples)*

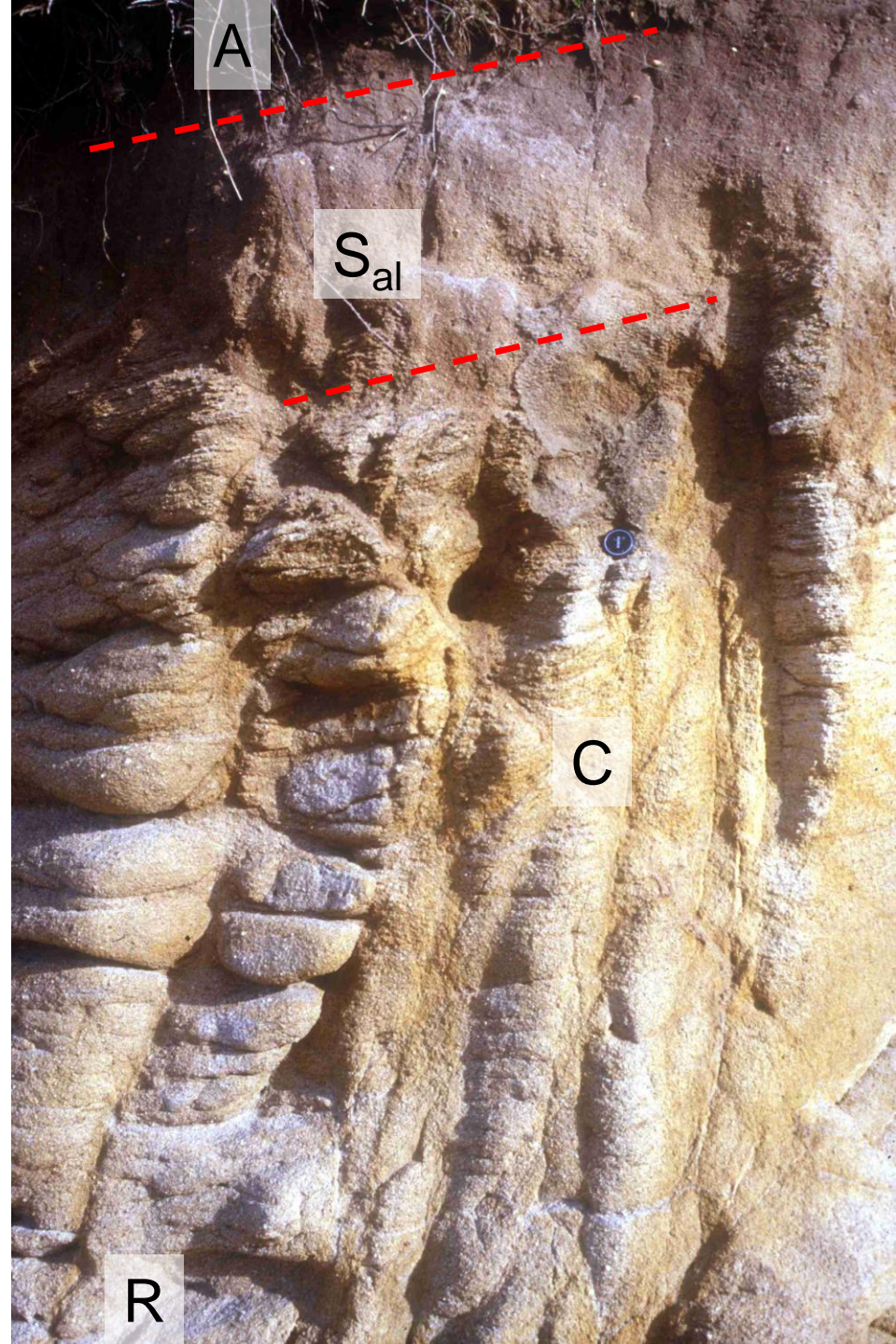




# LA DESCRIPTION DES SOLS

## *Les horizons majeurs (exemples)*

### II - les horizons majeurs





# LA DESCRIPTION DES SOLS

## *Les horizons majeurs (exemples)*





# Comment se forme un sol ?

## 1 : la fragmentation



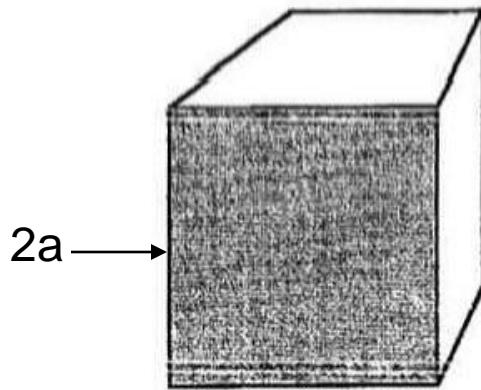


# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

*Comment se forme un sol ?*

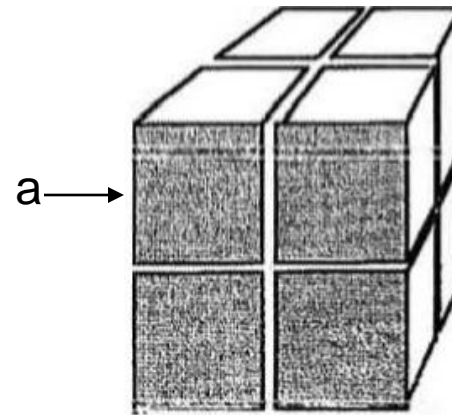
## UN PRÉLIMINAIRE INDISPENSABLE : LA FRAGMENTATION

1 cube d'arête  $2a$



Surface totale :  $6 \times (2a)^2 = 24a^2$

8 cubes d'arête  $a$



Surface totale :  $8 \times (a)^2 = 48a^2$

Doublement de la surface d'échange pour un même volume

→ Facilite les réactions entre deux phases (solide et liquide)



# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

*Un préliminaire indispensable : la fragmentation*

Joints de stratifications

Diaclases, fissures, failles

**Facteurs géologiques**

Escarpement

Formations de pente

**Facteurs géomorphologiques**





# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

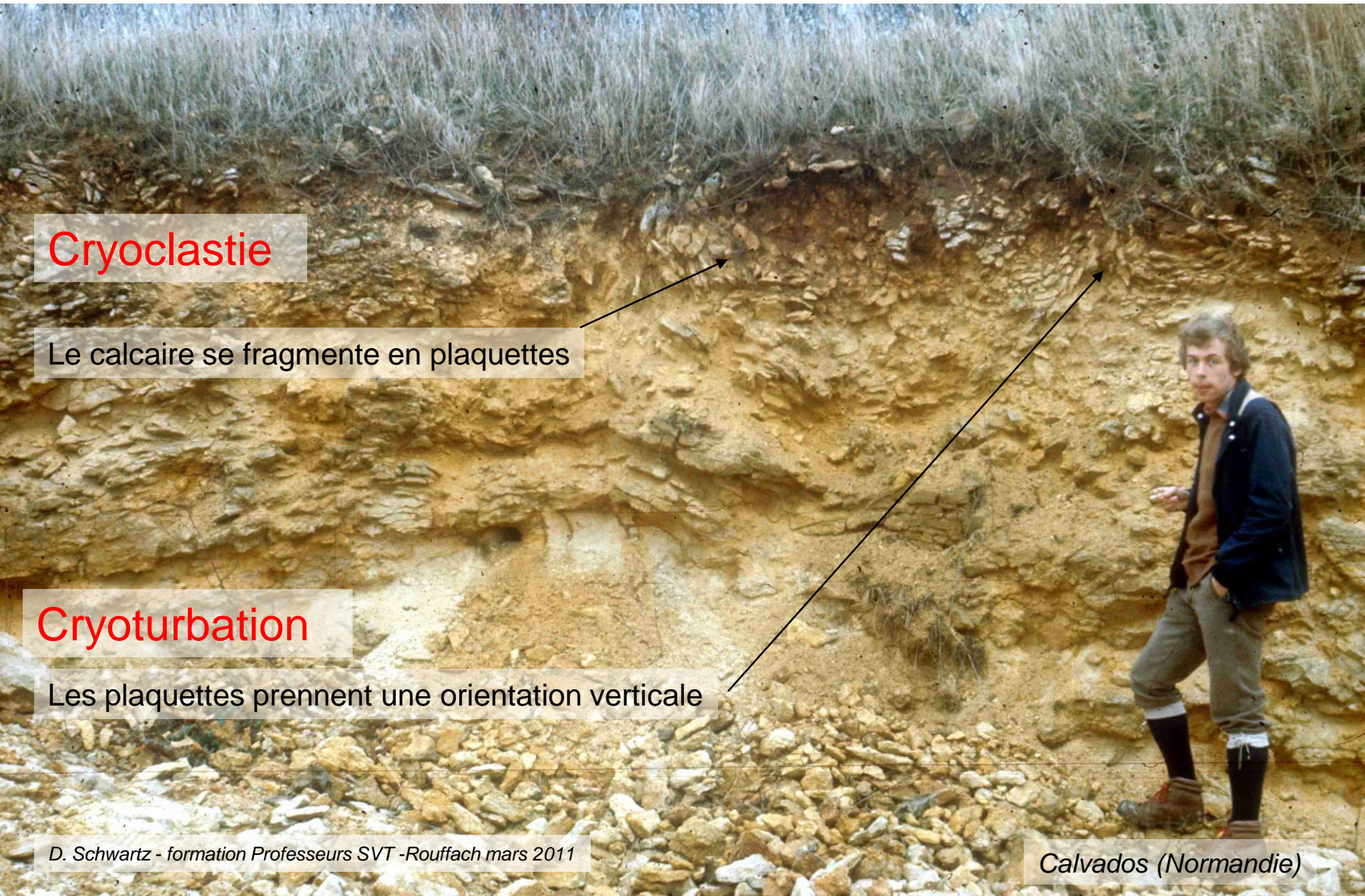
*Un préliminaire indispensable : la fragmentation*

**Cryoclastie**

Le calcaire se fragmente en plaquettes

**Cryoturbation**

Les plaquettes prennent une orientation verticale





# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

*Un préliminaire indispensable : la fragmentation*



Bioclastie





# Comment se forme un sol ?

## 2 : les étapes préliminaires

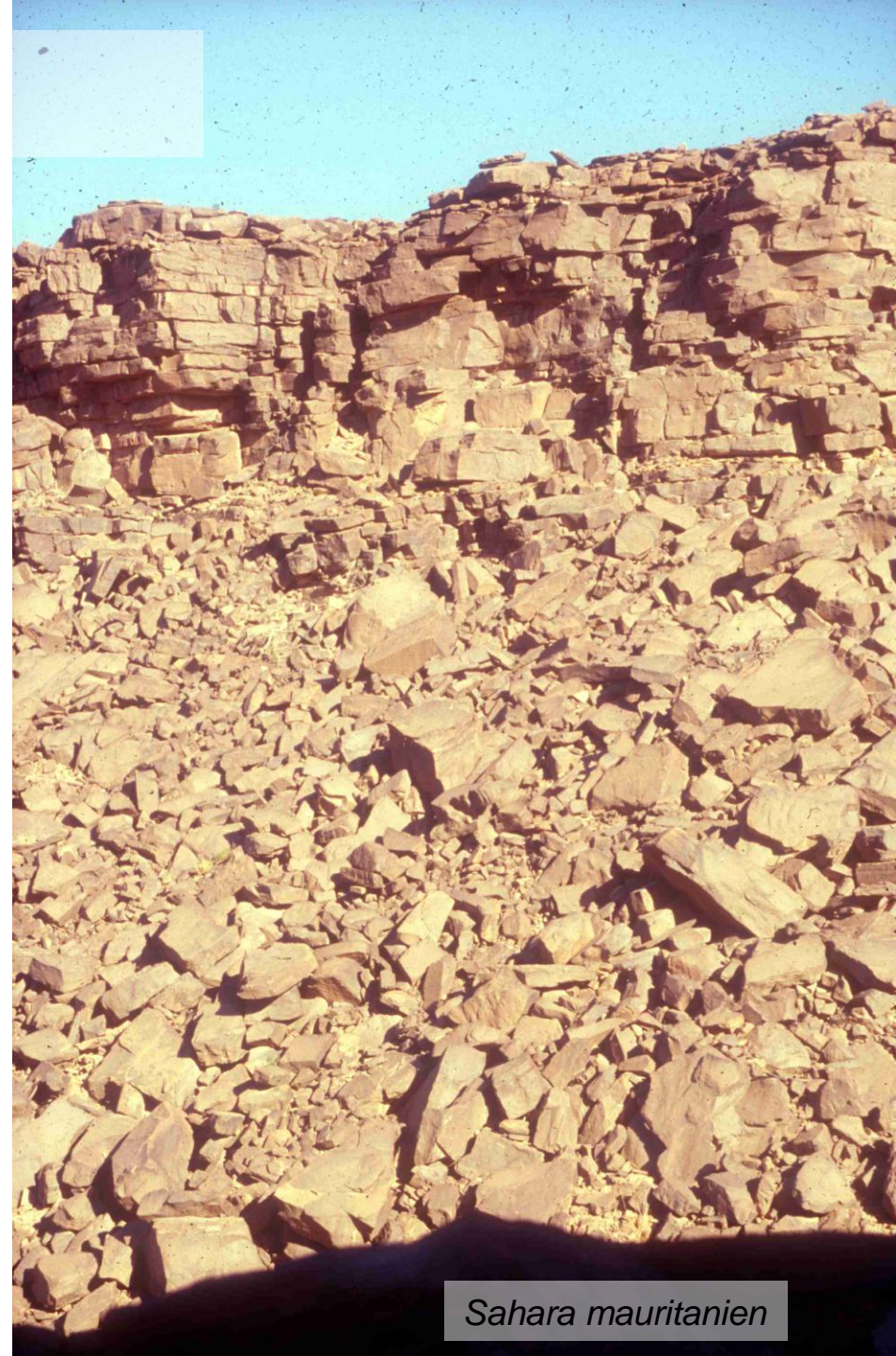




# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les phases préliminaires*

### Action algaire

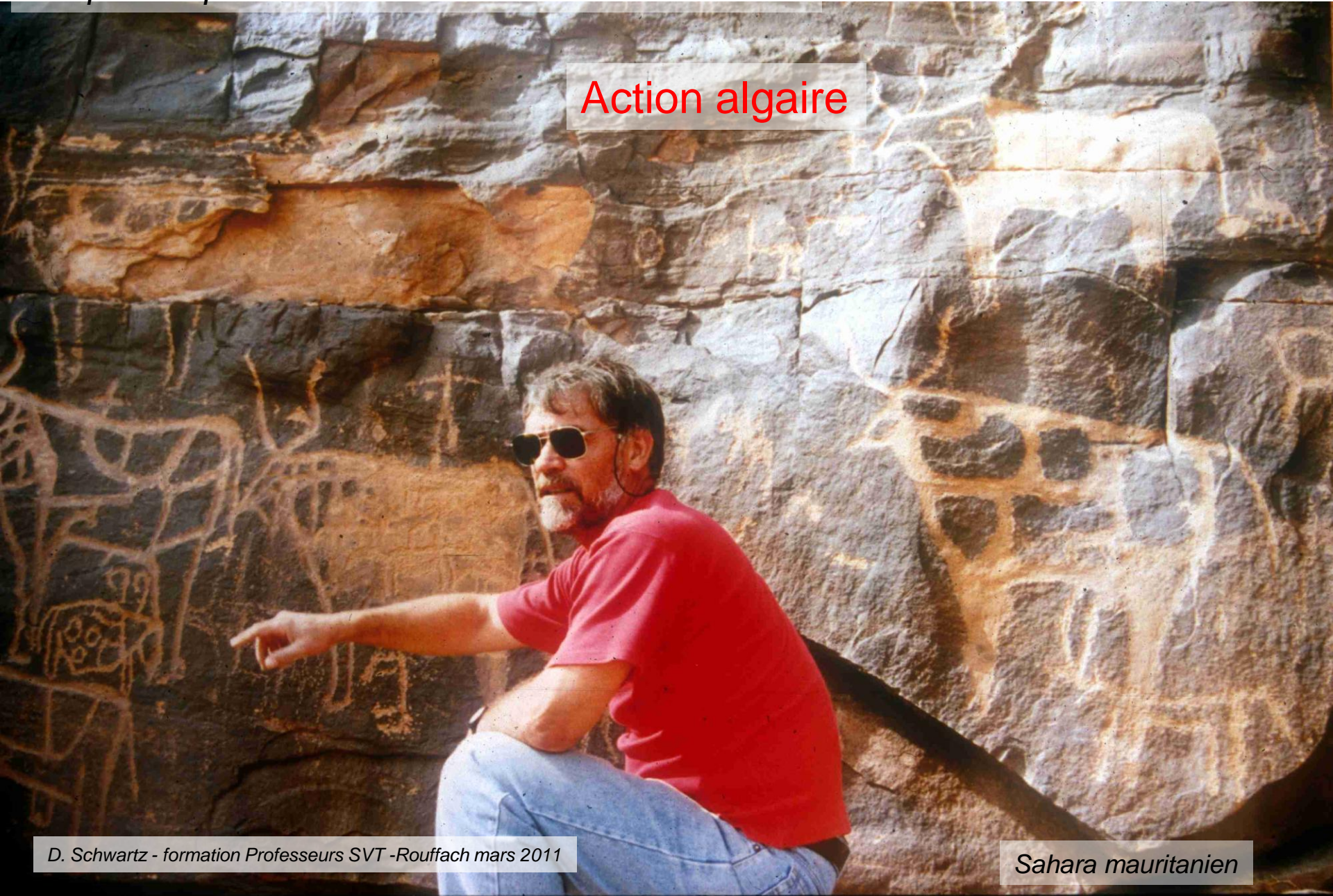




# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les phases préliminaires*

Action algale





# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les phases préliminaires*

Action algale





# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les phases préliminaires*

Action algale





# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE - D. SCHWARTZ

## *Les phases préliminaires*

Action des lichens



# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les premières étapes*





# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les premières étapes*





# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les premières étapes*





# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les premières étapes*

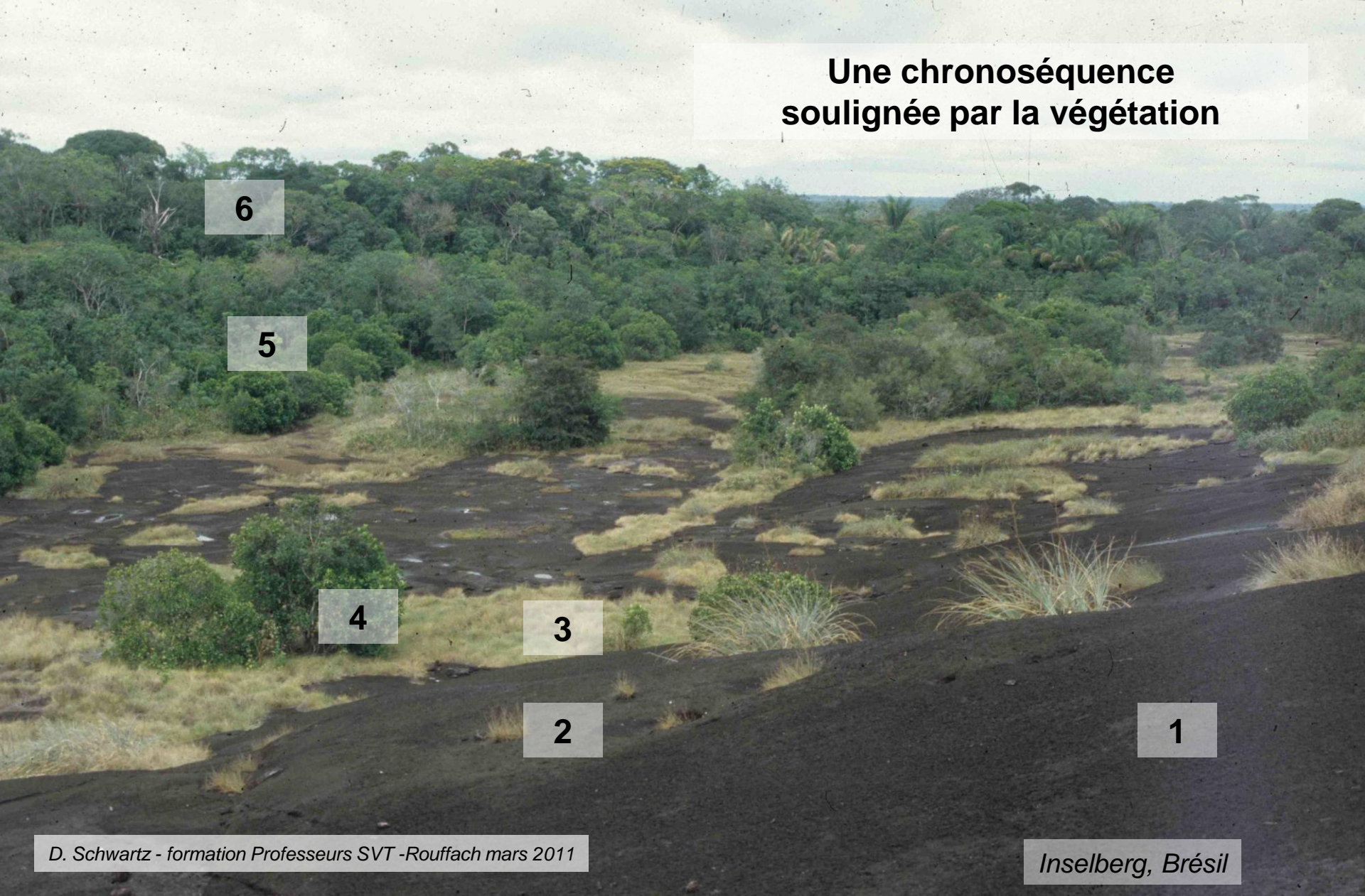




# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les premières étapes*

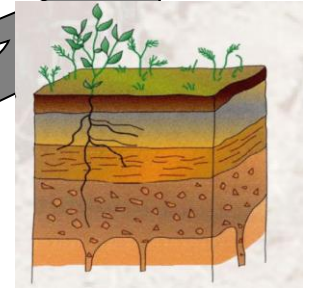
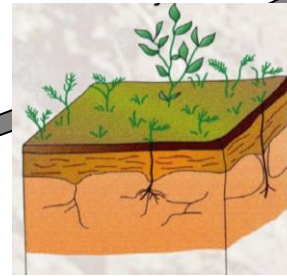
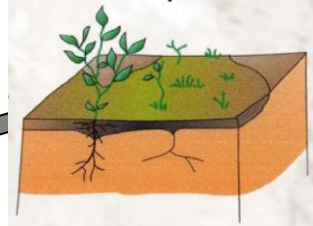
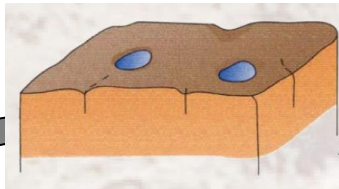
**Une chronoséquence  
soulignée par la végétation**





# T

### Une chronoséquence



## Le sol, un volume à 4 dimensions



# Comment se forme un sol ?

## 3 : les facteurs de la pédogenèse





### 1 - héritages de la roche-mère

- couleur du sol (si roche riche en fer et/ou sol jeune)
- orientation de l'altération (sables, calcaire,...)
- héritage de caractères physiques (granulométrie,...)
- héritage de caractères chimiques (fonds géochimique)
- épaisseur

*Sol brun calcique sur marnes irisées du Keuper Jura, près d'Arbois*



# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les facteurs de la pédogenèse*

## 2 - le climat



### le gel

- fragmentation
- mouvements au sein du sol
- mouvements en surface



### les températures

- fragmentation
- réactions chimiques

(valeurs, amplitudes, durée de la saison chaude)



### les précipitations

- le gel (cf. supra)
- réactions chimiques

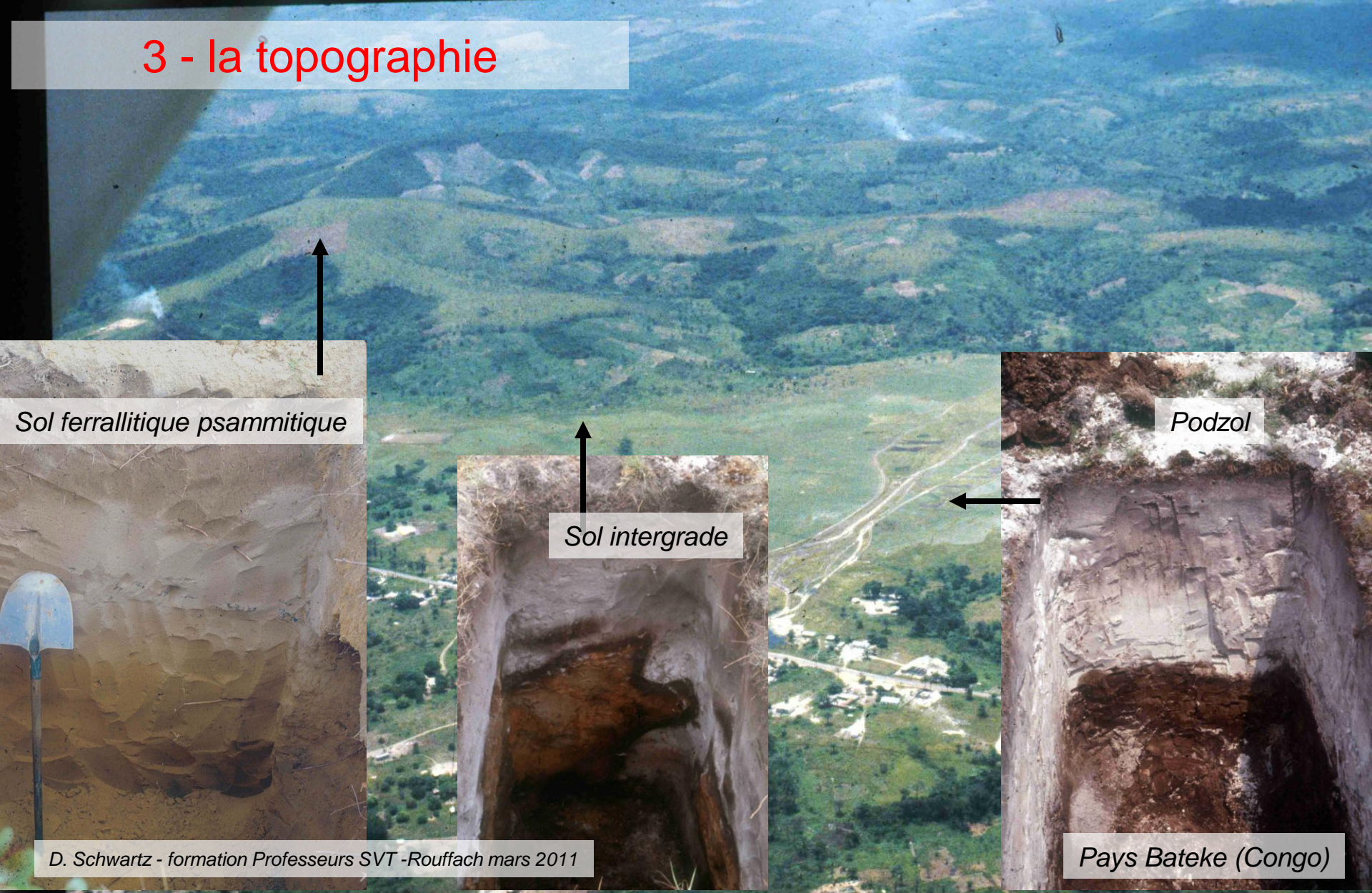
(valeurs, intensités, durée de la saison pluvieuse)



# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les facteurs de la pédogenèse*

### 3 - la topographie

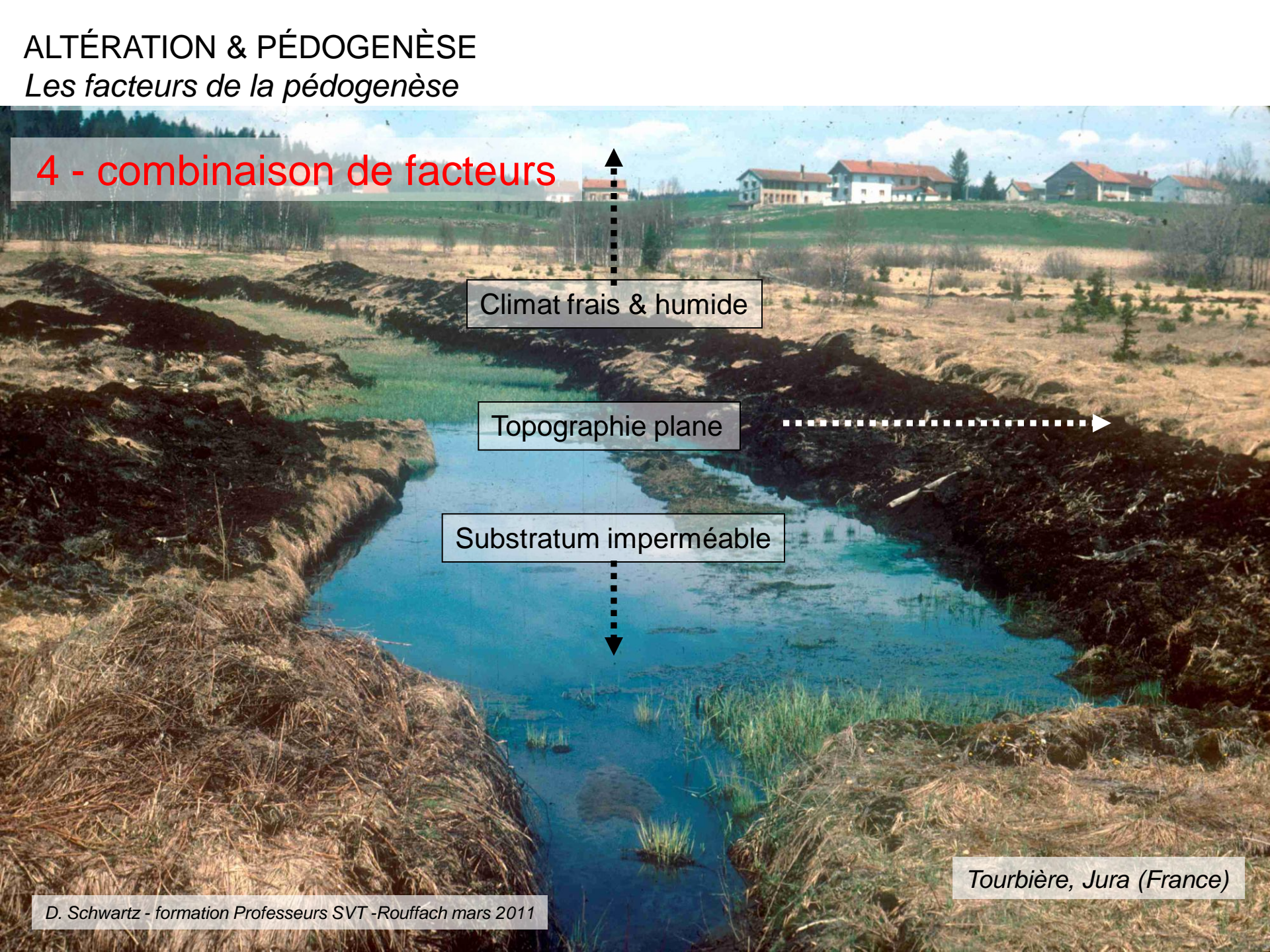




# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les facteurs de la pédogenèse*

### 4 - combinaison de facteurs



Climat frais & humide

Topographie plane

Substratum imperméable

*Tourbière, Jura (France)*

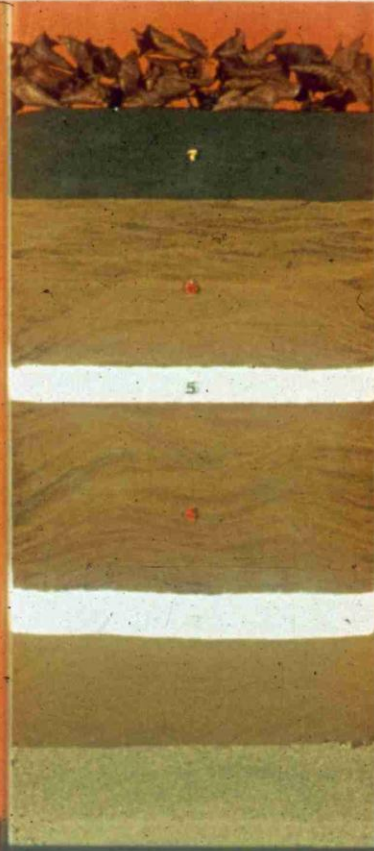


# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## Les facteurs de la pédogenèse

## 5 - les facteurs biologiques

A



B

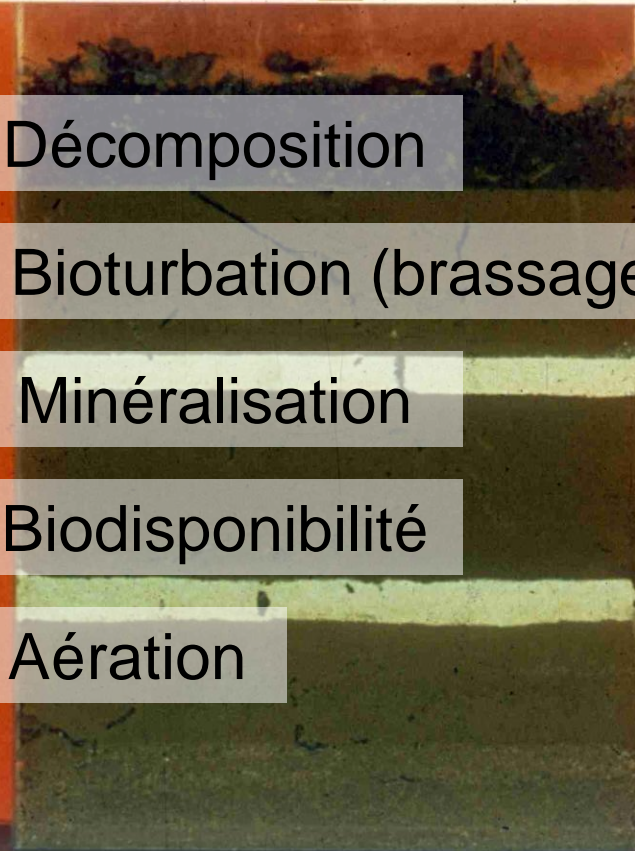
Décomposition

Bioturbation (brassage)

Minéralisation

Biodisponibilité

Aération



C



### ETAT INITIAL

Sol artificiel constitué par la superposition de différents matériaux

- 1: sables grossiers
- 2: limon calcaire
- 3 et 4: argile limoneuse
- 5: limon humifère
- 6: feuilles mortes

### ACTION DES VERS DE TERRE

Même sol que A, humidifié (plan d'eau maintenu au niveau des sables grossiers (1)).  
Les vers de terre sont introduits depuis cinq jours.

L'action des vers de terre provoque:  
- le creusement des galeries - augmentation de la porosité et de la perméabilité - meilleure circulation de l'eau et de l'air  
- le mélange de matériaux différents  
- la remontée de matériaux et la création d'une structure granuleuse en surface.

Ce travail mécanique correspond à un "labour biologique".

En plus de leur action mécanique, les vers de terre ont également une action chimique (répon-

Même sol que A, humidifié

Les vers de terre sont introduits depuis un mois.

Expérience en terrarium  
(Palais des Découvertes, Paris)



# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les facteurs de la pédogenèse*

### 5 - les facteurs biologiques





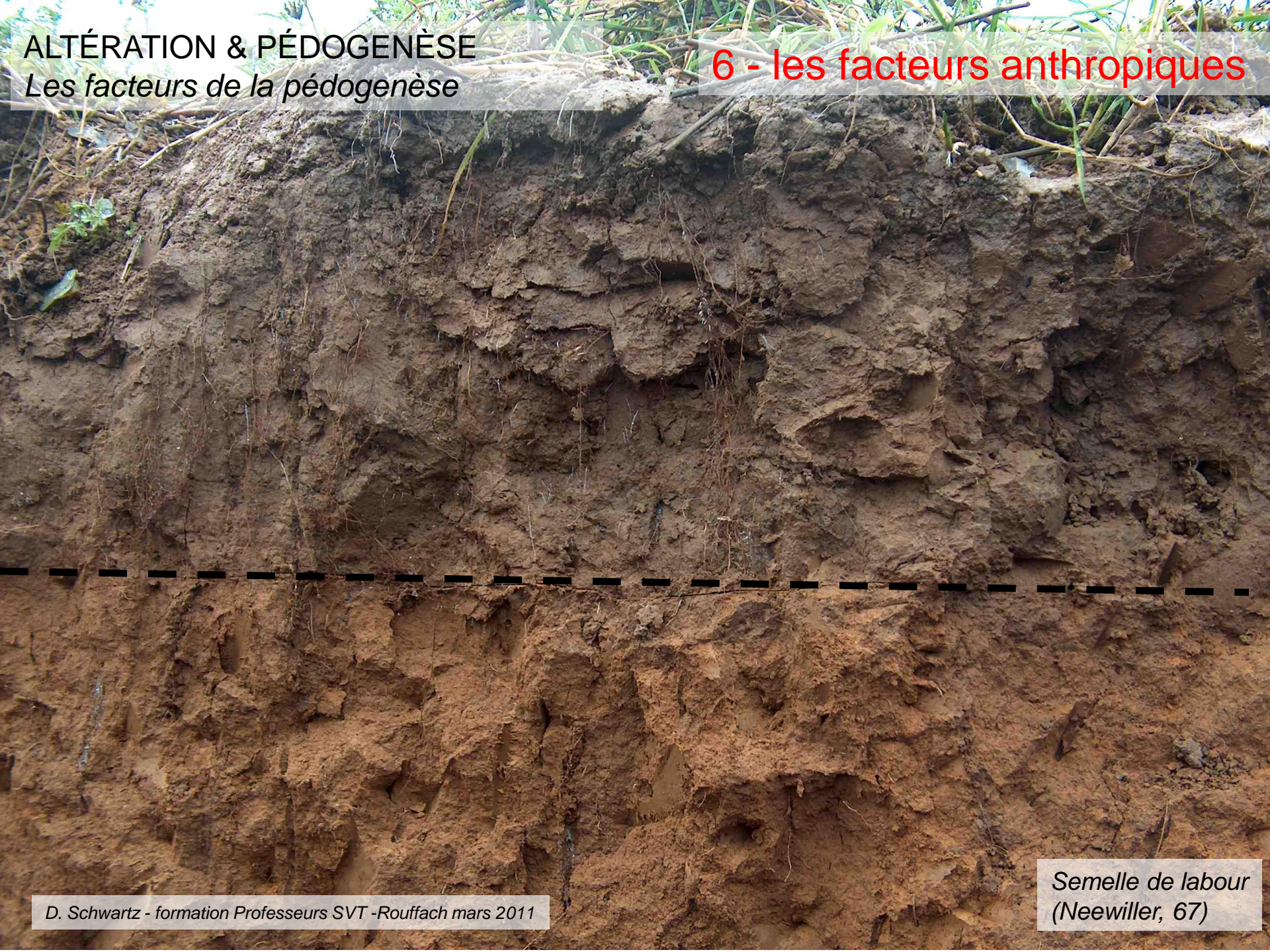
# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les facteurs de la pédogenèse*

### 6 - les facteurs anthropiques





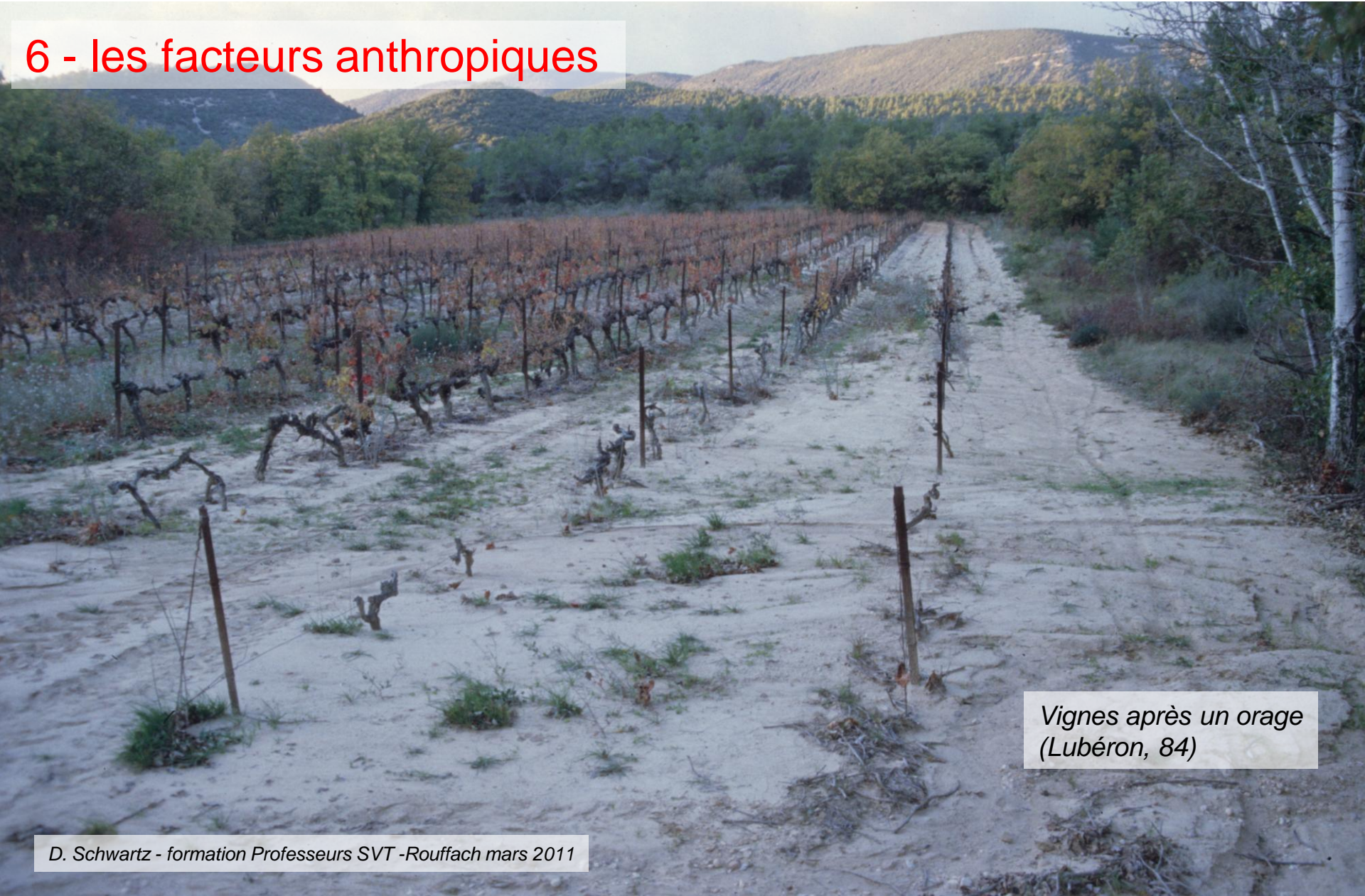




# ALTÉRATION & PÉDOGENÈSE

## *Les facteurs de la pédogenèse*

### 6 - les facteurs anthropiques



*Vignes après un orage  
(Lubéron, 84)*



# Les constituants du sol

## **Quatre phases** (états de la matière)

- \* Une phase gazeuse
- \* Une phase liquide
- \* Une phase solide
- \* Une phase vivante





# Les constituants du sol

## Une répartition pondérale très inégale

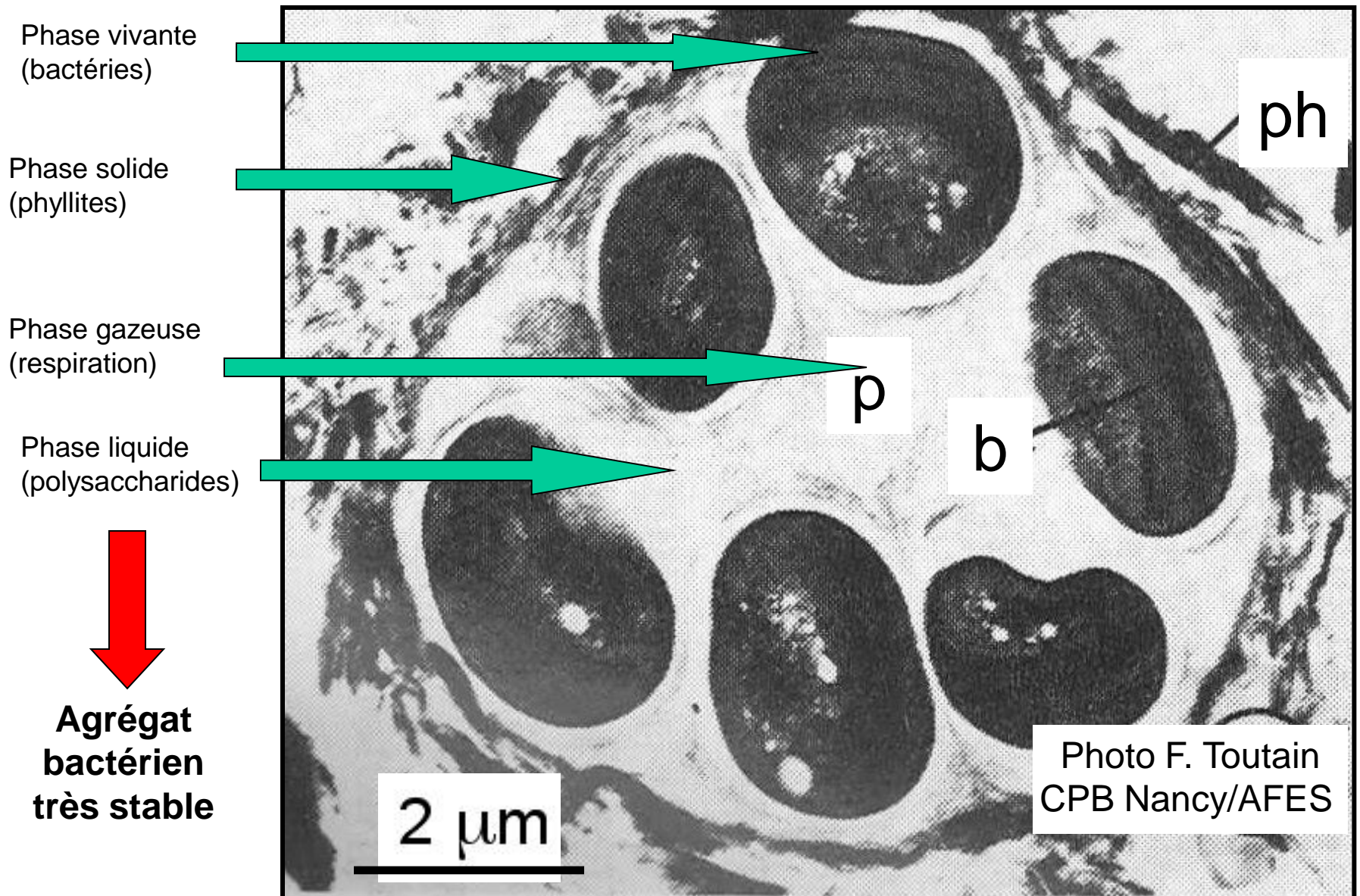
Dans un sol de 1m d'épaisseur, de densité apparente 1,25 et avec 20 % d'humidité, il y a :

- \* 3,75 t/ha de gaz
- \* 2500 t/ha d'eau
- \* 12500 t/ha de terre
- \* dont 200t de matière organique
- \* 12 t/ha d'êtres vivants





# Ces 4 phases sont étroitement interdépendantes





# Les constituants du sol

## La phase gazeuse : composition

### Dans l'atmosphère :

20,96 % de  $O_2$

0,04 % de  $CO_2$

78 % de  $N_2$

1 % de divers ( $O_3$ ,  $H_2O$ ,...)

### Dans le sol :

10 - 20 % de  $O_2$

1 - 10 % de  $CO_2$

78 % de  $N_2$

1 % de divers ( $O_3$ ,  $H_2O$ ,...)

La différence concerne le rapport  $O_2/CO_2$

Relation directe avec l'activité biologique

Il y a une autorégulation





# Les constituants du sol

## La phase liquide

La teneur en eau des sols est très variable

### Facteurs de variations :

Climat  
Conditions météorologiques  
Antécédents météorologiques

Végétation et ETP  
Pente

Granulométrie  
Structure  
Epaisseur  
Pierrosité  
Porosité  
Vitesse d'infiltration

.....

Les variations sont inverses de celles de la phase gazeuse





# Les constituants du sol

## La solution du sol

L'eau des sols abordée sous l'angle chimique

**Composition très variable en proportion, mais les principaux ions sont les suivants :**

Cations majeurs :

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^{+}$

Anions majeurs :

$\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^{-}$

Autres éléments :

$\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{F}^{-}$ , acides organ.





# Les constituants du sol

## **La phase solide (la terre).**

Constituants minéraux et organiques du sol.

C'est le matériau le plus facile à observer.

Une masse de 1200 t/ha à 12000 t/ha voire 50000 t/ha

La masse de matière organique varie en moyenne entre 100 et 300 t/ha.

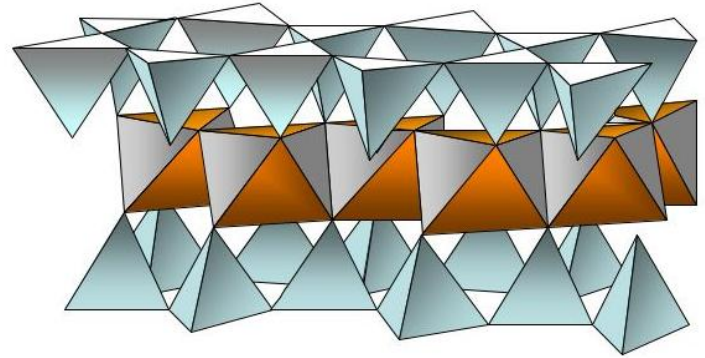




# Les constituants minéraux

## 1. En fonction de la nature minéralogique, on distingue :

- ✓ des phyllosilicates : silicates à structure en feuillets
- ✓ du quartz, présent surtout dans les sables
- ✓ des oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium
- ✓ des minéraux "légers" : feldspaths, micas, calcite,...
- ✓ des éléments résiduels de roche
- ✓ des minéraux non cristallisés (= amorphes)
- ✓ les minéraux lourds (= plus lourds que le quartz) hérités de la roche-mère.
- ✓ d'autres constituants moins fréquents.





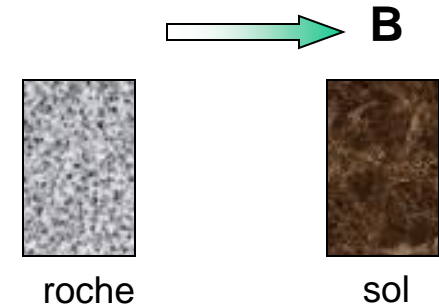
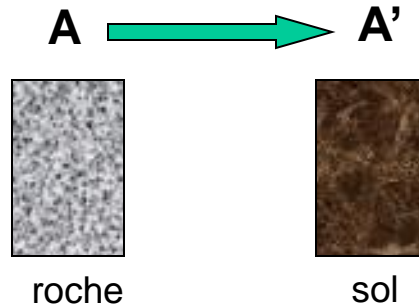
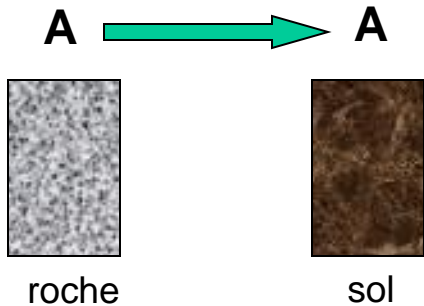
# Les constituants minéraux

## 2. En fonction de leur origine, on distingue :

✓ des minéraux hérités, lorsqu'ils proviennent sans changement de la roche-mère

✓ des minéraux transformés, lorsqu'ils proviennent de la roche-mère avec quelques modifications

✓ des minéraux néoformés, lorsqu'ils n'existent pas dans la roche-mère



## 3. En fonction de leur taille, on distingue (rappel) :

- ✓ les argiles granulométriques, de diamètre < 2 microns.
- ✓ les limons, au diamètre compris entre 2 et 50 microns.
- ✓ les sables, compris entre 50 microns et 2mm.
- ✓ les éléments grossiers, de taille > 2 mm.

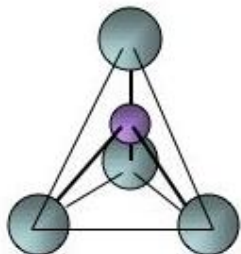
**(distinction terre fine et éléments grossiers)**



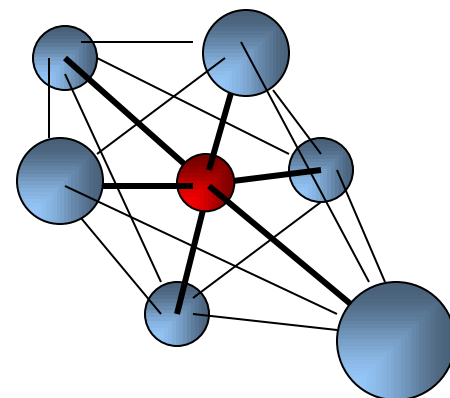
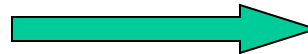
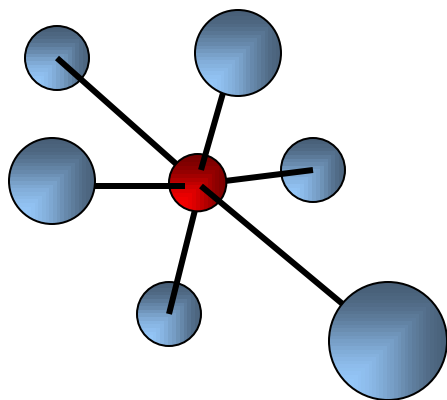
# Focus : les argiles minéralogiques (phyllites)

## Les « briques » de base :

Le tétraèdre de silice



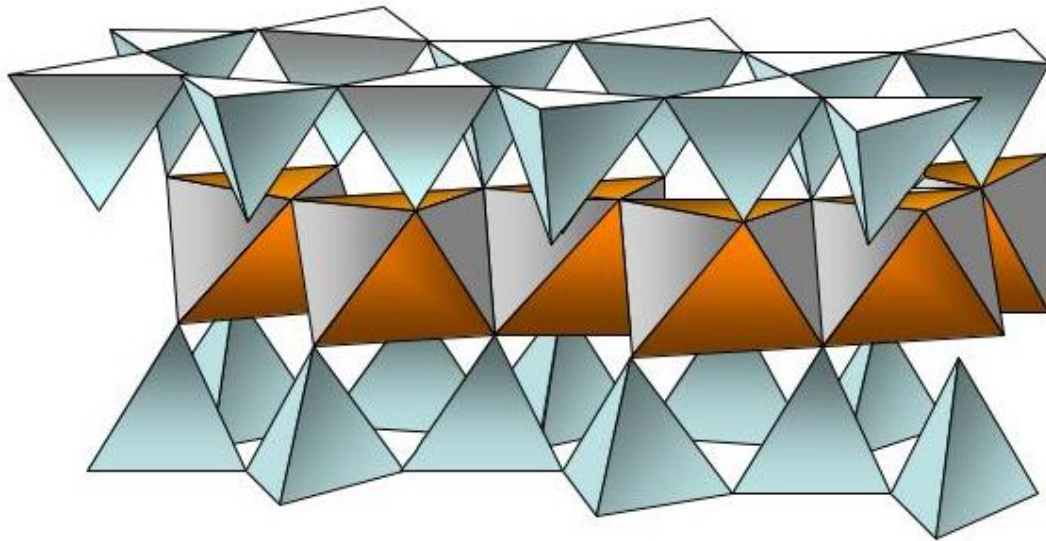
L'octaèdre d'alumine





# Focus : les argiles minéralogiques (phyllites)

**L'agencement des tétraèdres et octaèdres  
donne des couches tétra et octa, puis des feuillets**



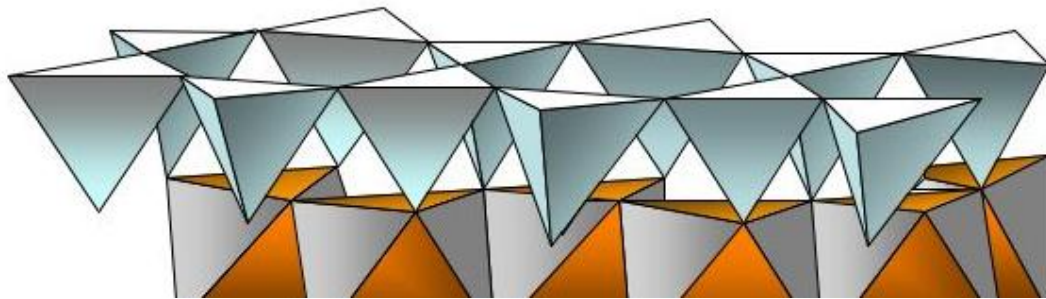
Couche tétraédrique  
3 Å

Couche octaédrique  
4 Å

Couche tétraédrique  
3 Å

Feuillet 2/1  
(ex : illite)

10 Å



Couche tétraédrique

Couche octaédrique

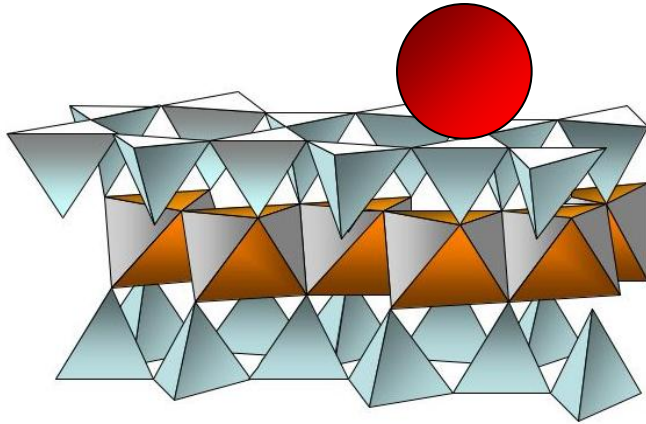
Feuillet  
1/1  
(kaolinite)

7 Å

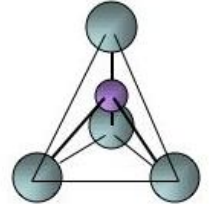


# Focus : les argiles minéralogiques (phyllites)

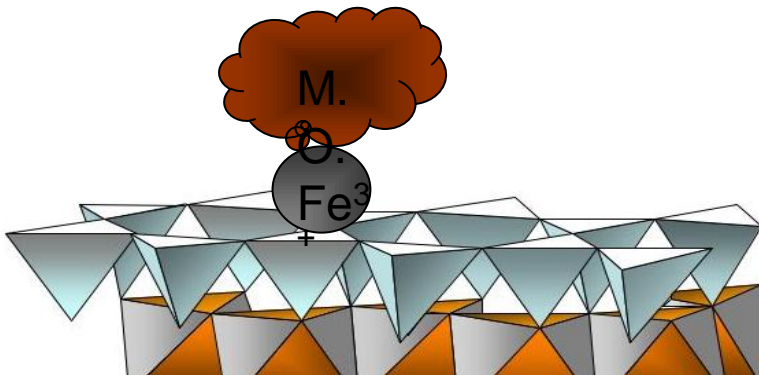
## Quelques propriétés fondamentales des argiles



Électronégativité de surface  
(fixation des cations)



Grande surface spécifique : jusqu'à 800 m<sup>2</sup>/g  
(à titre de comparaison : un papier dit "40 g"  
a une surface spécifique de 0,05 m<sup>2</sup>/g)



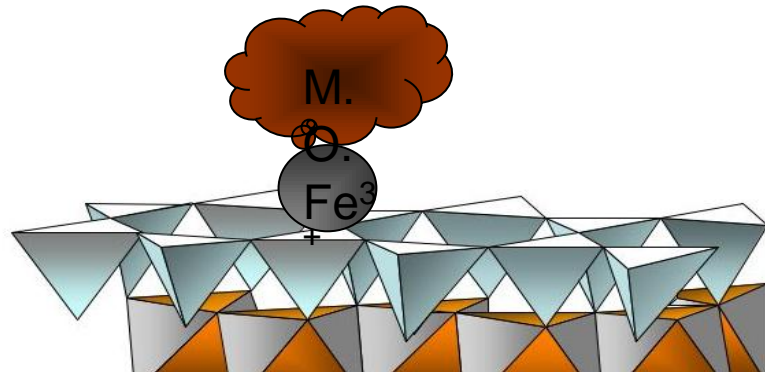
Formation du complexe argilo-humique  
(Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>)



# Les constituants organiques

## 1. Les MOS ont quasiment toutes une origine végétale. Elles proviennent :

- ✓ des débris végétaux de la litière :  
feuilles mortes, brindilles, branches, troncs morts, résidus de fruits et de graines...
- ✓ des produits sécrétés et exsudés par les racines :  
acides organiques, polysaccharides,....
- ✓ des racines mortes
- ✓ des résidus de culture
- ✓ des amendements organiques apportés par les agriculteurs :  
fumiers, lisiers, composts,...

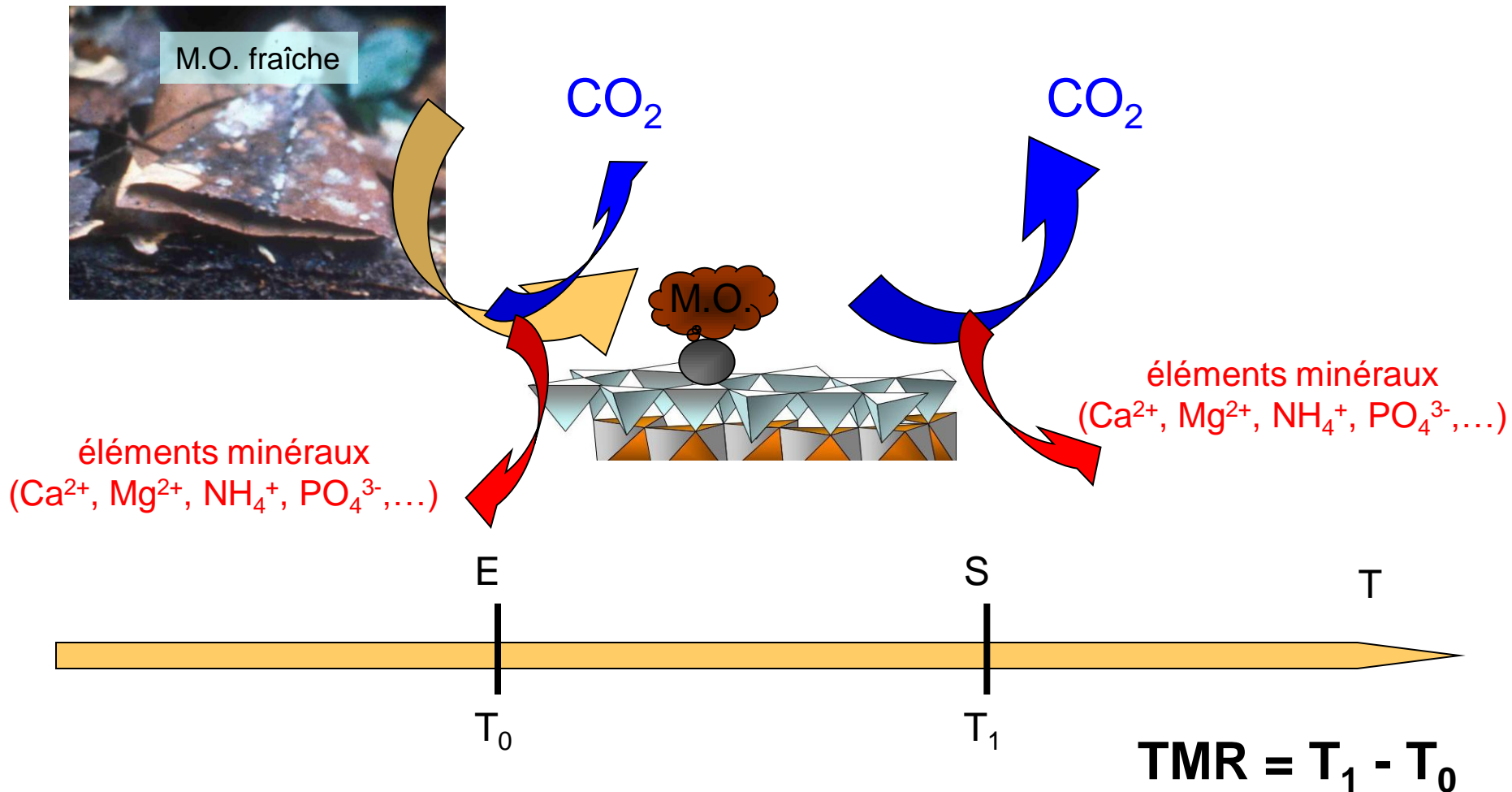




# Les constituants organiques

## 2. Entre le moment où elles y entrent par décomposition,

et où elles en sortent par minéralisation, les M.O. restent dans le sol un laps de temps très variable, de quelques mois à plusieurs dizaines de milliers d'année, en fonction de différents facteurs (temps moyen de résidence, TMR).





# La phase vivante

La biomasse du sol : 5 à 20 t/ha (3-15000 t/ha pour le minéral et 1-3000 t/ha pour l'eau)

Cette biomasse est plus importante que la biomasse animale ***au-dessus*** du sol

**Sous** un pré, sur 1 m d'épaisseur de sol, il y a en moyenne :

- 3 tonnes de bactérie ;
- 4 tonnes de champignons, sous forme de mycélium
- 1 à 5 tonnes de lombrics
- 500 kg d'algues (24 t/ha dans les rizières)

**Sur** un pré, il y a en moyenne 1 UGB :

- 1 vache de 600 kg et son veau ;

ou

- 6 moutons





# La phase vivante a un rôle fondamental ; sans vie, pas de sol

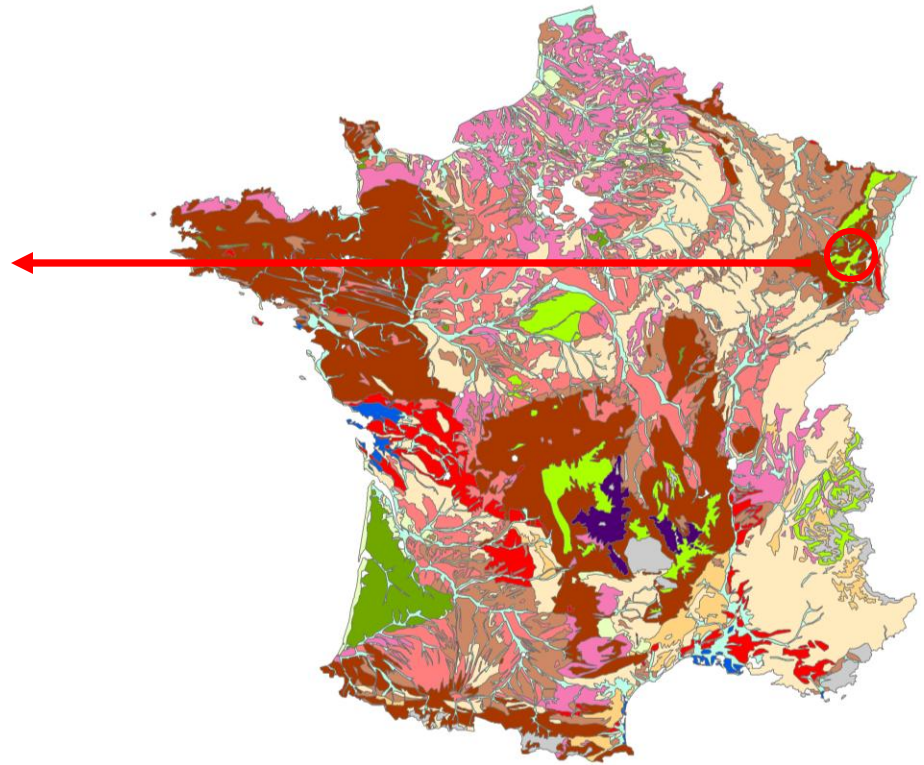
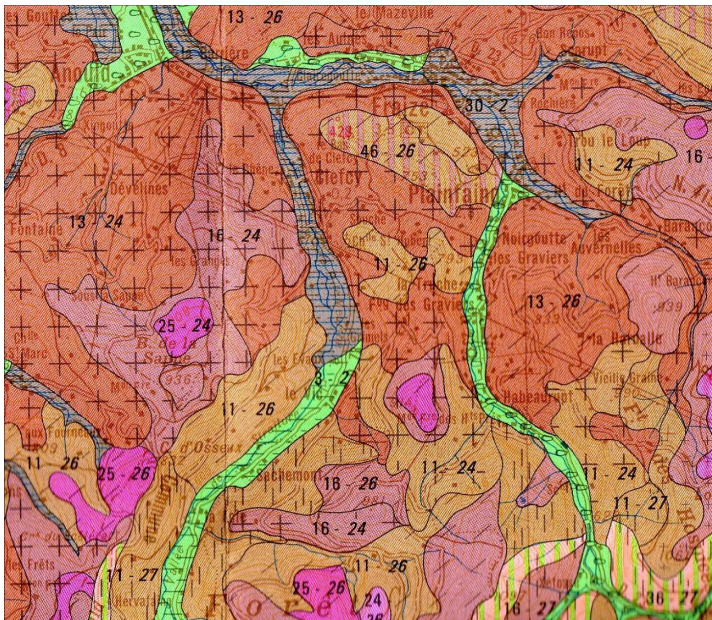
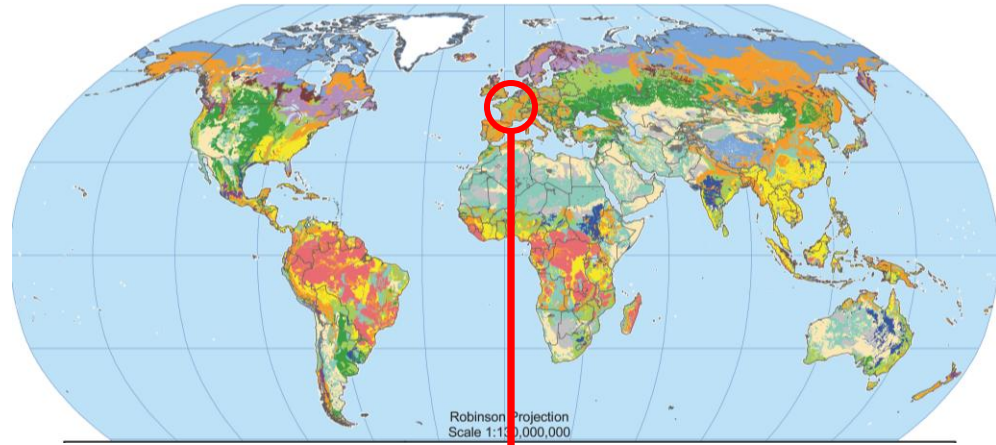
- Fragmentation et décomposition des feuilles et bois morts
- Incorporation au sol de M.O. transformées (humification)
- Minéralisation des M.O. humifiées
- Biodisponibilité des minéraux
- Altération des roches
- Transformations ioniques :  $(\text{NH}_4^+)$  en  $(\text{NO}_2^-)$  puis  $(\text{NO}_3^-)$
- Accumulations métalliques (Fe, Mn, Au,...)
- Symbioses végétaux - bactéries enrichissant le sol en N
- Agrégation et structuration
- Aération du sol et drainage
- Brassage et transferts de matériau (bioturbation)
- Solubilisations et précipitations minérales

Applications industrielles (compost, recyclage de boues, dégradation de polluants organiques, extraction de métaux)



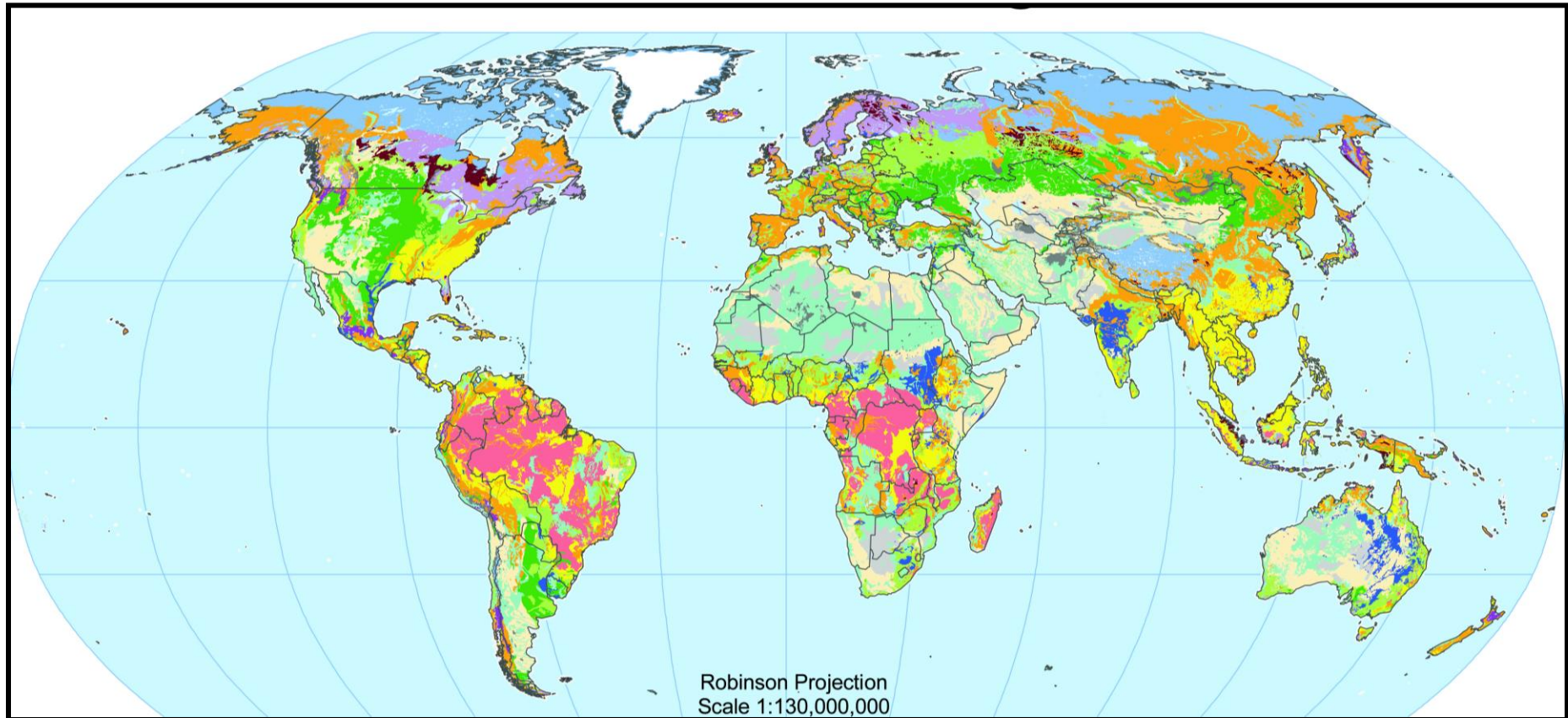


# La répartition spatiale des sols





## La répartition spatiale des sols à l'échelle mondiale



Légende partielle, en correspondance approximative dans les systèmes de classification français (RP95, **en gras** ou CPC67, selon le cas)

La nomenclature originelle des unités de la carte reprennent la classification américaine (Soil Taxonomy) et sont *en italique*



**Cryosols**  
*gelisols*



**Chernosols**  
*mollisols*



Sols ferrallitiques  
*oxisols*



**Podzols**  
*spodosols*

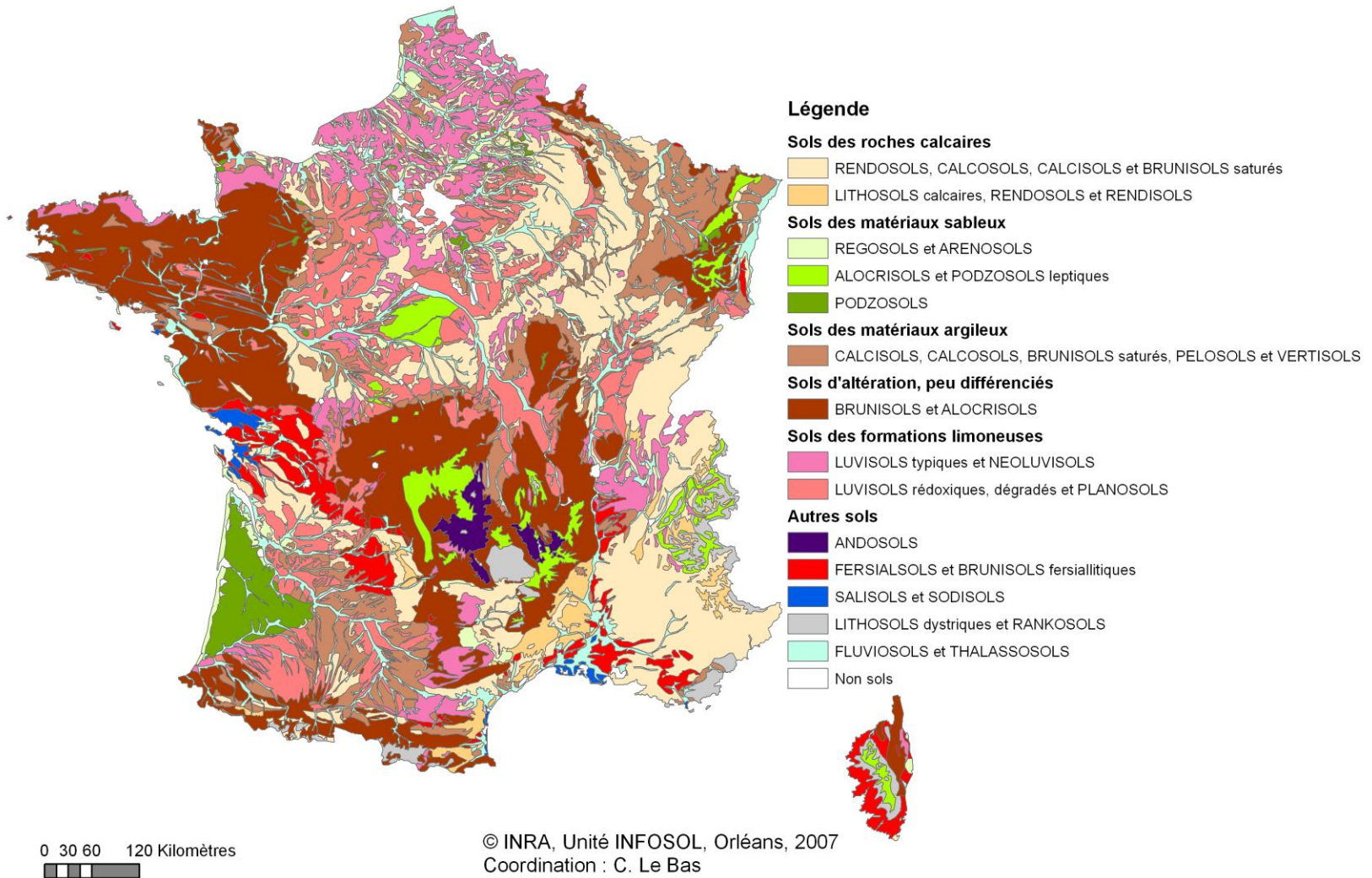


Sols ferrugineux  
*ultisols*



# La répartition spatiale des sols à l'échelle nationale

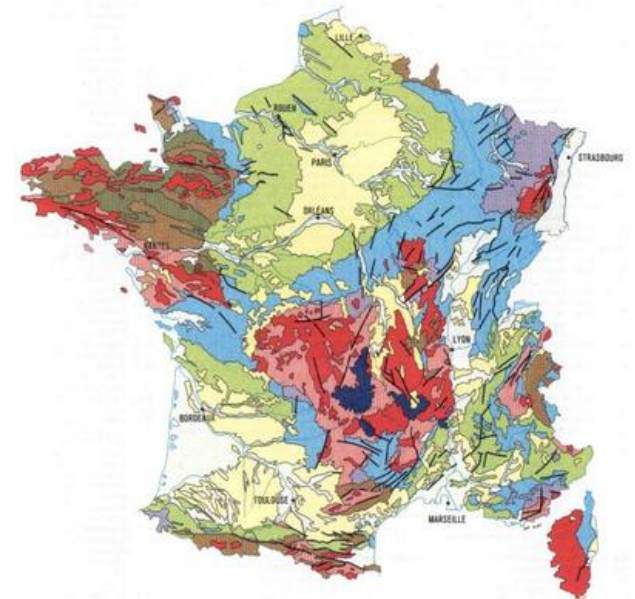
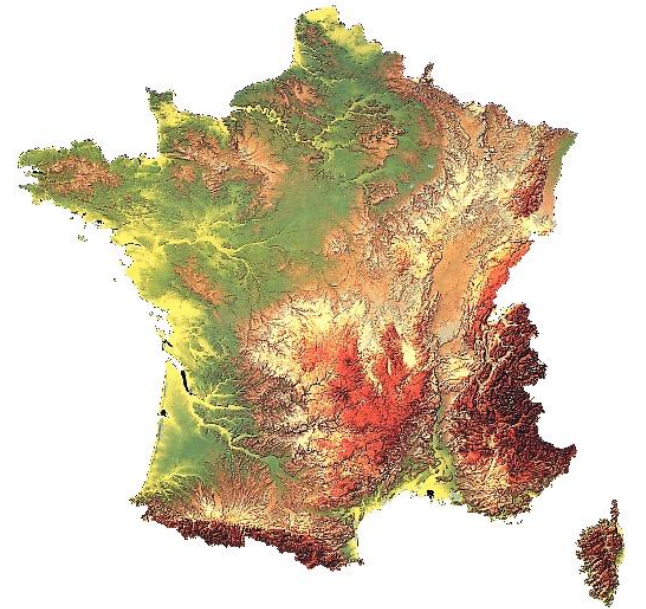
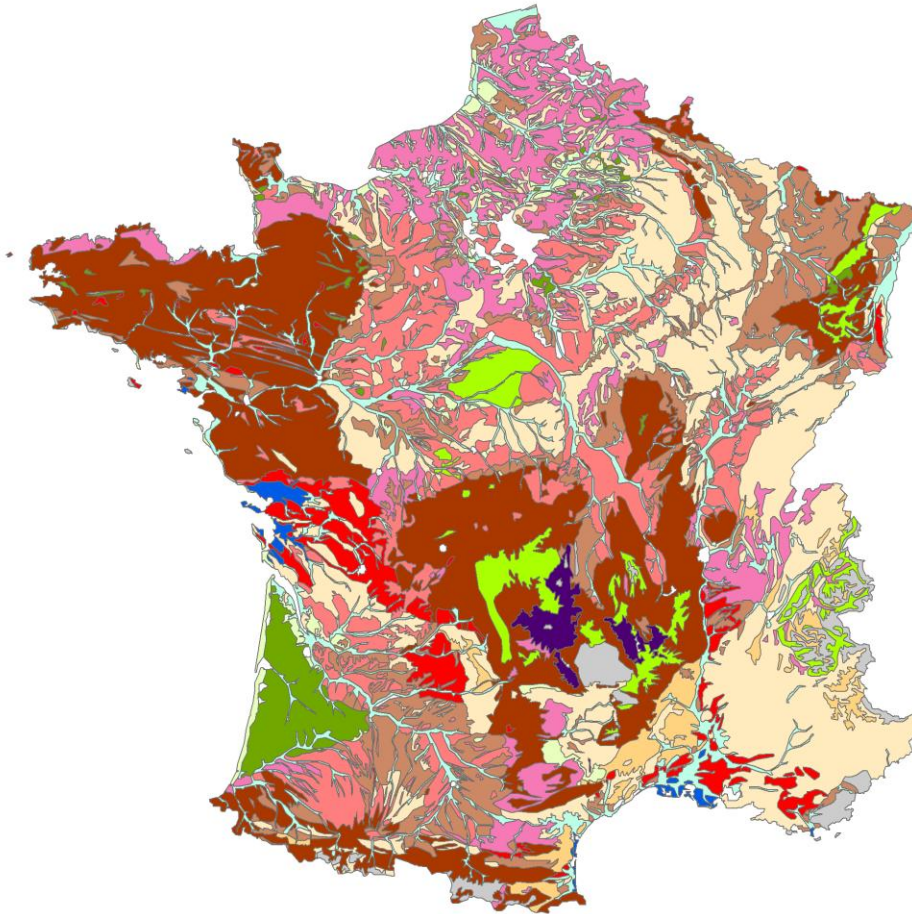
Carte des sols dominants de France





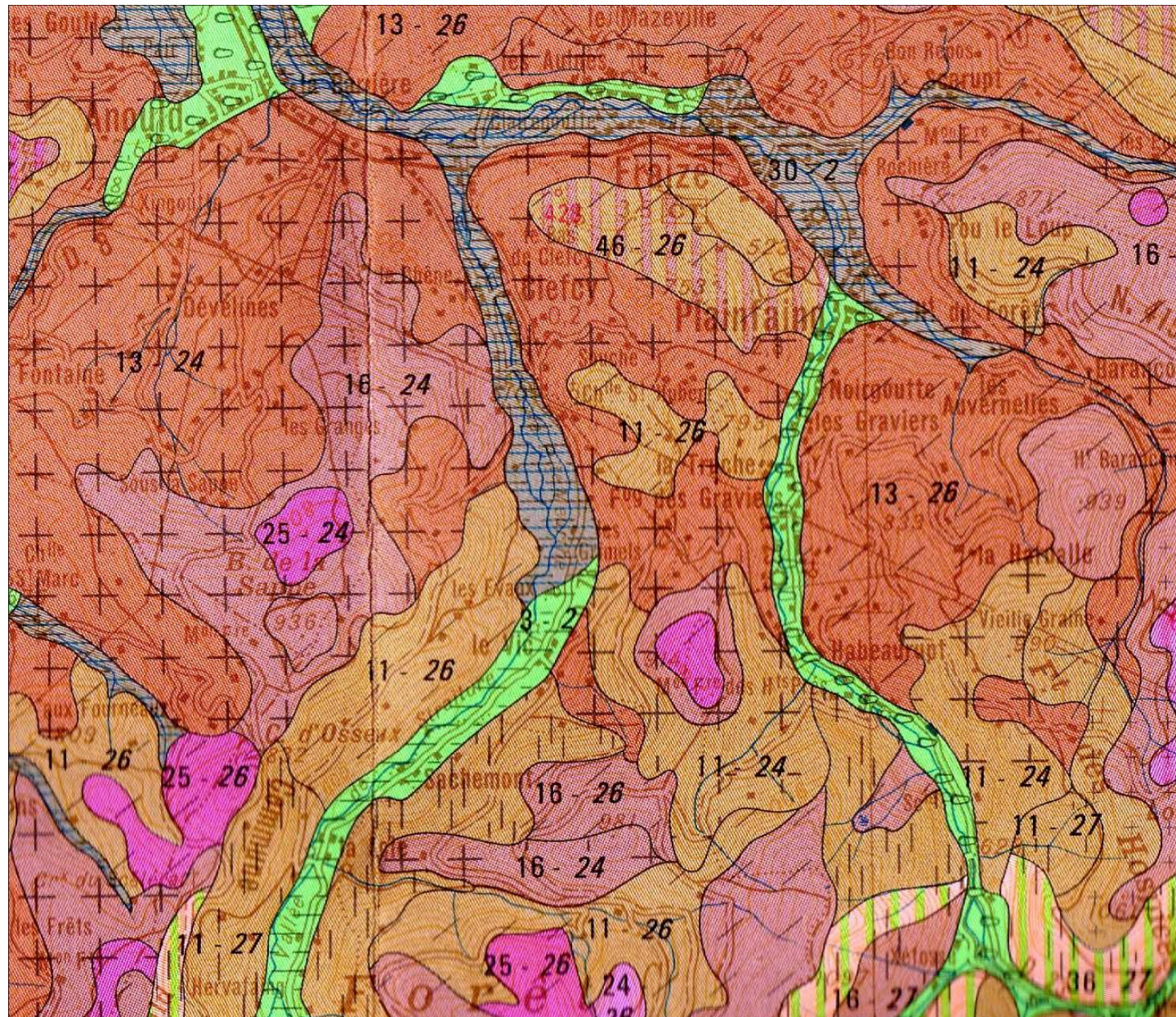
# La répartition spatiale des sols à l'échelle nationale

Carte des sols dominants de France





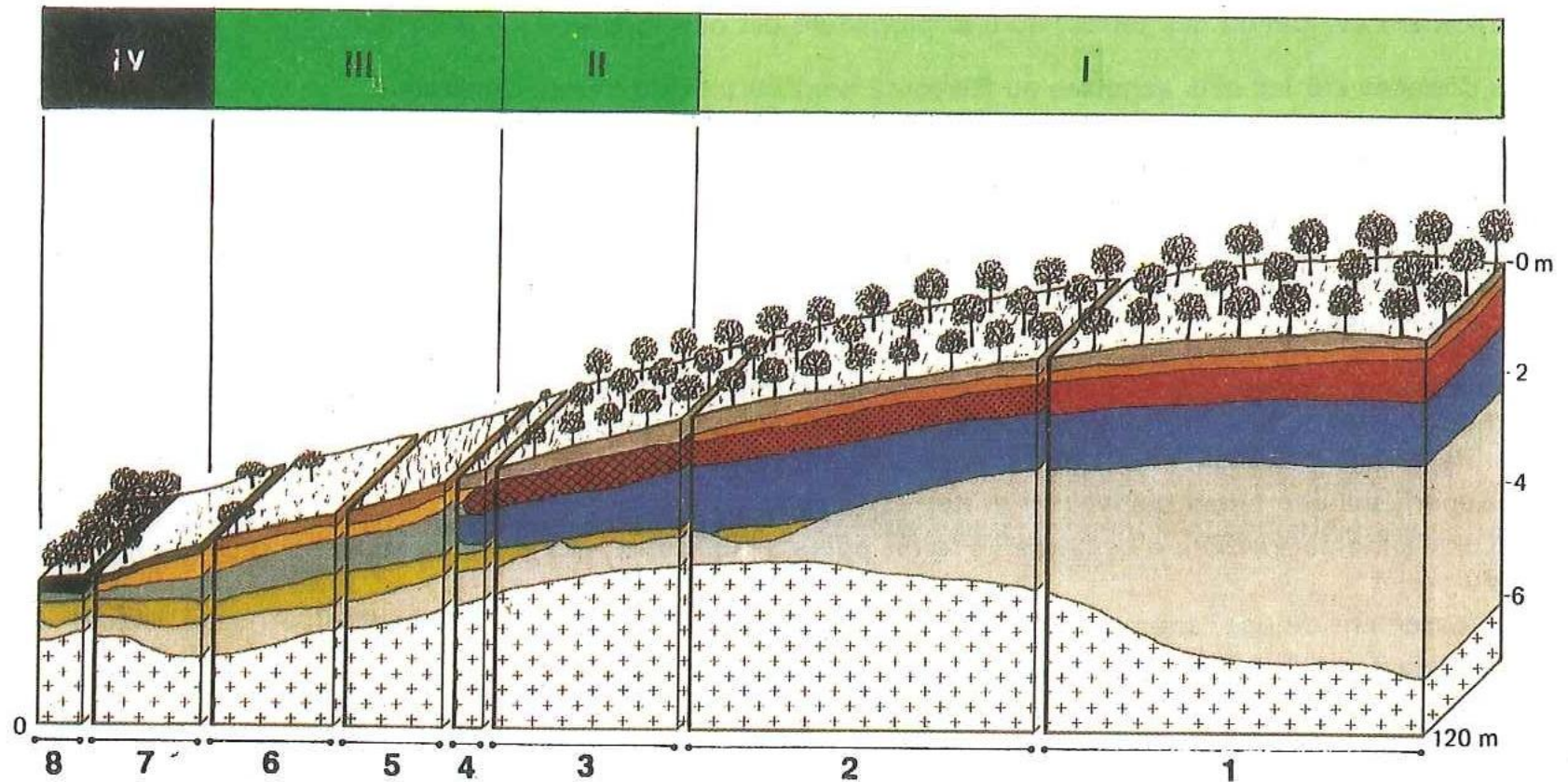
## La répartition spatiale des sols à l'échelle régionale





# La répartition spatiale des sols à l'échelle locale

## Unités cartographiques





# Rappels : (1) le sol un système ouvert

