



Initiation et sensibilisation à la connaissance des sols

Sommaire du cours

Jean Marie VINATIER (CRARA)

Ont également participé à la réalisation de ce montage



Ministère
de l'Agriculture et de la Pêche
Centre National d'Etudes et de Ressources
en Technologie Agricole



1. Le sol : c'est quoi ? Observation et fonctionnement (3H)

a. Introduction

- Le sol, épiderme de la terre
- Qu'est ce que le sol
- Les différentes fonctions du sol

b. Formation des sols

- Les facteurs de formation
- Un ensemble structuré
- Une variabilité organisée à différentes échelles

c. Organisation des constituants du sol

- Les phases du sol
 - a. Constituants minéraux - Granulométrie et texture
 - b. Constituants organiques - Humus et organismes vivants
- Structure & porosité, densité apparente

d. Propriétés et fonctionnement

- Le sol, lieu d'échange (pm, voir cours JP)
- L'eau dans le sol

e. Au-delà du sol

- Du sol à l'eau souterraine

f. Bilan

2. Constituants minéraux du sol (3H)

- a. Les différentes phases du sol
- b. Les différents minéraux présents dans le sol
- c. Les minéraux argileux
 - Structures
 - Différents types
 - Evolutions
 - Analyses
 - Propriétés
- d. Les sels et les sesquioxydes (oxydes métalliques hydratés)

3. Matière organique du sol (4 à 5H)

- a. Les différents types de MO
 - Caractéristiques générales quantitatives
 - Caractéristiques des différents types de MO
- b. Evolution de la MO - Notion de bilan humique
 - Humification
 - Minéralisation
- c. Les différents modèles
 - Modèle mono-compartmental (HENIN DUPUIS)
 - Modèle pluri-compartmental (Mary & Guérif)
- d. Méthodes d'analyse
- e. Approche Pédologique (sous forêt)
 - Les horizons organiques
 - Les "Humus" pédologiques
 - MO dans les horizons sous-jacents
- f. Approche Agronomique (sous terre cultivée)
 - Les contraintes de cette approche
 - Les effets favorables et défavorables de la MO
 - Interprétation agronomique du taux de MO (taux de [C])

4. Initiation à la pédogenèse (4.5 H)

- a. Les principaux horizons pédologiques
- b. Cycles d'évolution des sols
 - Evolution progressive
 - Evolution régressive
 - Régression anthropique
- c. Facteurs d'évolution des sols
 - Facteurs bioclimatiques généraux
 - age du sol et cycles climatiques
 - type de climat
 - altitude
 - Facteurs station
 - géologie

- topographie
 - hydromorphie
 - Facteur humain
- d. Répartition des principaux sols dans le monde

5. Cartographie des sols et des paysages, gestion des informations (1.5H)

- a. Introduction à la description et à la cartographie des sols
- une carte c'est quoi ?
 - cartographier la variabilité des sols
 - Echelle et précision
- b. Gestion des informations sur les données pédologique
- Description des informations
 - Représentations
 - Bases de données pédologiques
 - Exemples d'utilisation

6. Evaluation du pouvoir épurateur des sols (1.5 H)

- a. Le sol, système de filtration et d'épuration
- b. Paramètres pédologique déterminant la capacité d'épuration
- Hydromorphie
 - Texture
 - Perméabilité
 - Capacité de rétention en eau
 - Acidité
- c. Paramètres agronomiques
- Tassement
 - Battance
- d. Paramètres externes du sol
- Vulnérabilité de la ressource en eau
- e. Méthode d'évaluation de la capacité épuratoire du sol

Initiation, gestion et conservation des sols



ISARA LYON
Institut National Supérieur de l'Agriculture et de la Pêche

Initiation et sensibilisation à la connaissance des sols

Le Sol, c'est quoi?

Jean Marie VINATIER (CRARA)

Ont également participé à la réalisation de ce montage



1

Initiation, gestion et conservation des sols

Organisation de la formation

- **Module 1/ Les sols : observation et fonctionnement**
 - Module 2/ constituants minéraux du sol
 - Module 3/ Matière organique des sols
 - Module 4/ Initiation à la pédogenèse
 - Module 5/ Cartographie des sols et des paysages, gestion des informations
 - Module 6/ Évaluation du potentiel épurateur des sols

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

2

Le sol, qu'est-ce-que c'est ?



- Introduction
- Formation des sols
- Organisation des constituants du sol
- Propriétés et fonctionnement
- Au-delà du sol
- Bilan

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? 3

Le sol, épiderme de la terre

une surface, support de vie ?




un volume, milieu de vie !

Source : C. Schwartz (LSA Lille)

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Introduction 4

MISSION 1
Le sol, qu'est-ce que c'est ?

Qu'est-ce-que le sol ?

un mélange de constituants divers ?





Source : C. Schwartz (ISA Lille)

un ensemble organisé de constituants minéraux et organiques, d'air et d'eau !

Source : C. Walter

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Introduction 5

MISSION 2
Le sol, qu'est-ce que c'est ?

Qu'est-ce-que le sol ?

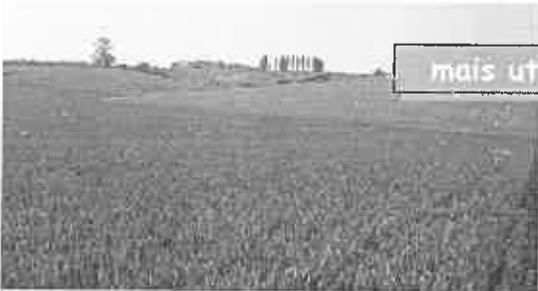
un milieu fragile ...



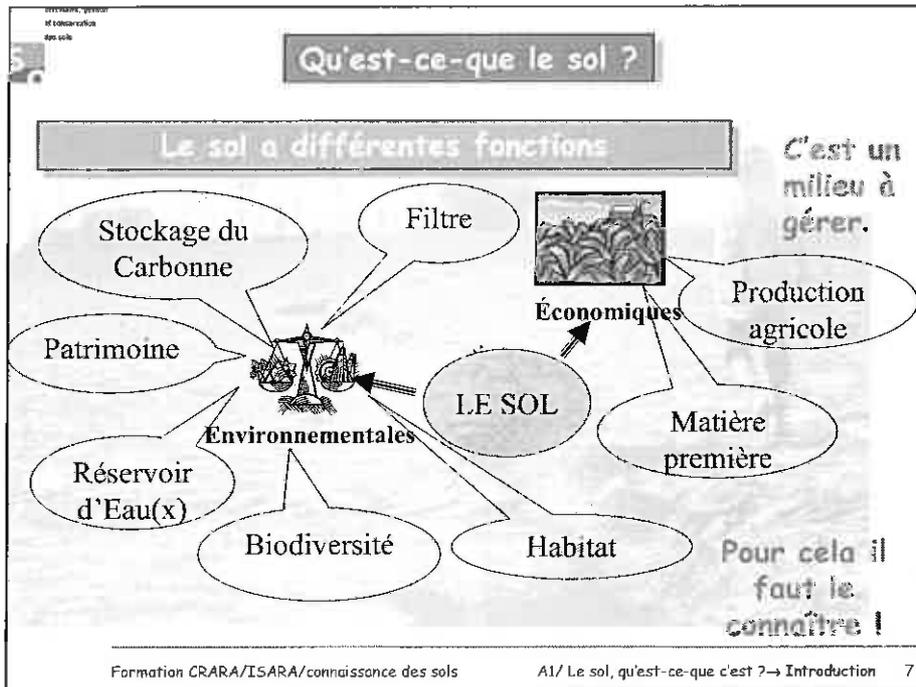

Source : C. Schwartz (ISA Lille)

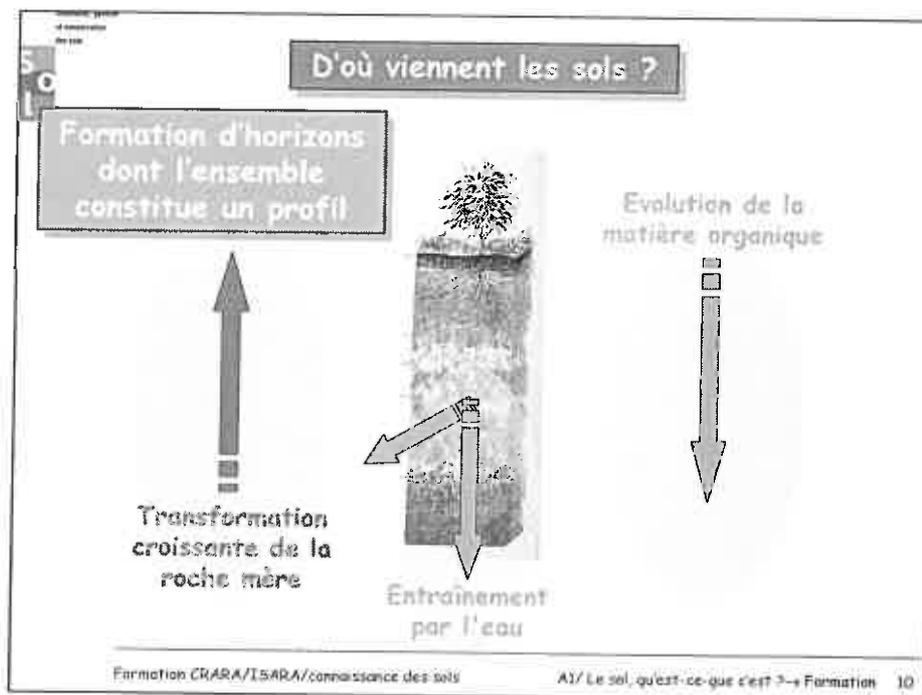
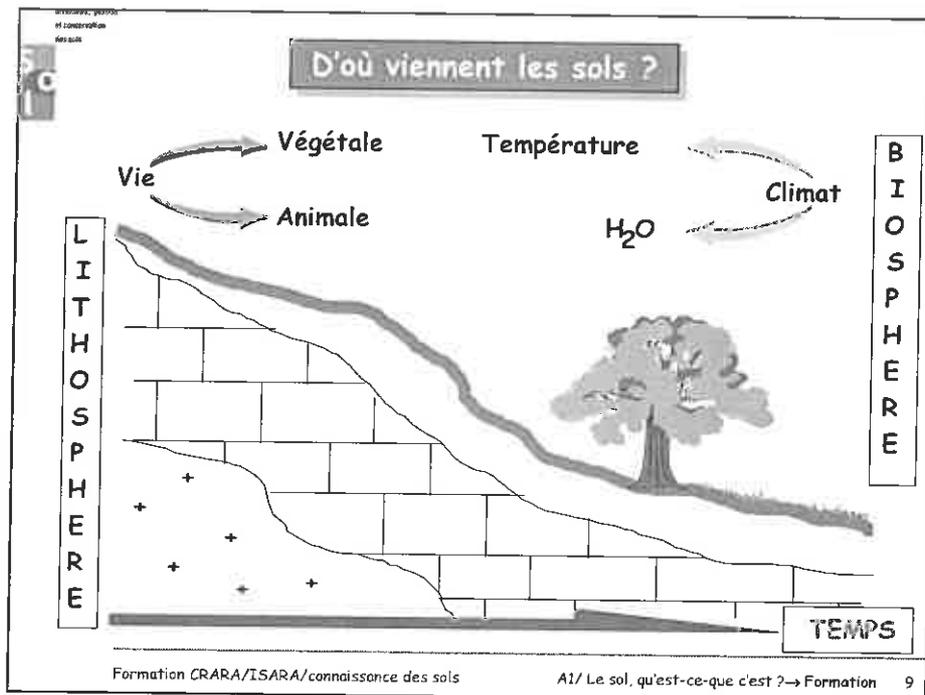
Source : C. Schwartz (ISA Lille)

mais utile quand même ...



Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Introduction 6





50

D'où viennent les sols ?

Une infinie diversité de résultats

Source : JC Laccasin (INP)

Source : C. Com

Source : C. Walter

Source : JC Laccasin (SCP)

Source : C. Walter

Source : JM Rivière

Source : C. Com

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Formation 11

50

au bassin versant

D'où viennent les sols ?

Un ensemble structuré ...

de l'infiniment petit ...

Profondeur en cm

Horizons pédologiques

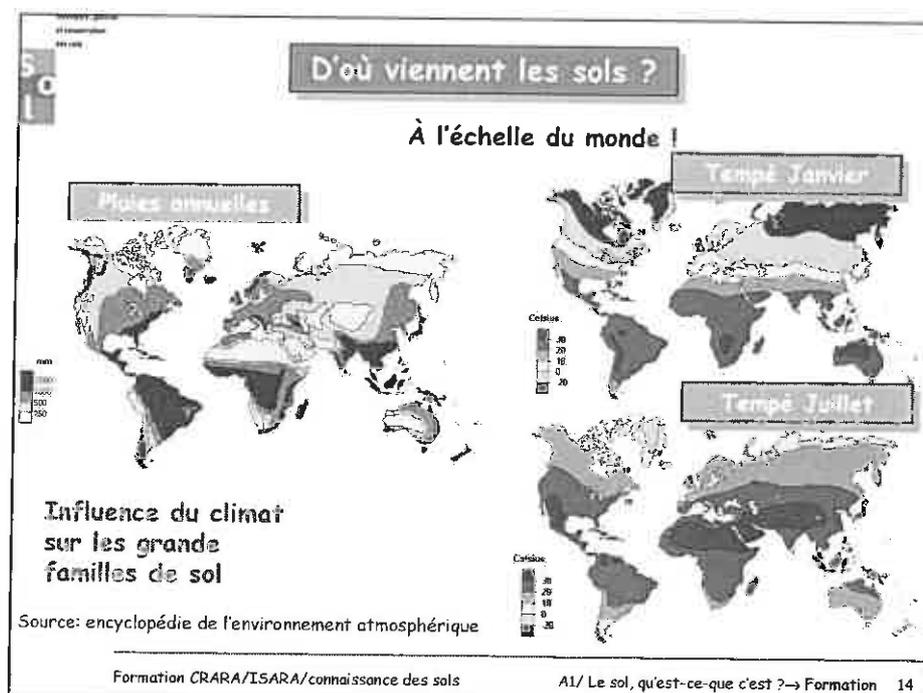
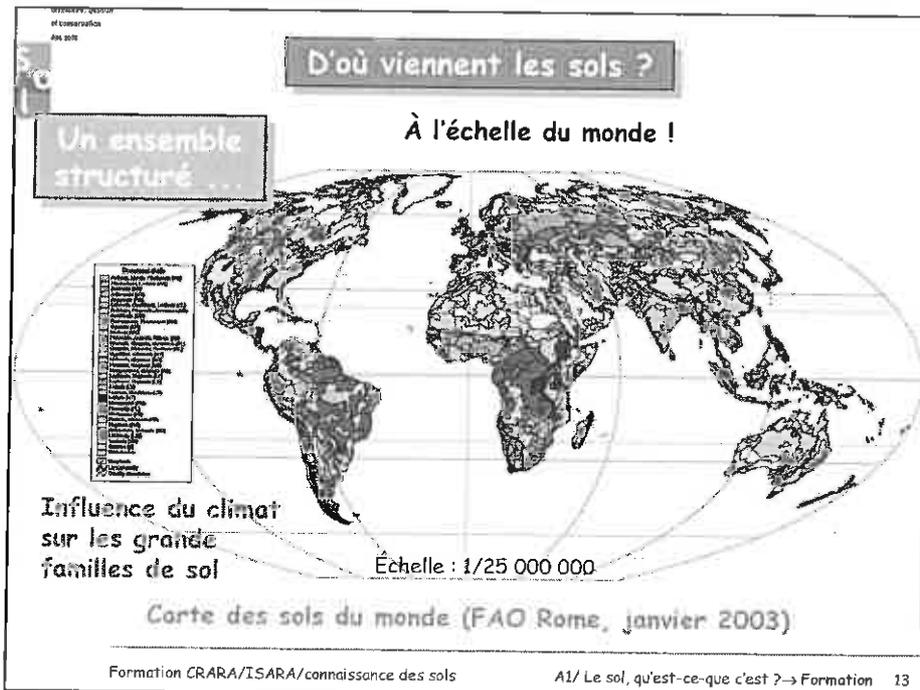
- Ap = horizon de culture
- E = horizon d'éluviation
- A/B = horizon de transition
- B = horizon d'accumulation
- C = horizon minéral issu de la roche mère

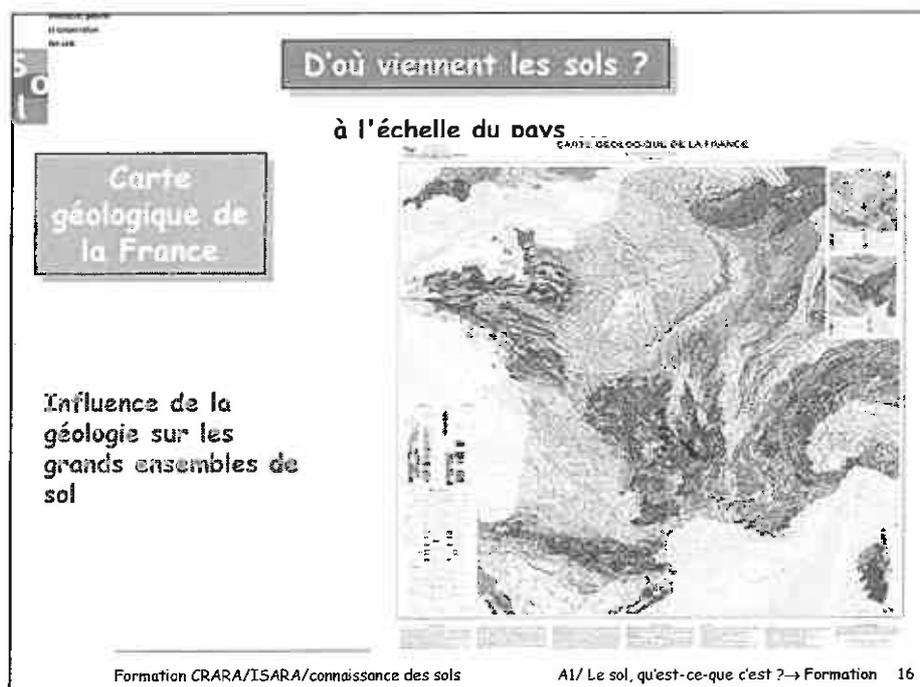
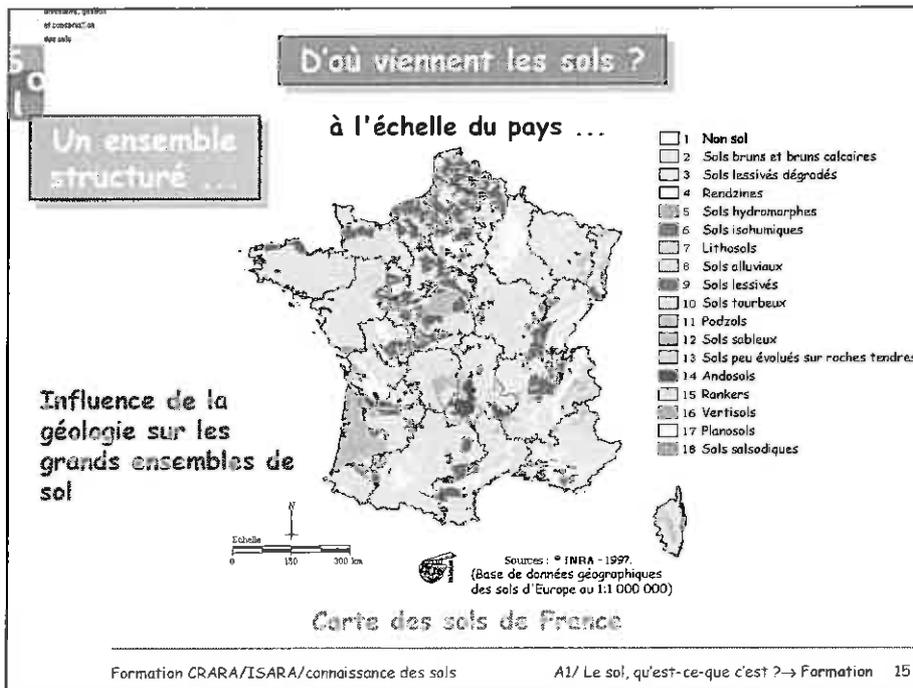
Source : B. Fournier

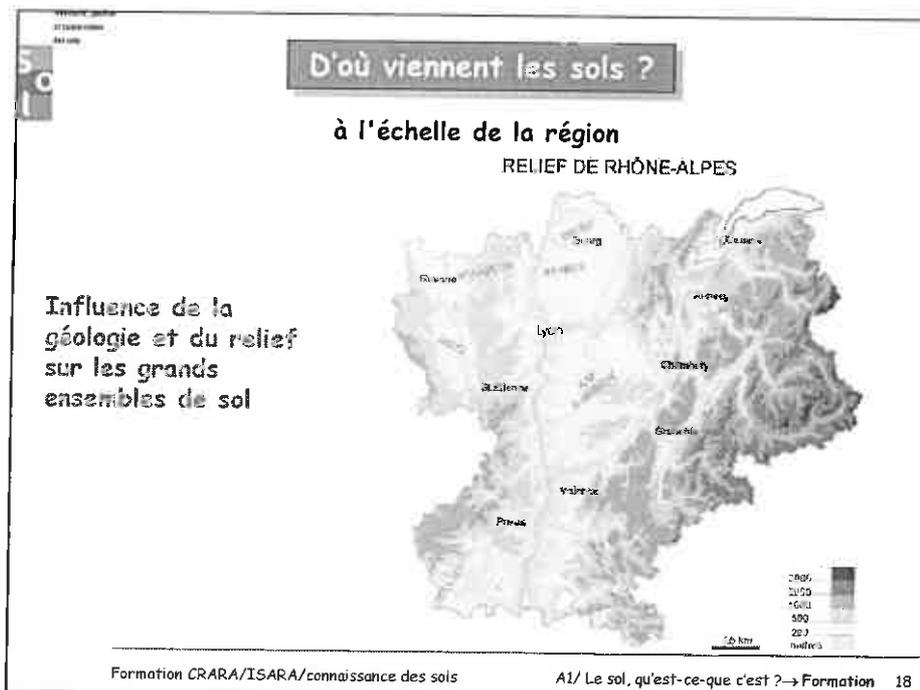
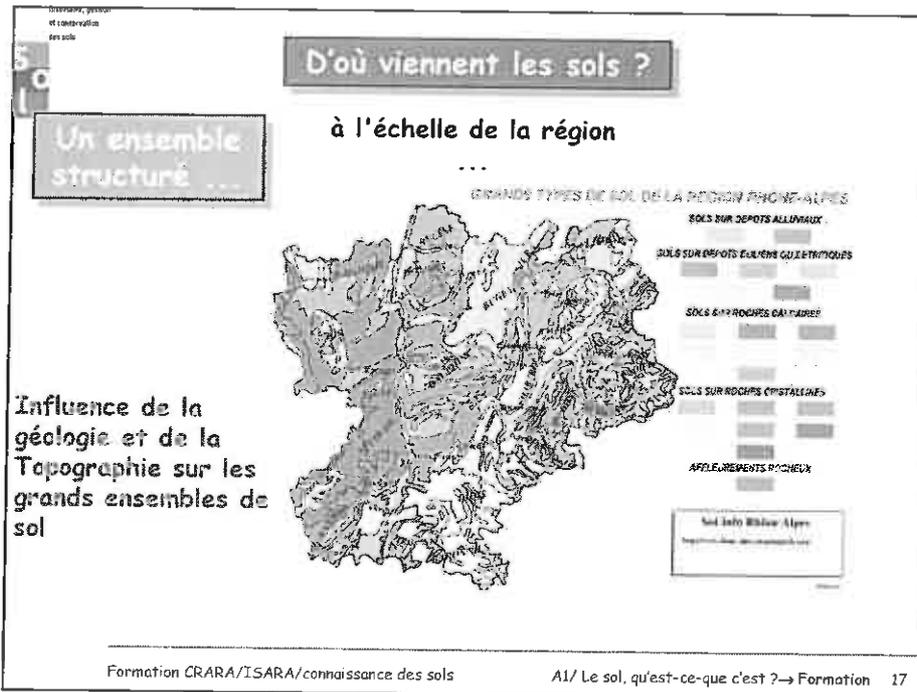
Source : B. Fournier

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Formation 12







D'où viennent les sols ?

Un ensemble structuré ...

à l'échelle du paysage ...

Influence de la topographie sur les séries de sol

BLOC DIAGRAMME D'UN PAYSAGE DE « DOMBES »
Pédologie et Géologie

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Formation 19

D'où viennent les sols ?

Le sol est le résultat de la transformation des roches sous l'influence :

- des phénomènes climatiques
- des phénomènes biotiques
- Des éléments topographiques

depuis un certain temps... qui se poursuit !

Source : B. Fournier

Source : C. Schwartz (ISA Lille)

Un sol peut être décrit, observé et analysé à différentes échelles

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Formation 20

Le sol, qu'est-ce que c'est ?

Introduction
 Formation
 Organisation des constituants du sol
 Propriétés et fonctionnement
 Au-delà du sol
 Bilan

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce que c'est ? 21

De quoi sont constitués les sols ?

Porosité

Phase solide Phase liquide (solution du sol) Phase gazeuse (atmosphère du sol)

constituants minéraux constituants organiques

organismes vivants matière organique morte

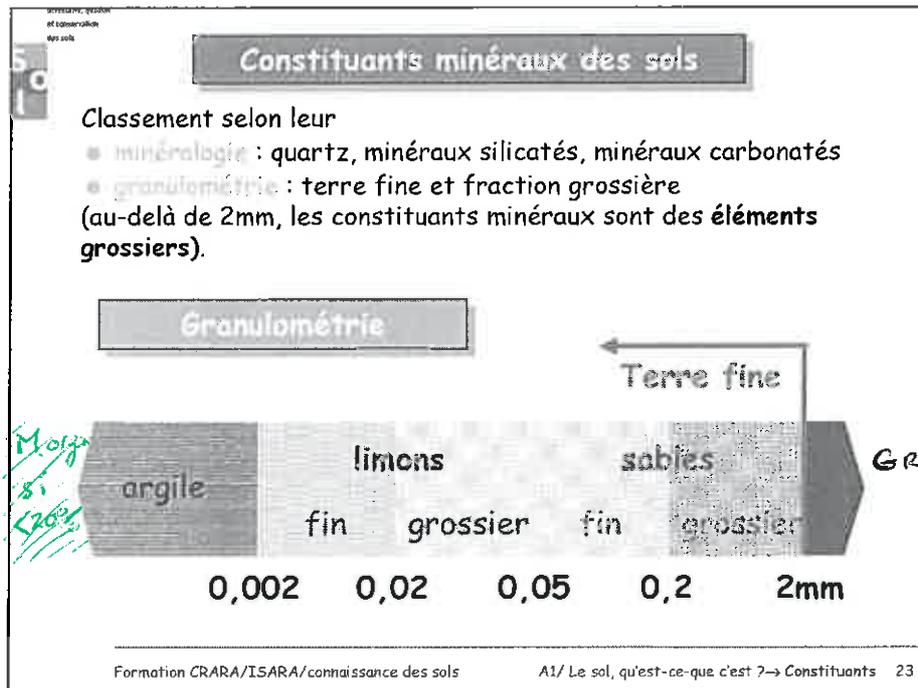
7 grands pores interconnectés remplis d'air

Source: (A. Boulin, 2004)

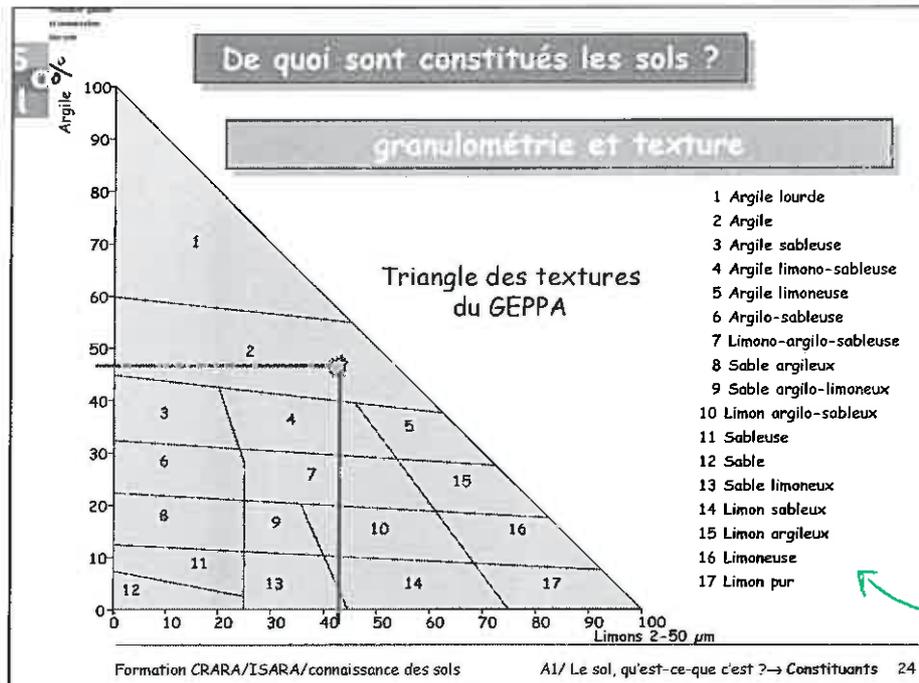
Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce que c'est ? → Constituants 22

pour p... 7p / ca

GRANULOMETRIE
 % pondéral des différentes fractions granulo :
 % argile
 % limon
 % sable
 % H. organique



Est-ce que vous pensez pouvoir faire des pots de graviers ?

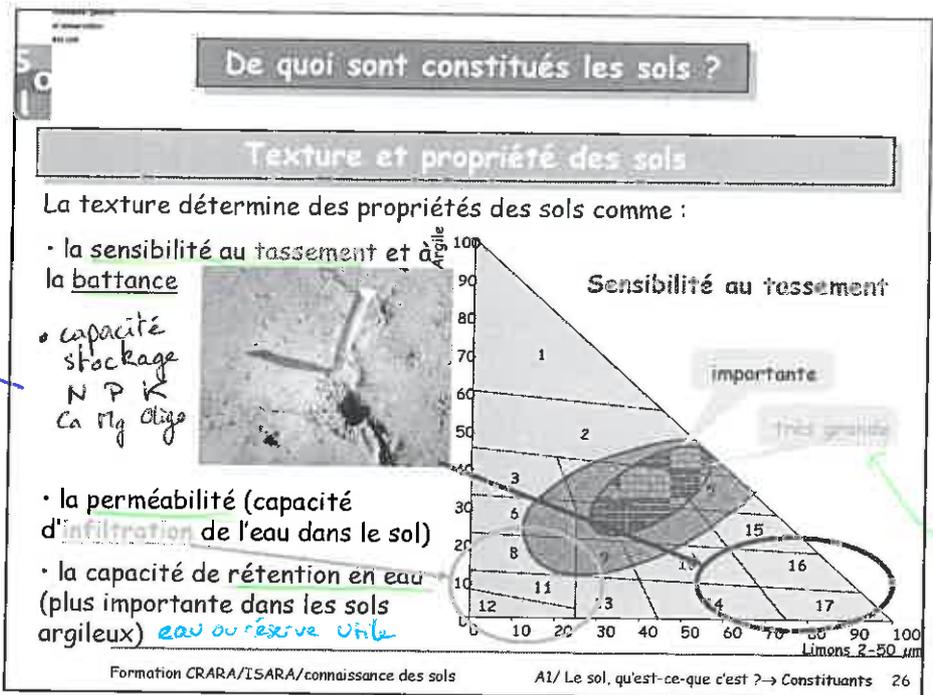
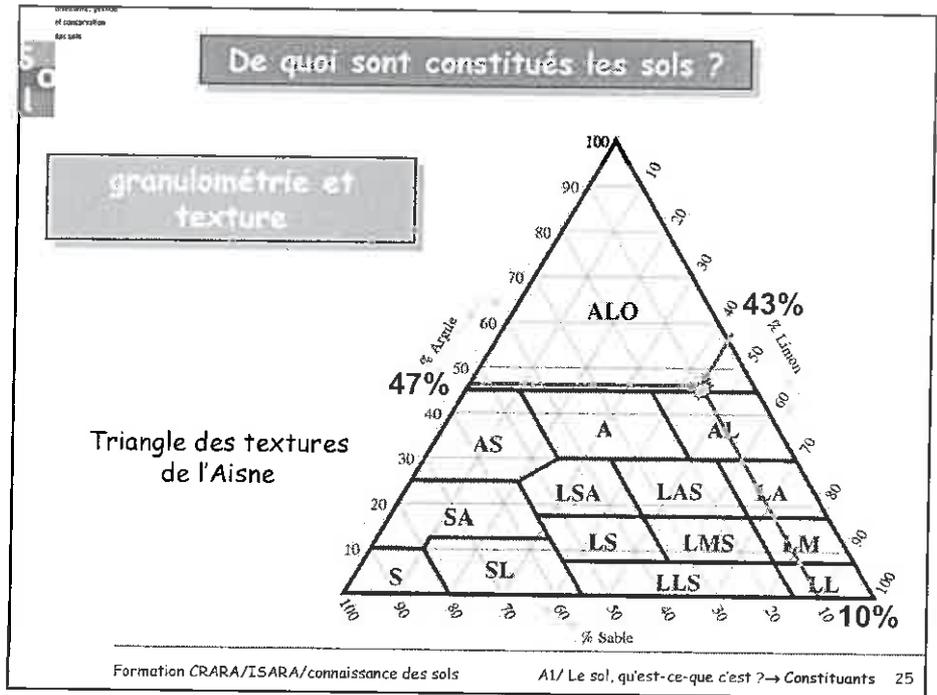


le % complémentaire à % argile + % limon est le % sable

chacune de ces classes ont des propriétés propres

Test cylindre
 ① si → alors > 10% A

② si on peut en faire un anneau alors > 30 ou 35% A



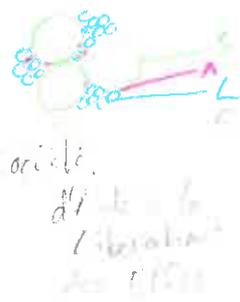
Sable } surtout de la silice
 Limon }
 Argile → Feuillets

battance : le sol se destructure sous la pluie formant une couche supérieure argileuse imperméable

S Très filtrant

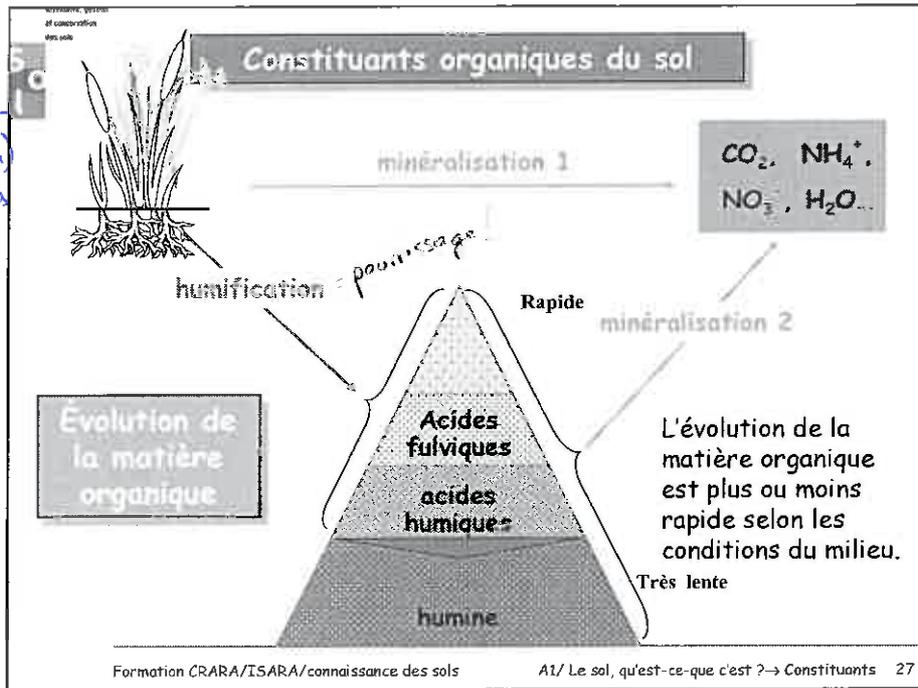
L Filtrant

A Très plastique peu filtrant peu sensible au tassement gonflement/retrait (se fissure en sécheresse)



Réserve utile : quantité d'eau que peut stocker la terre

Les chaînes carbonées courtes se minéralisent vite (jusqu'à -d'inan) des chaînes C longues peuvent demeurer jusqu'à 1 siècle.



Le carbone total est significatif de l'humus dans le sol

L'Humus est hétérogène certains sont de longues chaînes C d'autre en ont de courtes

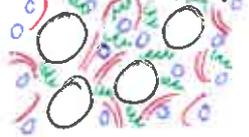
Le turnover (minéral) varie

La matière organique de l'humus, une fois minéralisée, peut être absorbée par la plante.

elle stocke eau et minéraux

elle stabilise la structure : les mottes de terre se désagrègent difficilement

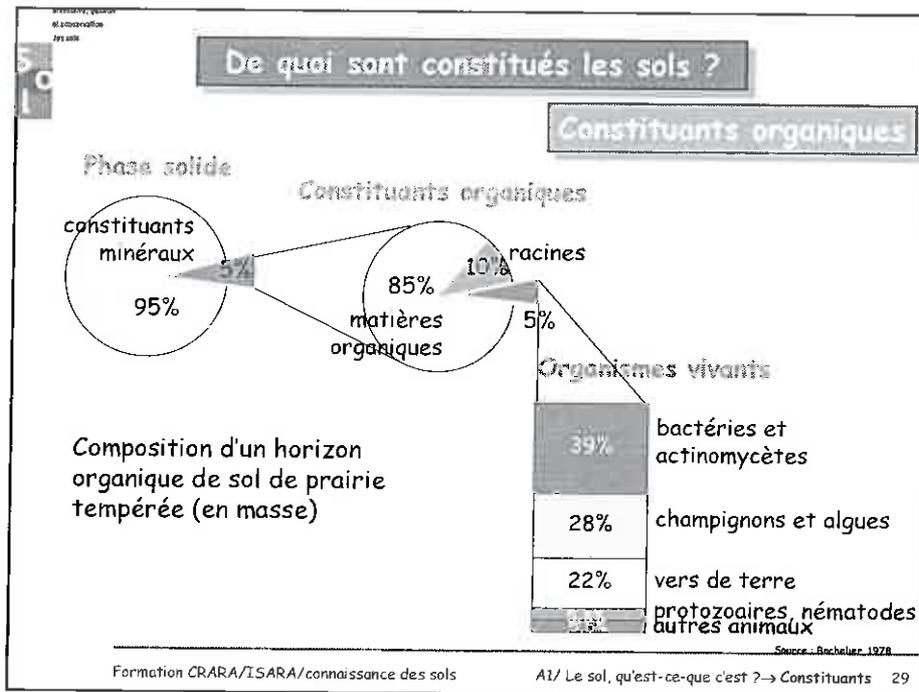
Dans un agrégat



sable limon
argile acide humique

l'acide humique "lie" argile et limon

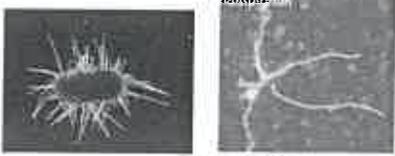
Dans la terre, la matière organique forme 1,5 à 10%.



Les azotobactéries transforment l'humus en azote

Constituants organiques du sol?

Les rôles des organismes du sol

Agronomiques	Environnementales
<ul style="list-style-type: none"> décomposition de la matière organique amélioration de la structure du sol, porosité participation à la nutrition des plantes 	<ul style="list-style-type: none"> échanges gazeux et séquestration du carbone dépollution des sols source de produits pharmaceutiques
<p>Bactéries</p>  <p style="font-size: x-small;">Source : Meyers, 2009</p>	<p>Insectes</p>  <p style="font-size: x-small;">Source : Ablain</p>

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols AI/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Constituants 30

structure : mode d'arrangement spatial...

≠ texture : impression au toucher
classe de textures

Organisation des constituants

Structure et porosité du sol

Les divers niveaux emboîtés de structurations en agrégats d'une motte
(d'après Soltner, 1982).

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 31

Organisation des constituants

Structure et porosité du sol

Structure = mode d'arrangement spatial des particules minérales et organiques entre elles.

Porosité = négatif de la structure, = espaces vides ménagés entre les particules du sol, occupés par de l'eau ou de l'air.

Massive

Particulaire

Grumeleuse
(grumeaux de mm)

Prismatique
(2-4 cm)

Polyédrique
(cm)

Source : Gebat, 1998

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? -> Constituants 32

La structure grumeleuse est caractéristique des sols argilo calcaires.

Structure du sol

Structures fragmentaires arrondies association d'agrégats grenus et grumeleux dans l'horizon supérieur organique d'un sol calcaire (basique) peu épais.

Hauteur de la coupe : 100 cm.



Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 33

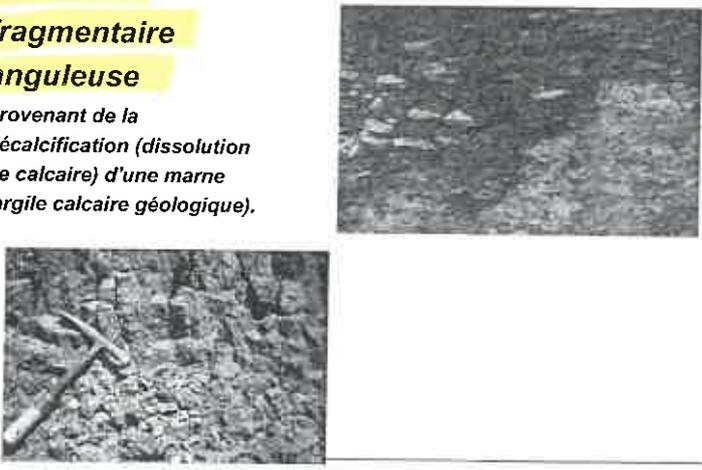
mottes

mottes

Structure du sol

Structure fragmentaire anguleuse

provenant de la décalcification (dissolution de calcaire) d'une marne (argile calcaire géologique).



Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 34

Structure du sol

Elles peuvent être :

- en plaquettes obliques
- lamellaires
- squameuses

Les structures fragmentaires feuilletées

Chacune de ces structures est originale par ses caractères morphologiques et par ses origines.

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 35

Structure du sol

Structure particulière continue des sols squelettiques

Sur sol sableux

Sur dunes

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 36

Structure et caractéristiques du sol

LES DIFFERENTS TYPES DE STRUCTURE DES SOLS SONT DES INDICATEURS DE LEURS CARACTERISTIQUES

STRUCTURES	CARACT. agro/pedo
CUBIQUE	SOL JEUNE
PLAQUETTES OBLIQUES	SOL ARGILEUX JEUNE - ARGILES GONFLANTES
LAMELLAIRE	SEMELLES - HRZ PROFOND DE SOLS ANCIENS - IMPERM.
SQUAMEUSES	APRES STAGNATION D'EAU EN SURFACE
PRISMATIQUE	SOLS ARGILEUX PEU EVOLUES
COLONNES	HRZ PROFOND DE SOLS LIMONEUX EVOLUES
POLYEDRIQUES	HRZ ARGILEUX ASSEZ EVOLUE
POLUEDRIQUES SUBANGUL.	HRZ LIM. OU SABLEUX, AVEC LESSIVAGE PARTIEL /ARGLES
GRENUE	SOLS SATURES EN CALCIUM
GRUMELEUSE	SOLS SATURES EN CALCIUM ET EN MATIERE ORGANIQUE

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 37

Organisation des constituants

Le sol = milieu poreux

Sol vu au microscope optique



Lame mince de sol. Source : V. Helleire, INRA

Sol poreux



Lame mince de sol. Source : V. Helleire, INRA

Sol peu poreux

L'eau et l'air circulent dans les pores, dont la taille et la forme dépendent de la texture et de la structure du sol.

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Fonctions 38

50

Structure et porosité du sol

Def N°1

Porosité structurale

Porosité Texturale (intra particulaire)

(Ruellan; Regards sur le sol- pp 100 et 101)

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

39

structurale: quantité de vide entre des agrégats

texturale: la même chose en microscopique

The diagram illustrates soil aggregates with arrows pointing to the spaces between them, labeled as structural porosity. Below it, a microscopic image shows the internal structure of soil particles, labeled as textural porosity.

51

Structure et porosité du sol

Def. N°2

- Macro porosité $\varnothing > 0.1 \text{ mm} \Leftrightarrow$ écoulement gravitaire de l'eau
- Micro porosité $\varnothing < 0.1 \text{ mm} \Leftrightarrow$ rétention capillaire de l'eau

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

40

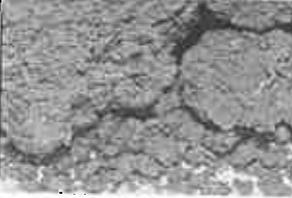
A photograph of soil showing large aggregates. A small white card with a question mark is placed on the soil surface.

S
o
l

Structure et porosité du sol

Def. N°3
Estimation sur le terrain

- Porosité inter-agrégats ⇔ macro P.
- Porosité intra-agrégats ⇔ micro P.

		
Inter ⇔ forte Intra ⇔ forte	Inter ⇔ forte Intra ⇔ faible	Inter ⇔ faible Intra ⇔ faible

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 41

S
o
l

Structure et porosité du sol

	Inter ⇔ évolutive Intra ⇔ faible Sols argileux « gonflants »
Inter ⇔ faible Intra ⇔ faible Sols limoneux tassés	

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 47

Densité
ap
1-1,2
1,2-1,4
1,4-1,6
1,6-1,8

Porosité
60%
50%
45%
35%

Structure et porosité du sol

Mesures de la porosité du sol

Densité apparente

Opacité aux ondes Γ

Figure 27. — Diverses méthodes de mesure de la densité apparente in situ.

1. pèse cylindrique à immersion (porosité)
2. pèse cylindrique à immersion puis pesée en air (porosité)
3. méthode au sable
4. densimétrie au liquide
5. densimétrie à l'NTFA (Dijon)
6. densimétrie au sable (porosité du sol)
7. densimétrie au sable (porosité du sol)
8. densimétrie au sable (porosité du sol)
9. densimétrie au sable (porosité du sol)
10. densimétrie au sable (porosité du sol)

D. Baize (Guide des analyses courantes en pédologie- P113)

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 43

comparaison entre le poids de la terre et l'eau
 $D_a = \frac{\text{poids échantillon}}{\text{poids de son volume en eau}}$

cette méthode se fait avec du matériel radioactif, elle n'est plus autorisée

Structure et porosité du sol

Zone de tassement récente

Zone de tassement ancienne

Fig. 4 - 4.0 3^e niveau d'organisation structurale appliqué à l'exemple de la figure 3

(Y.Gautreaux et al. ; description du profil cultural p30 et 31)

Le cas du profil cultural en terres cultivées

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 44

Le sol, comment ça marche ?

- Introduction
- Formation
- Organisation des constituants du sol
- Propriétés et fonctionnement
- Au-delà du sol
- Bilan

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? 45

Le sol, lieu d'échanges

Sites d'échange
= garde-manger du sol

Solution du sol
= menu du jour

↔

argiles
MO **Complexe argilo-humique**

⊕

quantité argile et mat. org assemblés

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Fonctions 46

CEC : capacité d'échange cationique
 ↳ quantité d'éléments minéraux du sol échangeable avec la solution
 elle se mesure en milliéquivalent/100g
 On utilise un extractif



L'eau dans le sol

Le sol = réservoir d'eau pour les plantes

Formes de l'eau dans le sol

Eau de gravité ou en excès: circule dans les pores grossiers et moyens ($>10 \mu\text{m}$) - asphyxie le sol si elle n'est pas évacuée

Eau de rétention capillaire: occupe les pores fins et très fins ($<10 \mu\text{m}$)

• eau liée ou pelliculaire ou d'adsorption, non absorbable par les racines

Humidités caractéristiques

100 g solide	40 cc eau	sol saturé
20 cc	20 cc	capacité au champ (eau de rétention)
10 cc	30 cc	point de flétrissement
5 cc	32 cc	humidité hygroscopique

Capacité de stockage de l'eau par le sol ou réserve utile (SU max) varie en fonction du type de sol et de plante

Source: Chemyou et Legros (1989)

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

A1/ Le sol, qu'est-ce que c'est ? → Fonctions 47

cc Ponds
PFI Fort
réserva utile
élevée

cc Ponds
PFI Fort
réserva utile
élevée

L'eau dans le sol

Le sol = conduite

Mouvements de l'eau dans le sol

- descendants (infiltration)
- latéraux (ruissellement, écoulement hypodermique)
- ascendants (ascension capillaire en milieu drainé ou remontée à partir d'une nappe d'eau libre)

précipitations

infiltration

stockage

recharge

sol

roche

nappe

SOURCE: INRA Orléans

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

A1/ Le sol, qu'est-ce que c'est ? → Fonctions 48

Le sol, qu'est-ce-que c'est ?

Introduction
Formation
Organisation des constituants du sol
Propriétés et fonctionnement
Au-delà du sol
Bilan

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? 49

Et au delà du sol ?

Du sol à l'eau souterraine

piézomètre

profil d'humidité

eau capillaire suspendue

zone non saturée (réservoir + eau de rétention + air)

zone saturée (réservoir + eau de rétention + eau de gravité)

surface de la nappe

surface libre

capillaire continue

0 5 10 15 20 25 30% teneur en eau

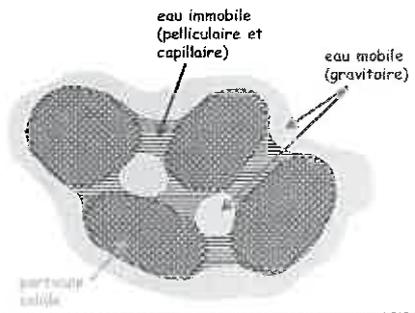
SOURCE : M. Loamert (INRA Orléans) (Custery, 1982 : modifié)

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Au delà du sol 50

Et au delà du sol ?

Quelques définitions

- **aquifère** (aqua = eau ; fero = porter) : formation hydrogéologique perméable permettant l'écoulement significatif d'une nappe d'eau souterraine
- **aquifère constitué de deux phases principales en interactions :**
 - **le réservoir** : phase solide, milieu poreux ou fissuré ;
 - **l'eau souterraine**, phase liquide, dont la fraction mobilisable (eau gravitaire) constitue la nappe d'eau souterraine alimentant sources, rivières et captages.

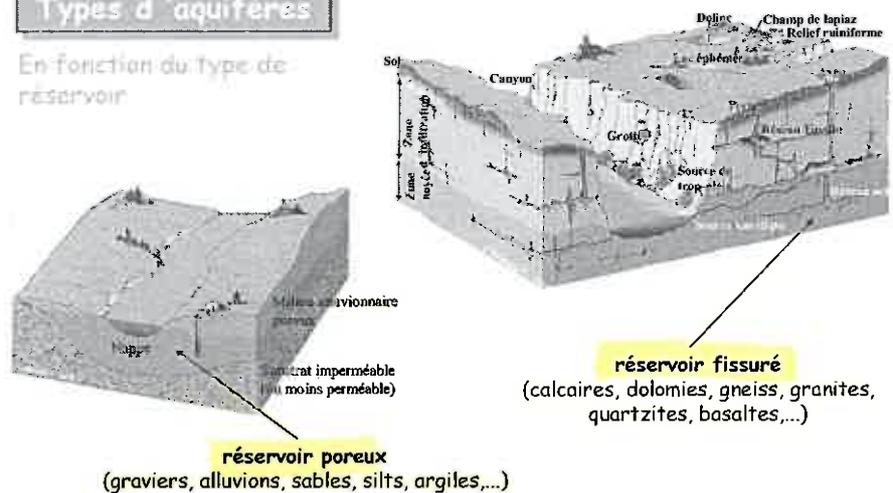


Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Au delà du sol 51

Et au delà du sol ?

Types d'aquifères

En fonction du type de réservoir



réservoir poreux
(graviers, alluvions, sables, silts, argiles,...)

réservoir fissuré
(calcaires, dolomies, gneiss, granites, quartzites, basaltes,...)

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Au delà du sol 52

50

Et au delà du sol ?

Types d'aquifères

En fonction du type de nappe

(SOURCE : Costantini, 1982 ; modifié)

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 53

50

Le sol, qu'est-ce que c'est ?

→	Introduction
→	Formation
→	Organisation des constituants du sol
→	Propriétés et fonctionnement
→	Au-delà du sol
→	Bilan

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 54

Bilan

Le sol, c'est :

- Un milieu vivant, actif (« peau », épiderme de la terre) ;
- Un milieu structuré ;
- Un réacteur chimique ;
- Un fonctionnement hydrique variable ;
- Une variabilité dans l'espace ;
dont la connaissance est indispensable pour optimiser les pratiques.

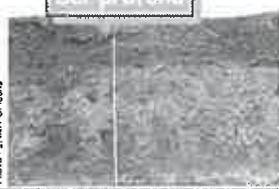
Photo : M. Isenhardt (INRA Grenoble)



Sol mince

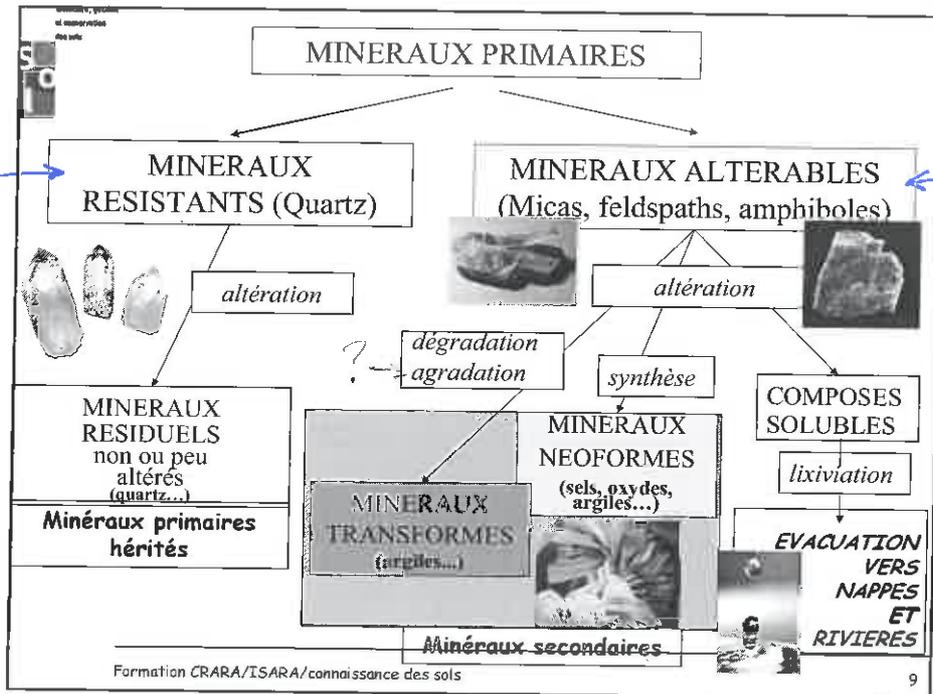
Exemple de deux
sols voisins dans
l'espace

Photo : INRA Grenoble



Sol profond

29/10/24



Principaux minéraux des roches silicatées

GRUPE	minéral	Formule
AMPHIBOLES	Hornblende	$Na Ca_2 (Mg, Fe)_4 (Al, Fe) (Si, Al)_8 O_{22}(OH, F)$
PYROXENES	Augite	$(Ca, Mg, Fe, Al)_2 (Al, Si)_2 O_6$
PERIDOTS	Olivine	$(Mg, Fe)_2 SiO_4$
FELDSPATHS alcalins	Orthose	$K Al Si_3 O_8$
	Albite	$Na Al Si_3 O_8$
FELDSPATHS plagioclases	Anorthite	$Ca Al_2 Si_2 O_8$
	Albite	$Na Al Si_3 O_8$
FELDSPATHOIDES	Leucite	$K Al Si_2 O_6$
	Néphéline	$Na Al SiO_4$
QUARTZ		SiO_2
MICAS	Muscovite	
	Biotite	$K (Mg, Fe)_3 (Al Si_3) O_{10} (OH, Fe)_2$
	Chlorite	$(Mg, Fe)_{10} Al_2 (Si, Al)_8 O_{20} (OH, F)_{16}$

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 10

viennent du méta morphisme

là on a de la potasse

là du Mg et Fe

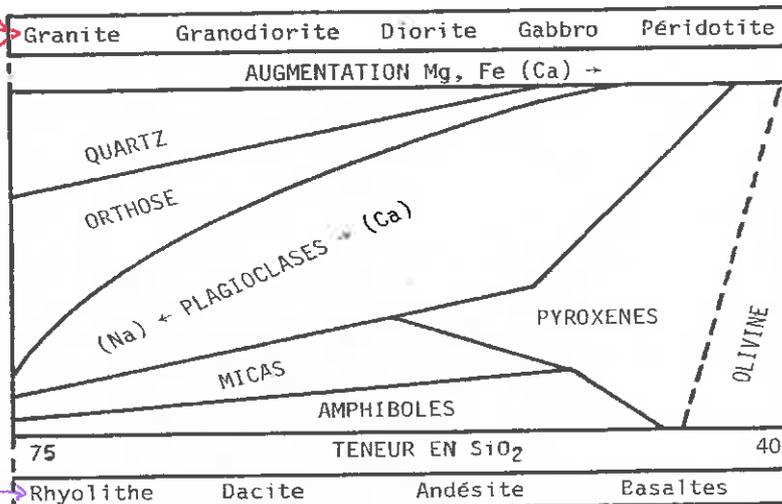
et c'est cool pour la plante

Principaux minéraux des sols non silicatés

CARBONATES	Calcites et aragonites	Ca CO_3
	Dolomites	$(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3$
SULFATES	Gypse	$\text{Ca SO}_4, 2 \text{H}_2\text{O}$
PHOSPHATES	Apatite	$\text{Ca}_5 (\text{F}, \text{Cl}) (\text{PO}_4)_3$
OXYDES	Hématites	Fe_2O_3
HALOGENURE	Chlorure de sodium	NaCl

primordial pour Krebs!

Composition des principales roches magmatiques et éruptives



magmatiques

éruptives

zone pauvre en cations

zone riche en cations

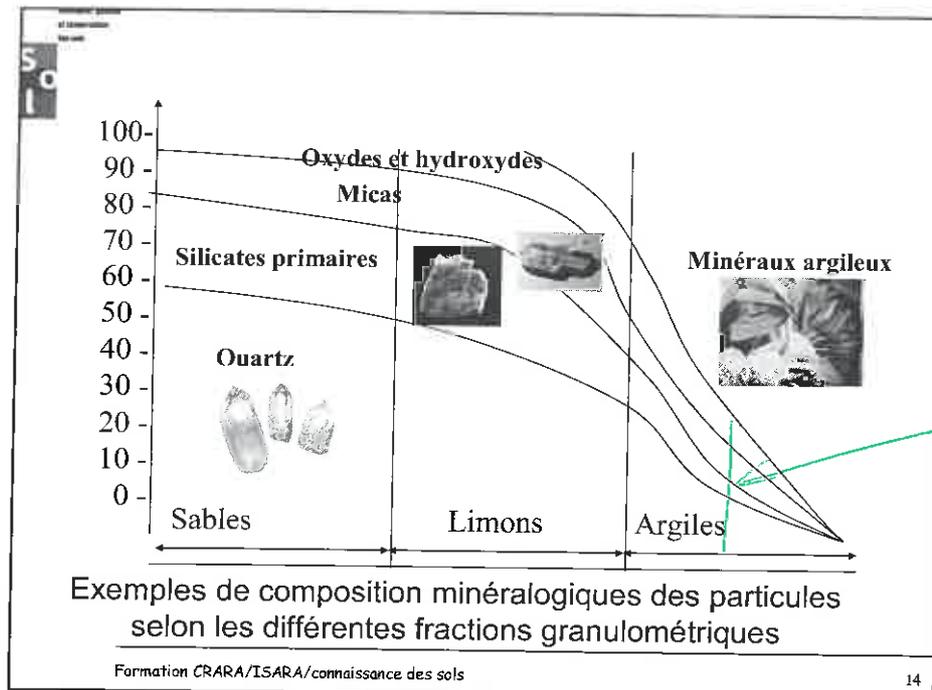
SOL

Texture des grands types de roches sédimentaires

Composition	Granulo.	Consistance		
		Meuble	Consolidée	Durcie
Roches silicatées	Fine	Argiles & marnes	Ardoises	
	Limoneuse	Loess, lehm & limons	Grauwackes	
	Sableuse	Sables	Grès	Meulières
Roches calcaires	Argilo-limoneuses	Craies	Calc. Oolithiques	Calc. Coraliens
		Calcaires fins	Tufs	Marbres
Roches mixtes	Fines	Calcaire marneux	Marbres argilo calcaires	
	Grossières	Calcaires gréseux & molasses	Meulières calcaires	

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

13



S
L

Constituants minéraux du sol

Les différentes phases du sol (rappels)

Les différents minéraux

Les minéraux argileux

Les sels et sesquioxydes

Bilan

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? 15

S
L

Les minéraux argileux

- Minéraux argileux = 30 %* des argiles granulométriques
- Principales caractéristiques
 - Composition chimique : Phyllosilicates
 - Granulométrie : Dimension < 2µm
 - Forme lamellaire
 - Possibilité de suspension aqueuse +/- stable

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 16

*30 à 60%

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

S

o

De quoi sont constitués les sols ?

Constituants minéraux




300904 20KV ***** 6.0um

Exemple d'argiles :
la kaolinite

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Constituants 17

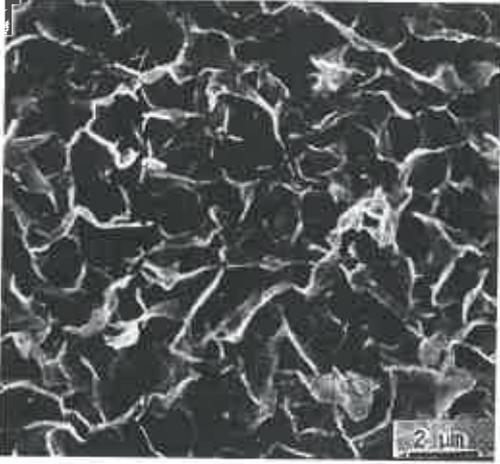
Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

S

o

De quoi sont constitués les sols ?

Constituants minéraux

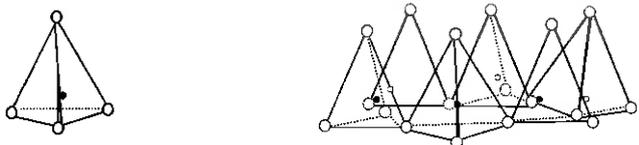


2.0um

Exemple d'argiles :
la montmorillonite

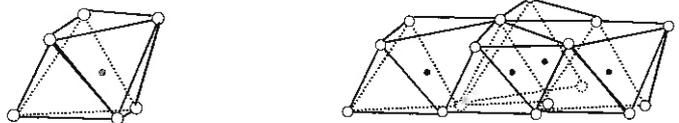
Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Constituants 18

Tétraèdre Silicium - Oxygène **Couche tétraédrique**



○ Oxygène • Silicium

Octaèdre Aluminium - Oxygène / Hydroxyle **Couche octaédrique**



○ Hydroxyle • Aluminium, Magnésium...

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 19

Schéma d'un tétraèdre



Schéma d'un octaèdre



Tétraèdre

Si⁴⁺

HO

Octaèdre

Al³⁺
Mg²⁺

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 20

Terminologie de la structure des argiles

Tétraèdres et octaèdres

Représentation schématique de la structure d'un minéral argileux

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

21

Cavité hexagonale du feuillet tétraédrique

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

22

TE = 1 couche de tétraèdre
 OC = 1 couche d'octaèdre

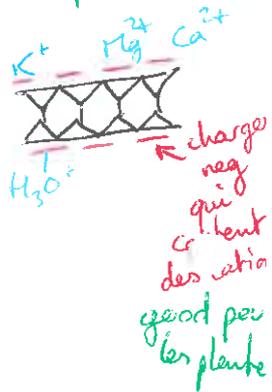
CEC
 Capacité
 d'échange
 de cations

Principaux types de minéraux argileux

- Modèles TE-OC (1/1)
 - Pas de substitution dans les couches (électriquement neutre):
 - › Épaisseur constante des feuillets (7Å) KAOLINITE
- Modèles TE-OC-TE (2/1) **MONTMORILLONITE**
 - Forte substitution tétraédrique et octaédrique (fort pouvoir fixateur de K+),
 - › Al dominant dans OC, épaisseur constante des feuillets (10Å), ILLITES
 - › Mg dominant dans les OC, épaisseur variable des feuillets (>15Å), VERMICULITES
 - Substitution modérée octaédrique (pas de pouvoir fixateur de K+)
 - › Épaisseur variable des feuillets (> 20Å) SMECTITES MONTMORILLONITES
- Modèles TE-OC-TE-OC (2/1/1)
 - Épaisseur constante des feuillets et charge nulle
 - › CHLORITES

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 23

ne se fissure pas donc porcelaine!



KAOLINITE $Al_2O_3; 2SiO_2; 2H_2O$

Couche octaédrique
 Couche tétraédrique
 Distance inter-réticulaire : 7Å

ILLITE $K Al_2(OH)_2; (Al Si_3 (O, OH)_{10})$

Substitution de Si par Al
 Distance de 10Å
 K⁺ OH⁻ K⁺
 K⁺ K⁺
 K⁺ K⁺ Fe / Mg

SMECTITES $2Al_2O_3; 8SiO_2; 2H_2O; nH_2O$
 (montmorillonite) $(Mg, Ca) O, Al_2O_3, 5SiO_2, nH_2O$

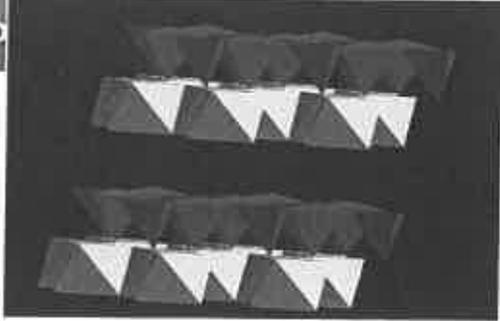
Substitution de Al par Mg et Fe
 H₂O H₂O H₂O
 H₂O H₂O Ca/Na
 H₂O Ca/Na H₂O
 Distance de 14Å
 Gonfle à 17Å

CHLORITE $Al_2O_3; 2SiO_2; 2H_2O$

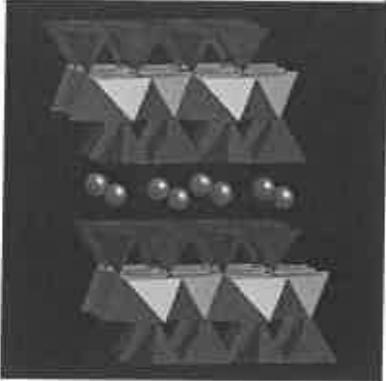
Substitution de Al par Fe
 Couche Mg-OH
 Distance de 14Å

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 24

S
L
C



Kaolinite



Montmorillonite

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

25

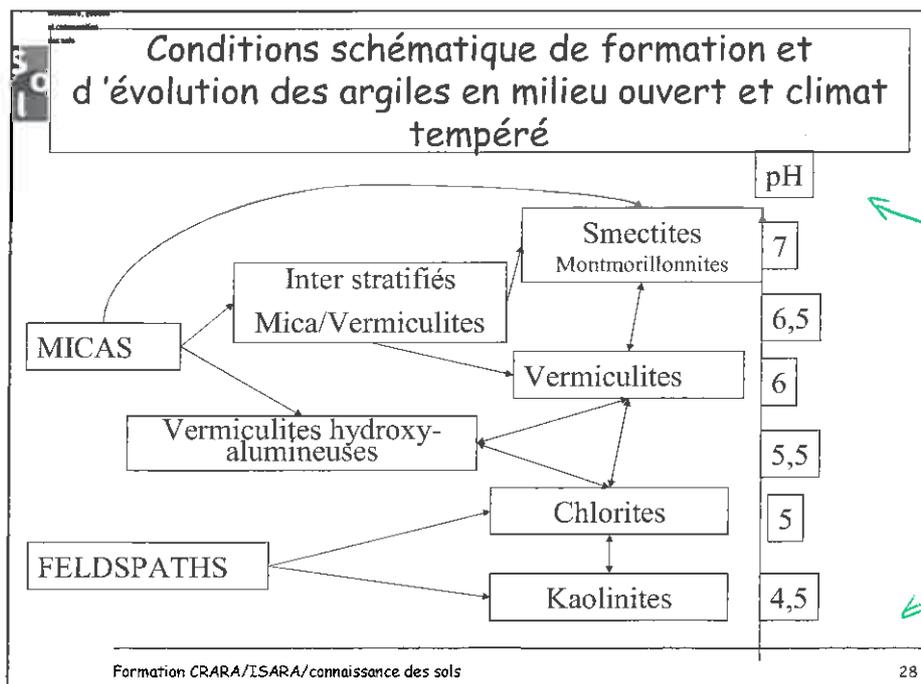
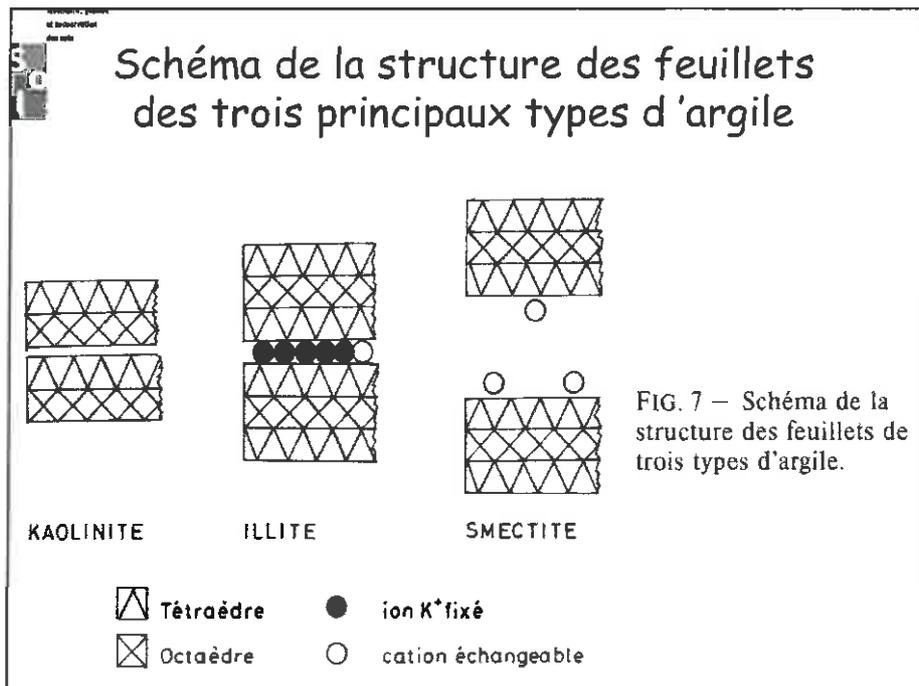
S
L
C

Caractéristiques des principales argiles des sols

Type de feuillet	Épais Å	Substitut.		Nom	CEC meq/10 0g	Interfeuillet			Surf. Spécif. m ² /g
		TE	OC			Cation s	Eau	Dist ance	
Te/Oc	7	non	-	Kaolinite	<10	non	Non	7 Å	10-30
Te/Oc /Te	10	non	Oui	Montmori llonite	100-120	Oui divers	Oui	Varia ble	800
		Al ³⁺	Non	Beidellite	100-120		Oui	Varia ble	
			Oui	Illite	20-30	K ⁺	Non	10 Å	100- 200
				Vermiculi te	100-150	Diver s	Oui	Varia ble	400- 500
				Chlorite	10-15	Mg ²⁺ , Al ³⁺	Non	14 Å	

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols

26



INSTITUT NATIONAL
de la recherche
en agronomie
et en forêt
S
I
C

Les méthodes d'analyse des argiles

- Rx
- Microscopie électronique, à balayage
- Thermique
- Chimique

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 29

INSTITUT NATIONAL
de la recherche
en agronomie
et en forêt
S
I
C

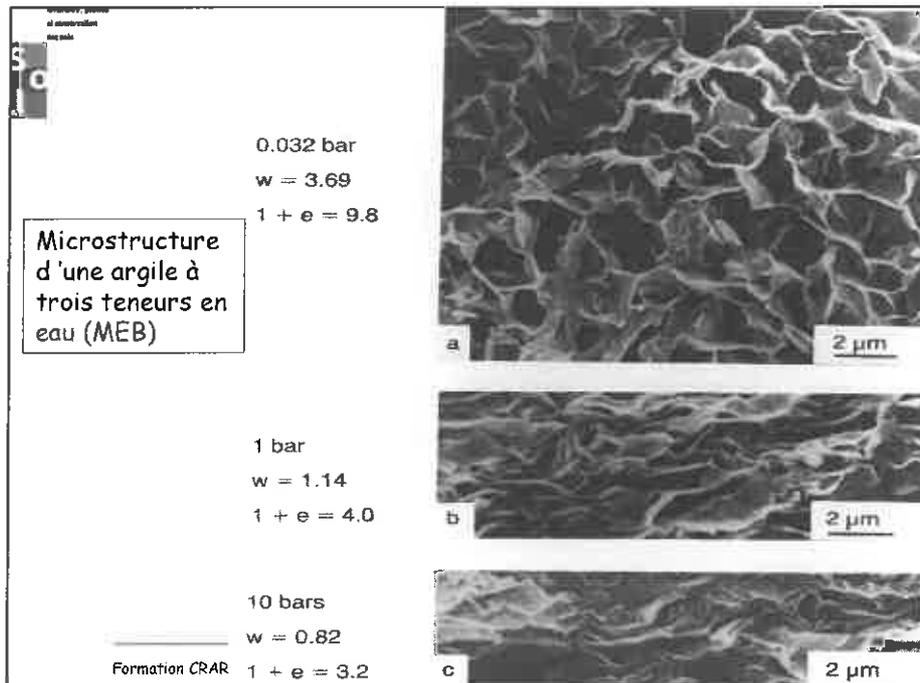
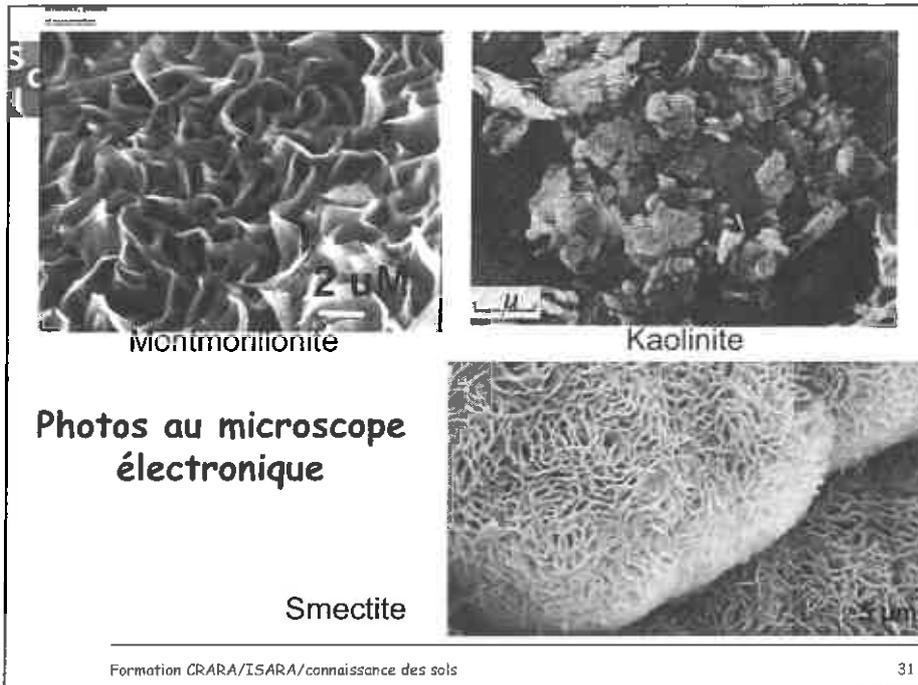
Spectres Rx

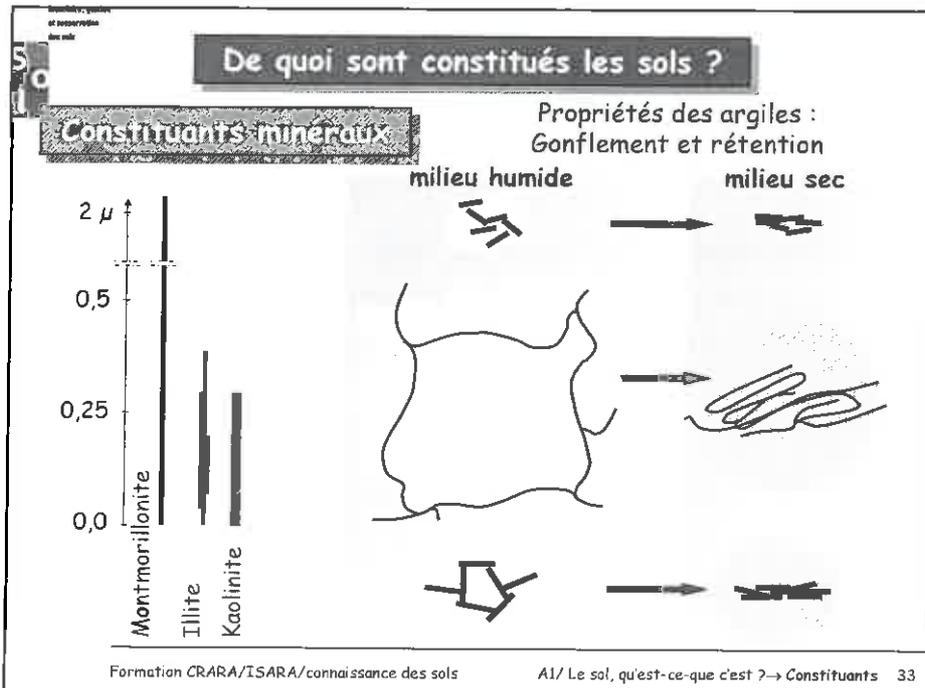
PLANCHE 1.

a : Kaolinite	d: Hectorite-Ca	f : Saponite-Ca
b : Talc	e : Montmorillonite-Ca	g : Vermiculite-Mg
c : Sépiolite	h : Chrysotile	

L'étalonnage est fourni par du silicium (repéré sur le cliché)

FORMATION CRARA/ISARA/CONNAISSANCE DES SOLS 30





Analyse chimique des argiles

Moyenne	Montmorillonite	Vermiculite
SiO ₂	52,2	35,0
TiO ₂	Variable	Variable
Al ₂ O ₃	20,7	15,1
Fe ₂ O ₃	2,5	4,8
FeO	Variable	0,7
NiO	0	3,8
CaO	2,1	0,3
MgO	3,3	21,1
K ₂ O	0,6	Variable
Na ₂ O	Variable	Variable
H ₂ O	17,9	19,3

Montmorillonite : $Si_4 O_{10} [Al_{(2-x)} R^{2+}_x] (OH)_2 CE_x \cdot nH_2O$

Vermiculite : $Si_{4-x} Al_x O_{10} [R^{2+}_{3-x} R^{3+}_y] (OH)_2 CE_{x-y} \cdot nH_2O$

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols
34

Moins de silice car des atomes sont remplacés par des Al et Fe

*Substitutions
Montm. Al³⁺ → Mg⁺⁺
Ver. Si³⁺ → Al³⁺, Fe²⁺ et Fe³⁺
Al³⁺ → Mg⁺⁺
Kaul (rien)*

	CEC en meq/100g	Electroneg.
Montmor.	100	élevée
Vermic.	20-30	très élevée ← elle, elle retient beaucoup de cations, tant et si bien qu'elle le lâche pas pour la plante
Kaol	2	très faible

Les propriétés des argiles
(smectites, vermiculites)

- Surface de contact
- Phénomène d'échange d'ions
 - Fixation temporaire de cations entre les feuillets en eq. Avec solution du sol
 - Cf. CEC
- Fixation, rétention de l'eau
- Floculation/dispersion
↳ capacité des feuillets à s'agréger

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 35

Floculation/dispersion des argiles

	Dispersé (feuillets libres et mobiles)	Floculé (ponts calciques)
Etat humide	Force de répulsion entre les particules Pâte très visqueuse	Forces faibles ou nulles Pâte peu visqueuse
Etat sec	Prise en masse importante Macroporosité faible Microporosité importante	Peu de prise en masse, petites mottes Macroporosité augmente Microporosité diminue
Réhumectation rapide	Engorgement et constitution de boues	L'eau circule bien
Réhumectation lente	L'eau entre dans les particules et forme une masse pâteuse plastique et adhérente	L'eau pénètre mal dans les particules qui restent soudées L'ensemble reste stable

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 36

S O

Constituants minéraux du sol



- Les différentes phases du sol (rappels)
- Les différents minéraux
- Les minéraux argileux
- Les sels et sesquioxydes**
- Bilan

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? 37

S O

De quoi sont constitués les sols ?

Les sesquioxydes

Oxydes hydratés métalliques, très peu

- **Sesquioxydes d'aluminium:**
Incolores (sols très acides) - Al \leftarrow feldspaths et les illites.
Gibbsite $Al(OH)_3$ (sols tropicaux et équatoriaux \leftrightarrow bauxites).
- **Sesquioxydes de fer et de manganèse**
Hématite Fe_2O_3 ferriques de couleur rouge
Goetite $Fe_2O_3(H_2O)$ de couleur beige
Hydrates ferreux $Fe(OH)_2$ de couleur gris bleuté



HYDROMORPHIE



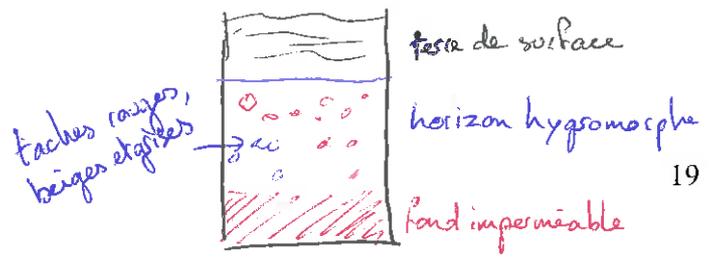


Argile \leftarrow 10%

\leftarrow 15%

\leftarrow 18% (niveau imperméable empêchant l'eau de couler)

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? \rightarrow Constituants 38



L'eau dans le sol

Quelques traces de l'eau dans le sol ... Gley (G) et Pseudo Gley (g)

Horizon rédoxique (g), à saturation en eau temporaire

Horizon réductique temporairement réoxydé (Go), à saturation en eau quasi-permanente

Horizon réductique sensu stricto (Gr), à saturation en eau permanente

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Fonctions 39

L'eau dans le sol

Profondeur Cm	I			II			III			IV				V				VI			
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
0																					
25																					
50																					
80																					
120																					
150																					

Classes d'hydromorphie du GEPPA (1981)

- (g) caractère rédoxique peu marqué (pseudogley peu marqué)
- g caractère rédoxique marqué (pseudogley marqué)
- (G) horizon réductique réoxydé (gley réoxydé)
- G horizon réductique (gley)
- Classe I Aucune manifestation d'hydromorphie avant 120 cm
- Classe II Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 80 et 120 cm
- Classe III Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 50 et 80 cm
- Classe IV Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 25 et 50 cm
- Classe V Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 0 et 25 cm
- Classe VI Manifestations d'hydromorphie dès la surface du sol, avec un horizon réduit débutant avant 80 cm de profondeur

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols 40

De quoi sont constitués les sols ?

Les sels

- ✓ Calcium
 - carbonate de calcium
 $\text{CO}_3 \text{Ca} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow (\text{CO}_3\text{H})_2 \text{Ca}$
 Peu soluble très soluble
 - sulfate de calcium (gypse) Ca SO_4
- ✓ Azote
 - Nitrates et nitrites
 $2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \Leftrightarrow 2 \text{NO}^- + 4 \text{H}^+ + 2 \text{H}_2\text{O}$
 $2 \text{NO}^- + \text{O}_2 \Leftrightarrow 2 \text{NO}_3^-$
- ✓ Autres sels
 - $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$
 - $\text{K}^+ \text{Cl}^-$
 - $2 \text{Mg}^{++} 3 \text{O}^{--}$
 - $\text{PO}_4^{--} \text{Ca}^{++}$

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Constituants 41

De quoi sont constitués les sols ?

Fixation des sels dans le complexe argilo humique du sol

Formation CRARA/ISARA/connaissance des sols A1/ Le sol, qu'est-ce-que c'est ? → Constituants 42



Initiation et sensibilisation
à la connaissance des sols

Matière organique du sol

Jean Marie VINATIER (CRARA)

Ont également participé à la réalisation de ce montage



MEMBRE D'ASSOCIATION
Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

Organisation de la formation

- Module 1/ Les sols : observation et fonctionnement
- Module 2/ Matière organique des sols
- Module 3/ Initiation à la pédogenèse
- Module 4/ Cartographie des sols et des paysages, gestion des informations
- Module 5/ : Évaluation du potentiel épurateur des sols

JM VINATIER

2

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

Matière Organique du sol



Les différents types de matière organique

Évolution de la matière organique

Les différents modèles d'évolution

Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

Approche Agronomique

JM VINATIER

3

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

La matière organique varie de $\leq 1,5$ à 10% (tourbes)

+ un sol est foncé, plus il contient des matières organiques (en g)

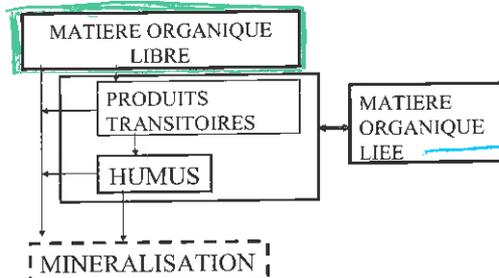
COMPOSITION QUANTITATIVE DE LA MO DU SOL (25cm ; d=1,5 ; MO=2%)

ELEMENTS FIGURES ET SUBSTANCES CHIMIQUES DEFINIES	1,5t.	2%
BIOMASSE MICROBIENNE	1t.	1,2%
HUMUS	72,5t.	96,8%
TOTAL	75t.	100%

matière organique libre

MO LIBRE ET LIEE

(Durr et al. 1979)



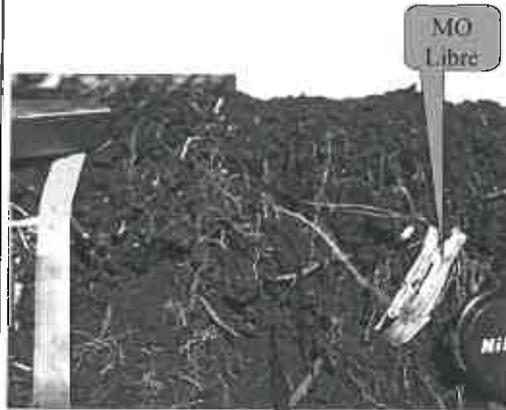
liée au complexe argile humique

JM VINATIER

4

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

Matière organique du sol



Exemple d'horizon A.
Hauteur de la coupe : 15 cm.

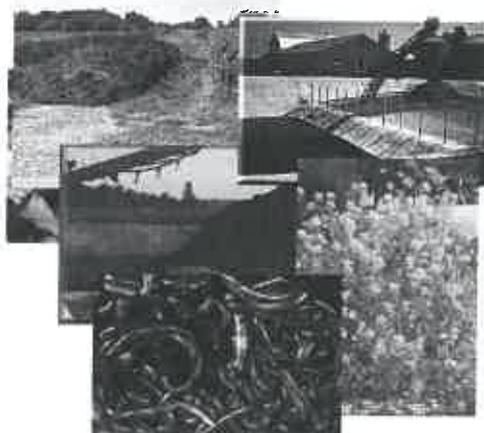
JM VINATIER

5

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

on a de MO ^{liée}
+ les "grumeaux" de terre
sont arrondis

Des ressources de matière organique fraîche



JM VINATIER

6

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

(déjections + urines)
lisier → ces déjections
animales sont de
la matière organique
et aussi

↓

Fumier : déjections + paille
et
compost : déchets variés
brassés qui se transforment
déjà en humus

On a aussi des engrais verts
entre 2 cultures, on plante
certaines variétés (piège
à nitrates) : colza, fève...
ça limite l'érosion et
piège les nitrates.

(zones vulnérables au
nitrates → les agri
sont contraints d'utiliser
des engrais verts)

Matière Organique du sol



Les différents types de matière organique

Évolution de la matière organique

Les différents modèles d'évolution

Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

Approche Agronomique

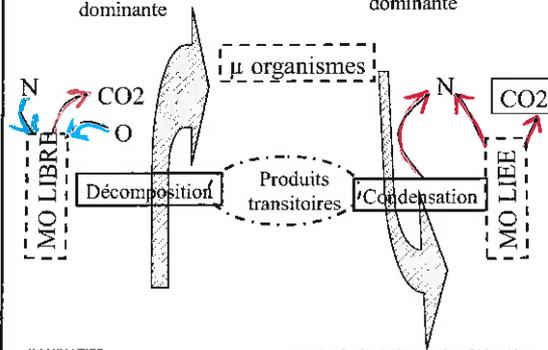
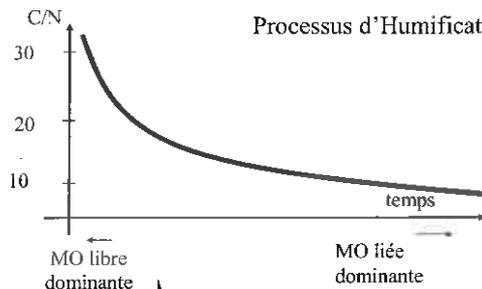
JM VINATIER

7

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône-Alpes

EVOLUTION DU C/N DU SOL

Processus d'Humification



JM VINATIER

8

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône-Alpes

Matière Organique du sol



Les différents types de matière organique

Évolution de la matière organique

Les différents modèles d'évolution

Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

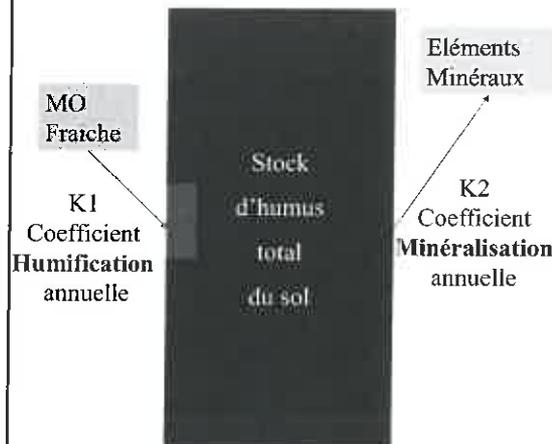
Approche Agronomique

JM VINATIER

9

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

Bilan humique Modèle mono compartimental



JM VINATIER

10

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

Modèle de
Stephane Henin

Humus produit par an soit ΔH_u

$$\Delta H_u = K_1 \times \frac{\text{quantité de M.O. Fraîche}}{\text{en matière sèche}}$$

↑ en Kg/an

Minéraux produits par an soit ΔM_i

$$\Delta M_i = K_2 \times \frac{\text{quantité d'humus}}{\text{total en mat. sèche}}$$

↑ en Kg/an

Les terraux sont des humus industriels

Les sols répondent soit
à la culture de l'humus
de l'humus, pour
qui est en quantité
de base d'un organisme

Quantité d'humus (MO Liée) produits par différents sous produits (d'après Rémy et al. 1975)

SOUS PRODUIT	% de MS	Quantité épandue	K ₁	Humus produit (kg)
Paille	85	6t	0.14	715
Fumiers	25 à 28	30t	0.30 à 0.4	2250 à 3360
Lisiers	10 à 13	30t (20m ³)	0.2	600 à 780
Fientes	25	10t	0.2	500
Boues de STEP	5	10t	0.09	45
Ss produits de distillerie	66	20t	0.02	264
Compost urbains	60	10t	0.40	2400
Tourbes	50	20t	0.18	1800
Humus industriel	70	4t	0.6	1680

K₁ dépend ici du type de produit

JM VINATIER

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

COEFFICIENT DE MINÉRALISATION DE L'HUMUS (K₂)

(en fonction des teneurs en argile et en calcaire du sol)
d'après REMY et al. 1974

K₂ dépend ici de la teneur du sol en argile et en carbonate de calcium.

CaCO ₃ (0/00)	Argile (0/00)		
	50	150	300
0	2.4	1.7	1.2
50	1.9	1.4	1.0
150	1.4	1.0	0.7
400	0.8	0.6	0.4

K₂ exprimé en %

terrains limoneux sableux
→ consommation vite la H₂O

sol argileux calcaire
→ stockage naturel de la H₂O

JM VINATIER

12

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

→ L'argile et le CaCO₃ empêchent la minéralisation:
 • le CaCO₃ forme une sorte de gaine de protection sur les humus qui sont
 • l'argile "coince" l'humus entre ses feuillets
 → les azobactères peinent à accéder à l'humus.

$\rightarrow 20t$ Humus
 $\rightarrow 70t$ de sol ($10000m^2 \times 1,5 \times 25cm$)
 mises en situat°: (sol $\rightarrow 15\%$ argile) $K_2 \rightarrow 1,4\%$
 $\rightarrow 5\%$ $CaCO_3$ en considère
 $\rightarrow 2\%$ NO

1. un éleveur / récolte de blé
 apporte 30t de fumier/hectare

$$\Delta Hu = 30 \times 0,35 = 2,25t$$

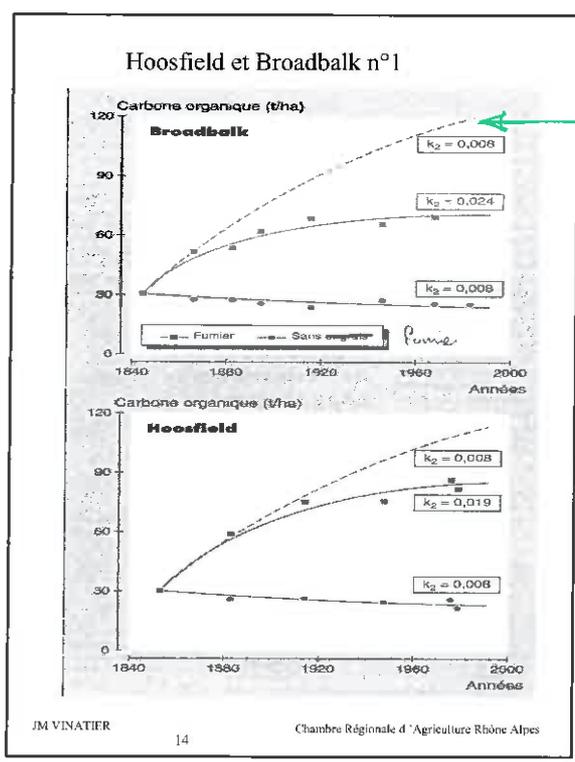
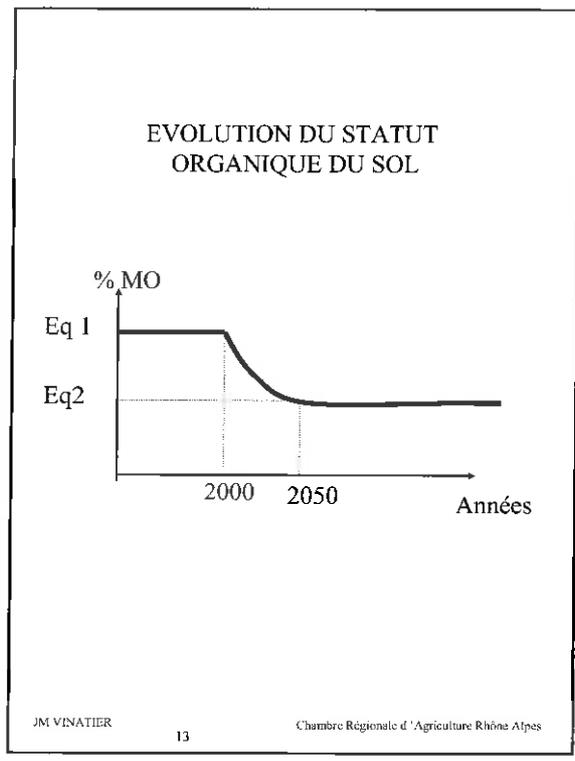
$$\Delta Mi = (70 + 2,25) \times 0,014 = 1,01t/haxan$$

2. un céréalier / récolte son grain
 apporte 6t de paille/hectare

$$\Delta Hu = 0,71t$$

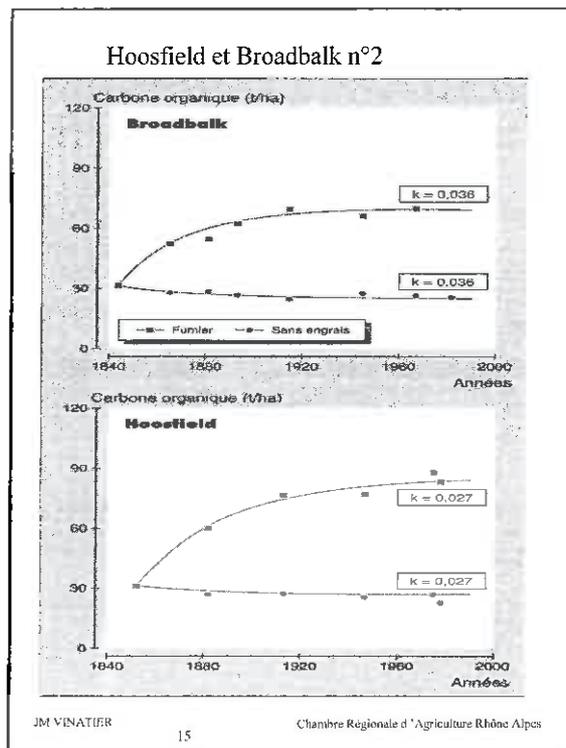
$$\Delta Mi = (70 + 0,71) \times 0,014$$

$$\Delta Mi = 0,99t/an$$

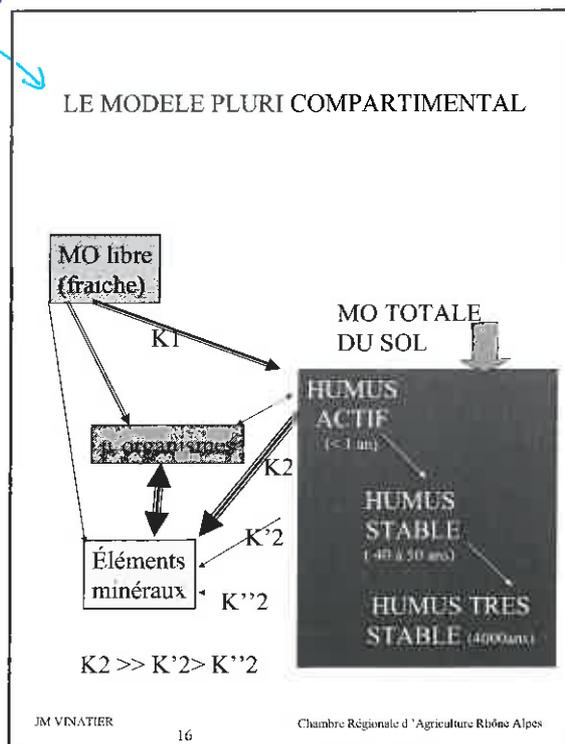


cette théorie du modèle
 mono-compartmental
 surestime le coefficient
 de minéralisation
WHY?!
 \rightarrow Modèle pluri-compartmental

On considère que dans l'humus apporté:
à 30% se transforme avec K_2



L'humus n'étant pas homogène,
on met en place le



Dans la pratique,
on continue à utiliser
le modèle monocompartmental
en considérant que ce modèle
surestime les transformat°.

Matière Organique du sol



Les différents types de matière organique

Évolution de la matière organique

Les différents modèles d'évolution

Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

Approche Agronomique

DETERMINATIONS DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE EN ANALYSE AGRONOMIQUE DE ROUTINE

DOSAGE DU CARBONE TOTAL

☒ Oxydation énergétique par un mélange sulfochromique

☒ Dosage du carbone total par la méthode de « ANNE »

☒ $MO = [C] * 1.724$

nb: $1.5 < K < 2$

DOSAGE DE L'AZOTE TOTAL

☒ Lors de l'attaque sulfochromique, l'N de l'humus est minéralisé en NH_3

☒ Dosage du N (NH_3) total

☒ $MO = [N] * 20 \iff C/N = 11.6$ (valeur standard)

nb: $8 < C/N < 30$

Dosage + fiable

Dosage variant selon le type d'humus

en vrai vaste autre ~~est 301~~

La valeur $\frac{C}{N}$ nous renseigne sur la capacité d'humification du sol:

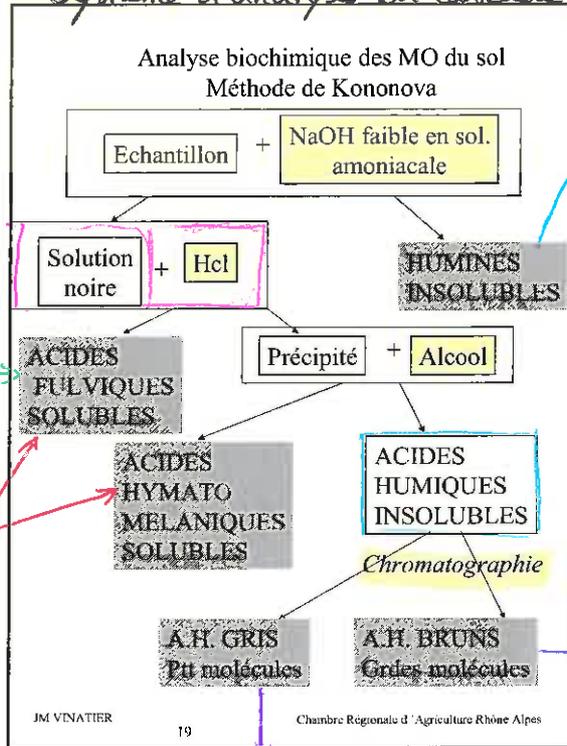
$8 < \frac{C}{N} < 12 \rightarrow$ bonne humif

$\frac{C}{N} > 20 \rightarrow$ humif. difficile

(c'est parce que les bactéries ont de mauvaises conditions de vie)

→ sol trop tassé
→ sol trop acide ou basique
→ sol inondé

Système d'analyse en cascade



chaîne organique longue.
durée de vie = ≈ 1000ans

séparation

partie qui se
minéralise le + vite

durée de vie ≈ 1an

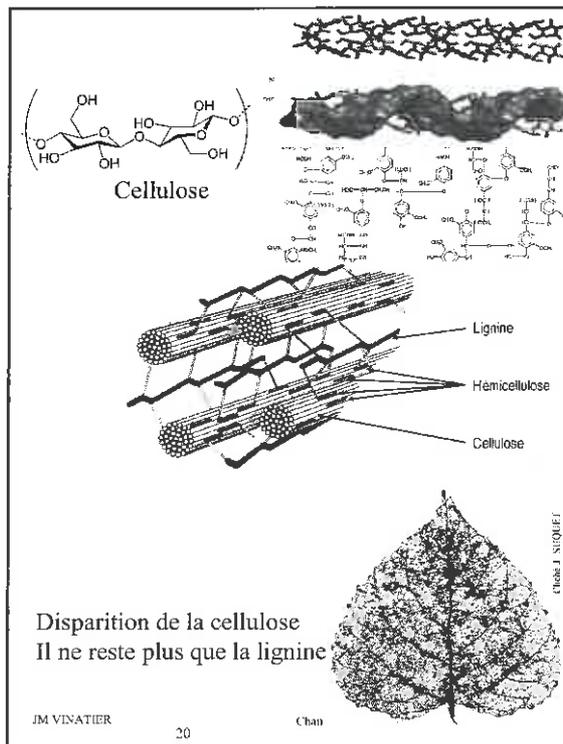
→ durée de vie ≈ 100ans

durée de vie ≈ 10ans

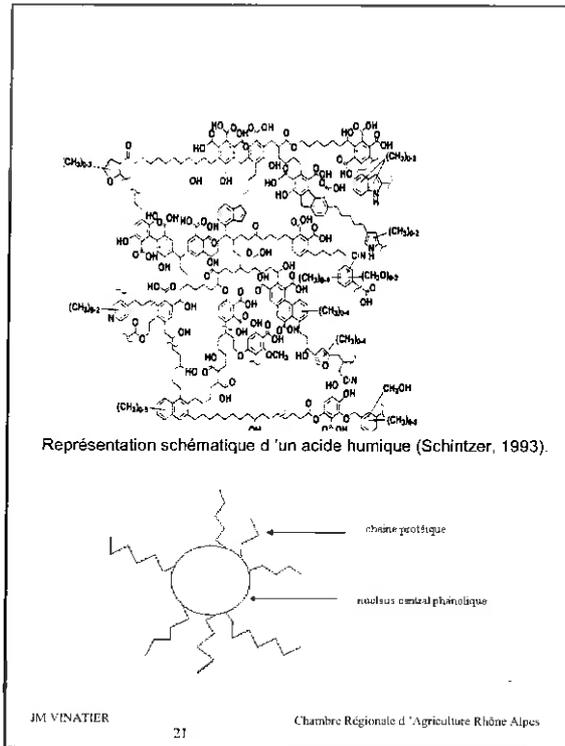
JM VINATIER

19

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes



les argiles sont des micas et orthoses dégradés



la cellulose \rightarrow come From
engrais verts
AH Brun compostés

Processus d'évolution de la MO du sol en milieu naturel

	Milieu	Mode d'action	Produit	Dynamique
Cellulolyse	Basique	Rapide (basidio.)	CO ₂ + A.H. Gris Glucides Uronides	Minéralisation rapide
	Acide et aérobie	Lente (champ.)		
	Neutre & anaérobie	Assez rapide (basidio.)	CO ₂ + CH ₄ + alcools	Méthanisation & lessivage
Ligninolyse	Basique	Lente (basidio.)	A.H. BRUNS	Humification stable
	Très Acide & aérobie	Rapide (champ.)	ACIDES FULVIQUES	Polyphénols très mobiles et agressifs
Protéolyse	Aérobie & basique	Rapide (μorg. variés)		Synthèse microbienne, Acides orga. Solubles, NH ₄
	acide	Très lente	ACIDES AMINES	

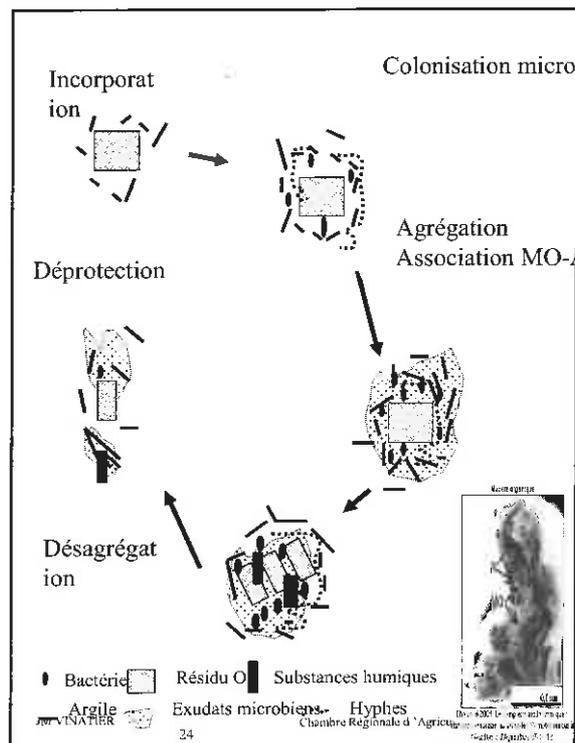
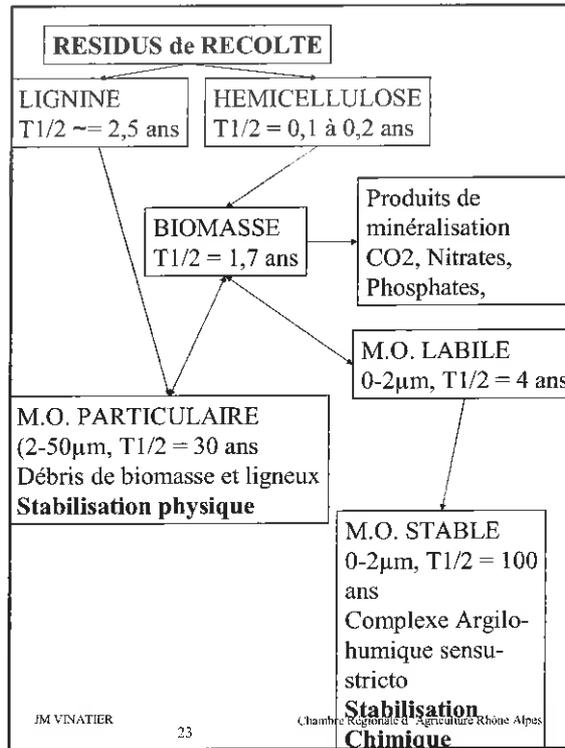
NB: en milieu acide et anaérobie, la MO fraîches n'évolue pas, c'est la TOURBE

JM VINATIER 22 Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

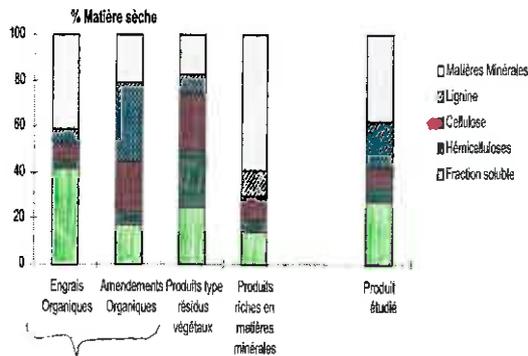
\rightarrow se lessive facilement et hydrolysent les argiles

À pH acides, on corrige avec des apports de calcaire.

Retenir les principes ?



Caractérisation biochimique des amendements organiques (SADEF 99)



2 + importants

* engrais organiques :
 - fumiers
 - déchets verts
 avec des minéraux et éléments solubles
 * amend^{nt} : compostes
 déchets verts
 lignine et cellulose

Matière Organique du sol



Les différents types de matière organique

Évolution de la matière organique

Les différents modèles d'évolution

Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

Approche Agronomique

LES DIFFERENTS HORIZONS ORGANIQUES DANS UN PROFIL PEDOLOGIQUE

Ao	L ou O _t	^{litière} MO fraîche
	F ou O _f	Fermentation cellulose
	M ou O _h	Humification
Al	Mélange humus et terre (zone de minéralisation)	

L'humificat° est parfois si rapide que les horizons F et M ne peuvent être observés.

JM VINATIER

27

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

mull : la matière org. identifiable (litière) est très peu épaisse

en g^{al} ds les forêts de feuillus dont les feuilles sont vite dégradées



28

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

> Les horizons O, H et A



Bresil, centre-sud, climat tropical subhumide

*Litière moyennement épaisse sous forêt : c'est un **moder**, avec ses deux couches Oi et Of posé sur un horizon organo-minéral A.
Hauteur de la coupe : 20 cm.*

JM VINATIER

29

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône-Alpes

moder = litière moyennement épaisse



France, Morvan, climat tempéré froid

*Litière épaisse sous forêt: c'est un **MOR**, avec ses trois couches Oi, Of, Oh, posé sur un horizon organo-minéral A.
Hauteur de la coupe : 25 cm.*

JM VINATIER

30

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône-Alpes

mor = litière épaisse

oh! ôô

CARACTERISTIQUES DES TROIS PRINCIPAUX TYPES D'HUMUS

	MULL	MODER	MOR
HRZ	O1 A1 épais	O1 Of A1 épais	O1 Of Oh <u>A1 mince</u>
Composés	Acides humiques gris	Acides humiques bruns	Acides fulviques
pH	7	5.5	4
C/N	10	20	30
S/T	100%	20%	5%
CEC(meq/100g)	600	400	200

$S =$ total des cations échangeable
 $T =$ capacité d'échange cationique
 soit \sum valeurs < 0 du CAH

Bonne humification

Matière Organique du sol



Les différents types de matière organique

Évolution de la matière organique

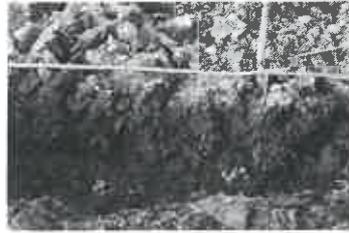
Les différents modèles d'évolution

Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

Approche Agronomique

Le travail du sol «mélange» les différents horizons organiques



JM VINATIER

33

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

labour: 1 décompacter le sol
2 enfouir les mauvaises herbes

Tableau important

MO et FÉRTILITE des SOLS CULTIVES

	A	S	L	A(+Ca)	LAS
Effet engrais	+	++	+++	+	+
Effet spécifique				+	
▪ P2O5	+	+	+	+	+
▪ Oligo					
Augmentation CEC		++	+		
Amélioration structure		+++	++		
Amélioration rétention en eau		+++	++		
Amélioration propriété mécaniques	++				
Activité biologique	+	+	+	+	+

JM VINATIER

34

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

Types et quantité de minéraux produits par la minéralisation d'humus issus de différents sous produits (d'après Rémy et al. 1975)



		N	P2O5	K2O	CaO
(t/ha)		(Kg/ha)			
Paille	6	23 (-26)	10	45	23
Fumier	30	172 (25)	100	260	300
Lisier porc	30	100 (40)	80	70	20
Fientes	10	150 (100)	163	75	300
Boues de STEP	10	50 (15)	15	8	400
Ss produits de distillerie	20	66 (23)	172	8	6200
Compost herbain	10	65 (10)	30	50	700
Tourbes	20	90 (0)	15	15	
Humus industriel	4	173 (45)	22	5	

Faim d'azote pour se décomposer, la paille utilise de l'azote ! Elle le restitue après.

JM VINATIER

35

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

directement utilisable dans l'année

EFFETS MECANIQUE DE DE LA MO FRAICHE

+

- infiltration de l'eau dans le profil si enfouissement correct
- protection en surface (effet « mulch »)

-

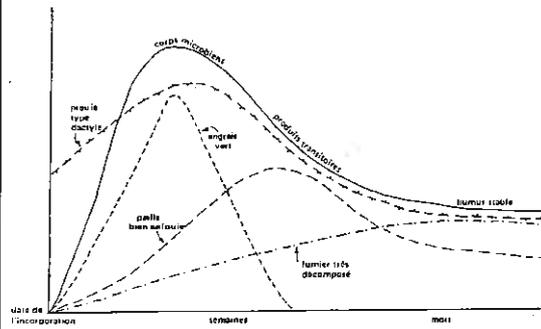
- obstacle aux racines si enfouissement en paquets
- effet « terre creuse »
- mauvais contact « terre - graine »
- zone d'asphyxie lors de l'oxydation si trop grande quantité
- « faim d'azote » pour les semis (concurrence en oxygène)

JM VINATIER

36

Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

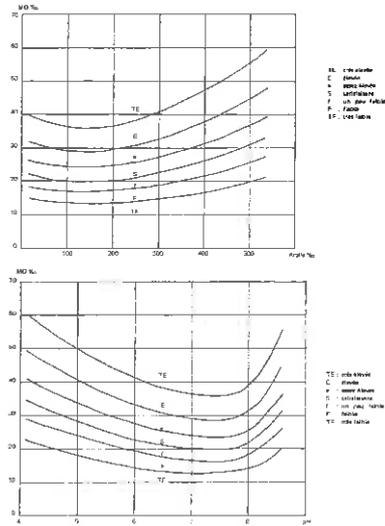
APPORTS DE MO ET STABILITE STRUCTURALE



Présentation schématisée des différents types de stabilisation par les matières organiques (MIGNIER, 1965)

INTERPRETATION DU TAUX DE MO DANS L'HORIZON CULTIVE

TAUX DE HUMUS, ARGILE ET pH (références de la Station Agronomique de Lyon / P. RICHY)





EGG PLANT

Initiation, gestion
et conservation
des sols

5
C
1

isara lyon
Initiation, gestion et conservation des sols

CHAMBRE
D'AGRICULTURE
RHÔNE-ALPES

**Initiation et sensibilisation
à la connaissance des sols**

NOTIONS DE PEDOGENESE

Jean Marie VINATIER (CRARA)

Ont également participé à la réalisation de ce montage

ISARA SARA INRA

Centre National d'Etudes et de Recherches
en Technologie Associée

SCP
PHILIPPE CLERMONT-LAPOSTOLLE

1

Initiation, gestion
et conservation
des sols

5
C
1

Organisation de la formation

- Module 1/ Les sols : observation et fonctionnement
- Module 2/ Matière organique des sols
- **Module 3/ Initiation à la pédogenèse**
- Module 4/ Cartographie des sols et des paysages, gestion des informations
- Module 5/ : Évaluation du potentiel épurateur des sols

Cours CRARA/ISARA/module 4

2

Initiation à la pédogenèse



Les principaux horizons pédologiques

Les cycles d'évolution des sols

Les facteurs d'évolutions

Répartition des sols dans le monde

LÉGENDE GÉNÉRALE DES SYMBOLES UTILISÉS DANS LES FIGURES

	Couche organique peu décomposée (A ₀)
	Horizon humifère perlicéaire peu acide
	Horizon humifère granuleux acide
	Carbonate de chaux
	Argille 2/1 (kaolinite, vermiculite, montmorillonite avec oxyde de fer absorbé)
	Argille 1/1 (kaolinite)
	Horizon cendré ou blanchi
	Accumulation de fer ferrique hydraté (sable violet ou rouille)
	Accumulation de fer ferrique (oxyde) (rouge)
	Précipitation localisée de fer ferrique
	Concrétions ferreuses - manganeuses
	Oxyde fer terreux disséminé (gris verdâtre)
	Alumine fibre
	Roche mère en cours d'altération
	Roche mère altérée non altérée
	Roche mère calcaire non altérée

N.B. - L'abondance des différents éléments est soulignée par l'espacement plus ou moins grand des lignes ou la densité des symboles utilisés

Principaux horizons pédologiques

- L (AP): labour
- ⇒ H (A₀): hrz organiques } 0
- ⇒ A (A₁): hrz de mélange organiques et minéraux
- ⇒ E (A₂): hrz lessivés
- ⇒ B(B): hrz d'accumulation
 - T (t): d'argile
 - Ph (h): d'humus
 - Ps (s): de sesquioxydes
- (⇒ G (G): gley)
- (⇒ suffixe g : pseudogley)
- ⇒ C (C): transition/ roche mère
- ⇒ R (R): roche mère (ancienne nomenclature)

BT → argile
 Bs ou Bps → sesqui. → Fe
 BH → acides humiques de type Podzolique
 Bca → carbonate de calcium

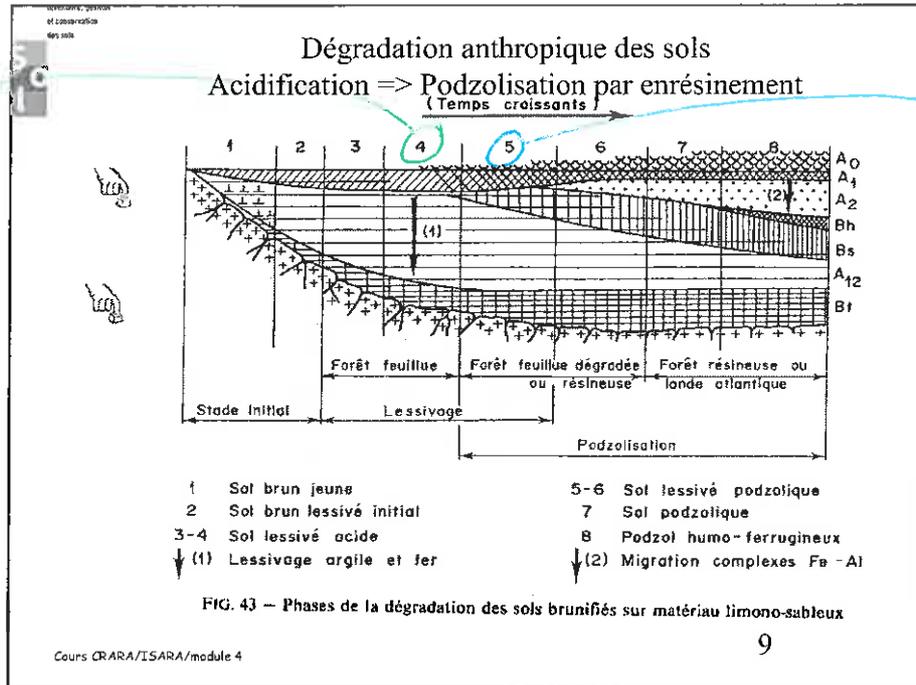
un gley (terre immergée) est gris
 un pseudogley (terre périodiquement immergée) présente des tâches de gris

Horizon → texture
 B_T → argileuse
 B_{SR} → concrétions noires
 B_{SAI} → couleur ocre/beige
 B_H → noir
 B_{ca} → crates blanchâtres
 A → noir
 E → couleur claire

Les conifères perdent des épines qui libèrent des polyphénols

Feuillus
acidolyse
brunification
pH > 5
Ac. Hum (G et B)

Résineux
complexolyse
podzolisations
pH < 4
Ac. Fulviques



Initiation à la pédogenèse

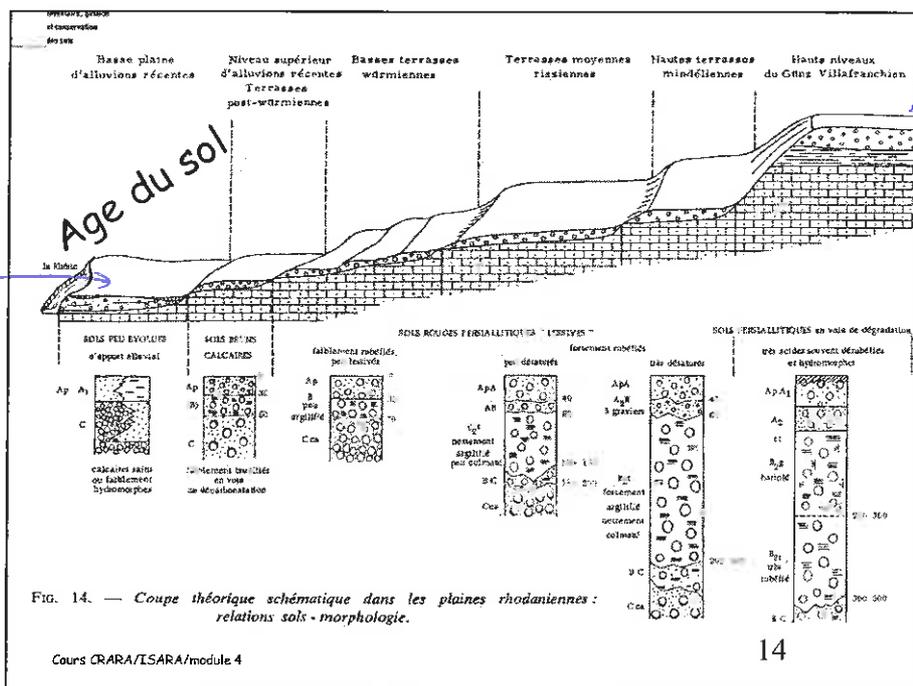
Les principaux horizons pédologiques

Les cycles d'évolution des sols

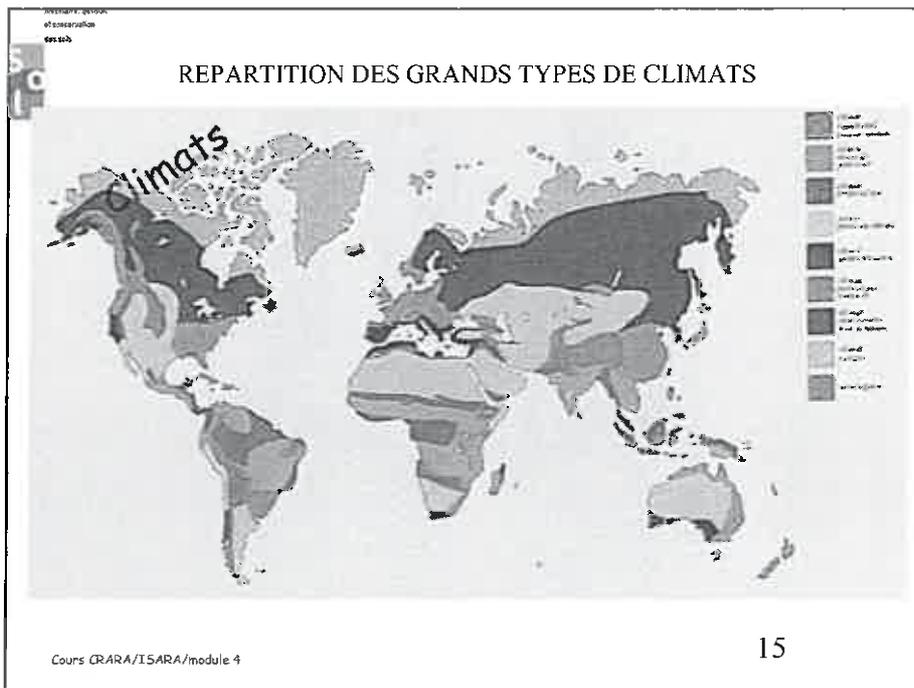
Les facteurs d'évolutions

Répartition des sols dans le monde

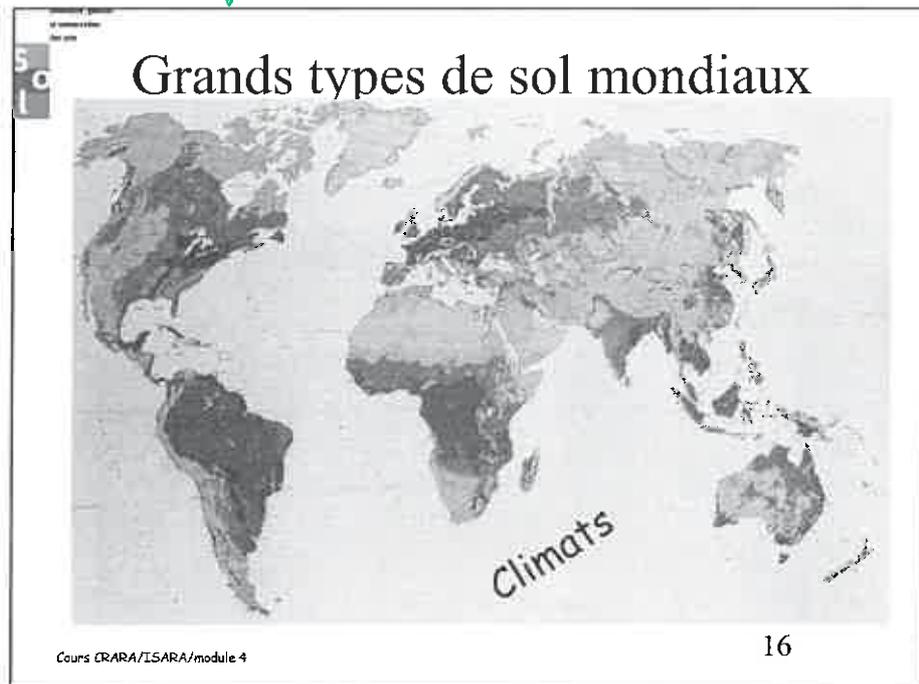
Cours CRARA/ISARA/module 4 10
A4/Pédogenèse



le relief au bord du Rhône



Tout de même, c'est semblable.



Université Grenoble Alpes
et conservation
des sols

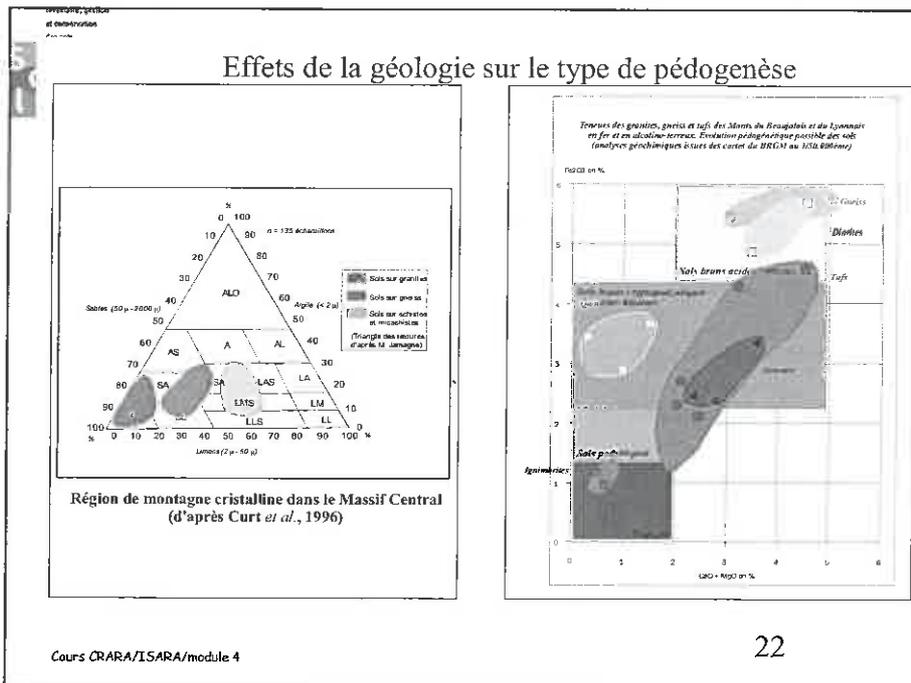
Influence de la géologie sur l'ambiance géochimique des sols

Type de géologie		Richesse en cations	Types d'argiles
Sédimentaire	Marin ou lacustre	XXXX	2/1
	Éolien	XX	2/1
	Terrestre	(X)	2/1 à 1/1
Métamorphique	Cristallin	0 à (X)	1/1 à 2/1
	Volcanique	(X) À XX	2/1

← très calcaire 80% CaCO₃
 ← limons 4 à 5% CaCO₃
 ← dépôts d'érosion

↪ basaltes ou granites

Cours CRARA/ISARA/module 4 21



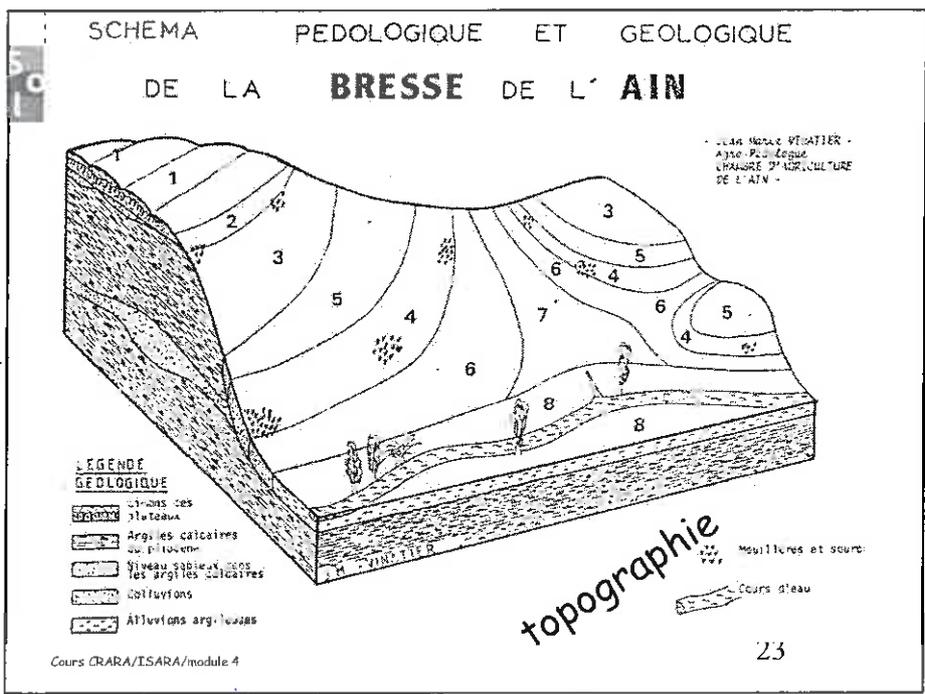
1. limons, blancs

3+5 mares
barriques

4 francès

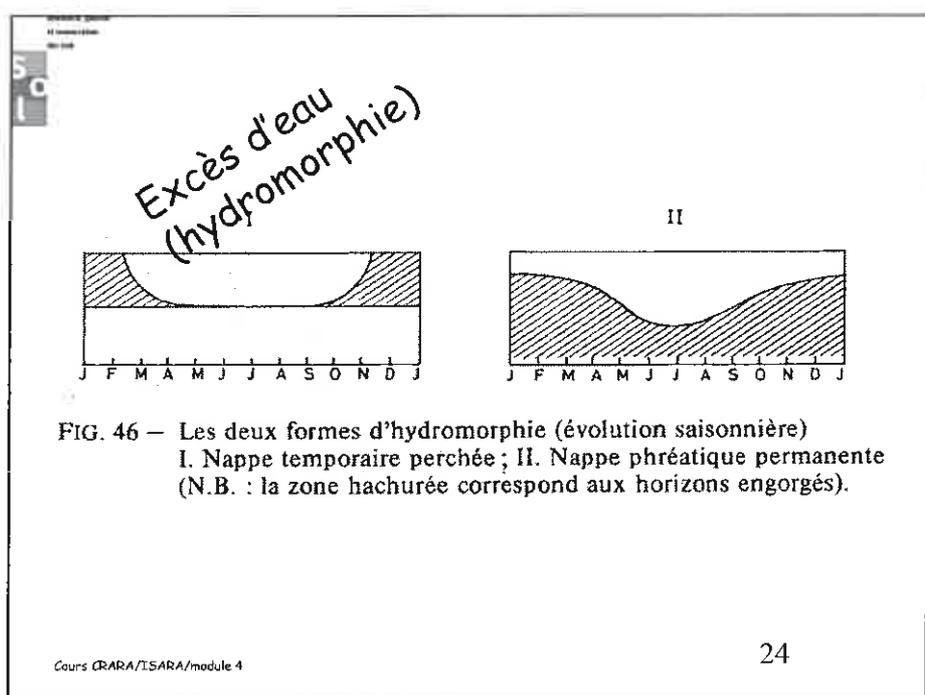
6 mor
sur lesquels ne peuvent
que des joncs

lignas
et



1
2
3 argiles calcaires
4 sols bruns
8 sols de bas fond
constamment
inondés

On peut dans un même climat, sur un même terrain, avoir des terres à des évol^o
différentes. C'est des facteurs géologiques et d'érosion



Facteurs anthropiques d'évolution des sols

Dégradation Aggradation / Stabilisation

Érosion Amendements

Tassements

Labours profonds Travail superficiel

25

Répartition des principaux sols dans le monde

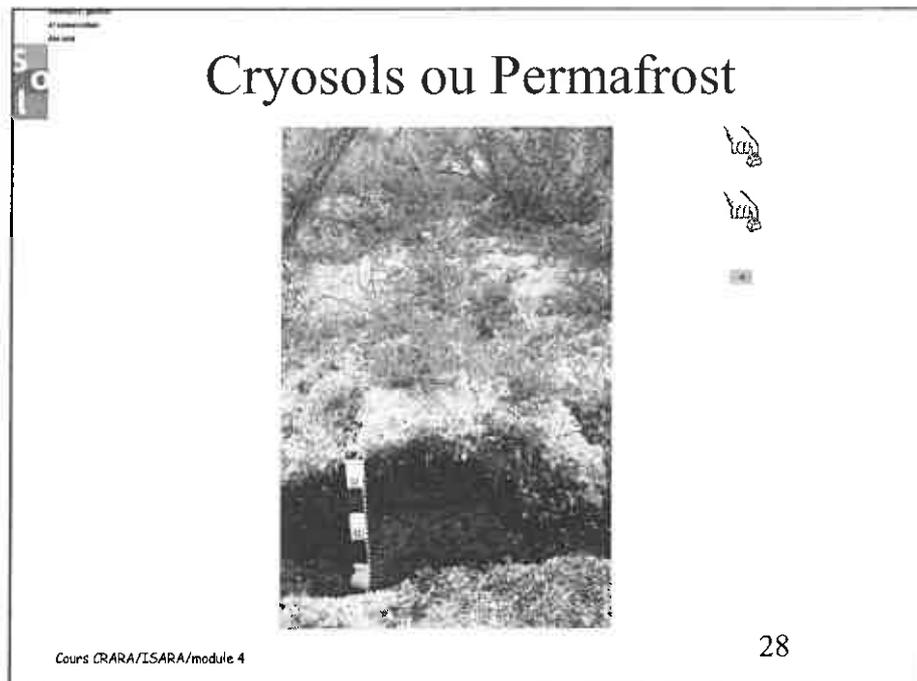
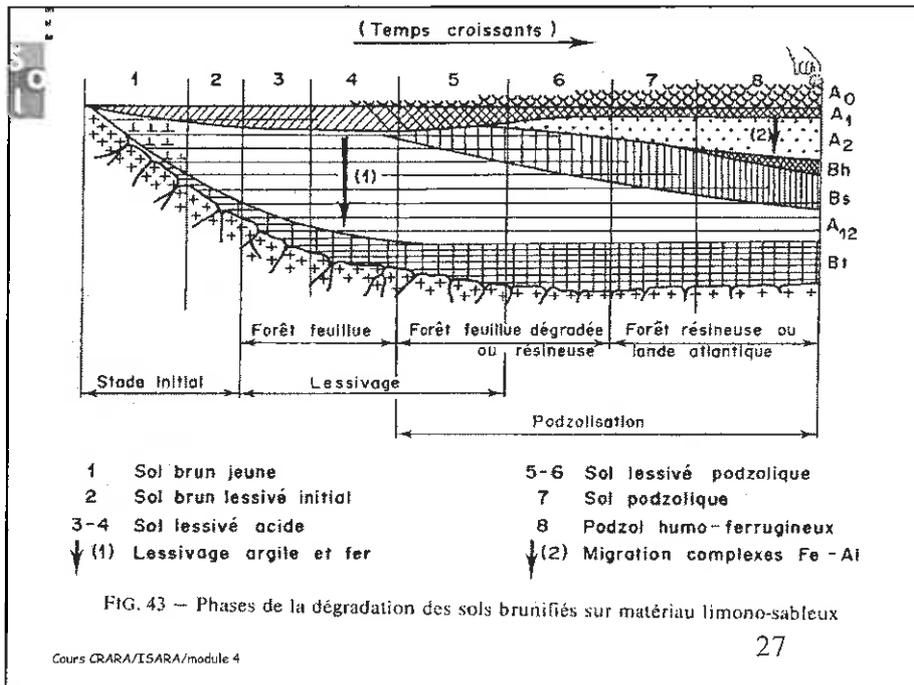
Grands types d'évolution des sol	Surf. (Mha)	Grands types de sol	Surf. (Mha)
1. Glaciers, lacs	160	Ferralsols (méditerranéens)	<u>210</u>
2. Sols des déserts froids (cryosols)	180	Sols ferrugineux (tropicaux)	1450
3. Sols des zones de montagne (rochers)	2300	Ferralsols - sols ferralitiques (tropicaux)	2400
4. Sols des zones subdésertiques (aridisols)	1600	Vertisols (argiles lourdes)	<u>350</u>
5. Sols des déserts chauds	2500	Histosols et Fluvisols (grandes vallées)	<u>680</u>
Podzols (froids et humide)	490	14. Salisols et Sodisols (sols salés)	300
Brunisols et Luvisols (tempérés)	<u>1300</u>	Andosols (sur roches volcaniques)	<u>100</u>
Chernosols (continentaux)	<u>580</u>	Total	14 900

Tableau 1 : Superficie mondiale approximative des principaux types de sol en millions d'hectares (23% de sols à fort potentiel agronomique dont 1/3 sont réellement exploités)

Cours CRARA/ISARA/module 4

26

Fort potentiel agronomique



of conservation
des sols

Sol superficiel sur moraine récente



The slide features two photographs. The larger one on the left shows a wide landscape with a valley floor covered in rocks and sparse vegetation, with steep, rocky mountains in the background. The smaller one on the right is a close-up of a soil profile, showing a thin, dark topsoil layer overlying a layer of light-colored, fragmented rocks and gravel.

29

Cours CRARA/ISARA/module 4

of conservation
des sols

Podzol



The slide features a large photograph of a soil profile. The profile shows a distinct O horizon (organic layer) at the top, followed by a thin A horizon, and a thick, light-colored B horizon (podzol) with characteristic iron and aluminum accumulation. A person is visible in the background for scale. To the right of the main image is a smaller, vertical photograph showing a similar soil profile. Below the main image, there are several small icons representing different soil types or profiles.

30

Cours CRARA/ISARA/module 4

50

Sols peu différenciés sur roche calcaire



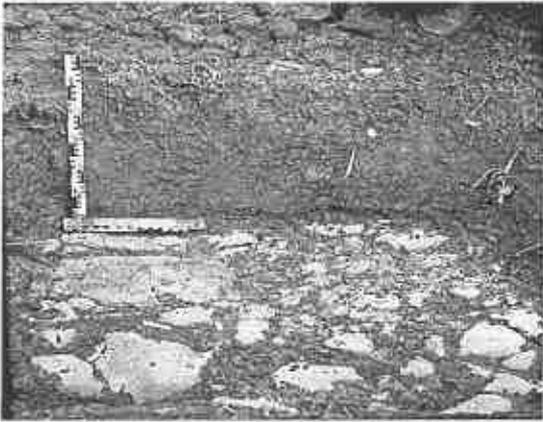
A black and white photograph showing a soil profile on a limestone rock surface. A vertical measuring rod is placed against the rock to indicate scale. The soil appears thin and is directly in contact with the rock.

31

Cours CRARA/ISARA/module 4

50

Sol brun sur calcaire



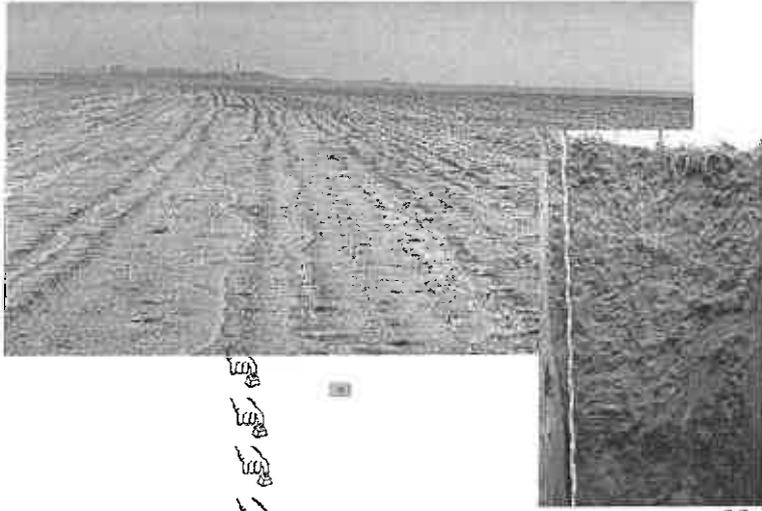
A black and white photograph showing a brown soil profile on a limestone rock surface. A measuring rod is placed vertically against the rock. The soil is thicker than in the previous image and shows some differentiation.

32

Cours CRARA/ISARA/module 4

UNIVERSITÉ D'ORAN
DE CONSERVATION
DES SOLS

Sol lessivé limoneux profond

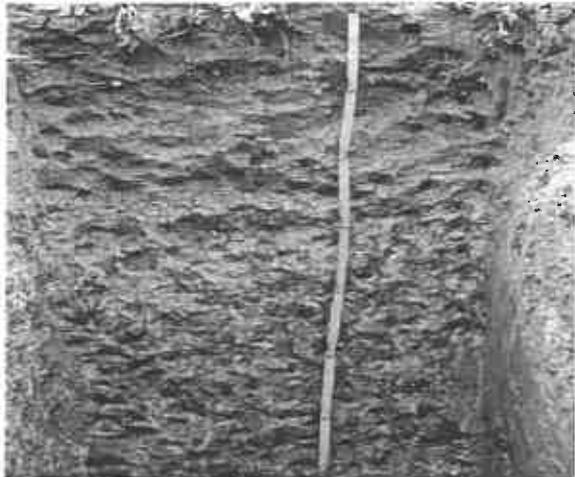


Cours CRARA/ISARA/module 4

33

UNIVERSITÉ D'ORAN
DE CONSERVATION
DES SOLS

Sol lessivé glossique

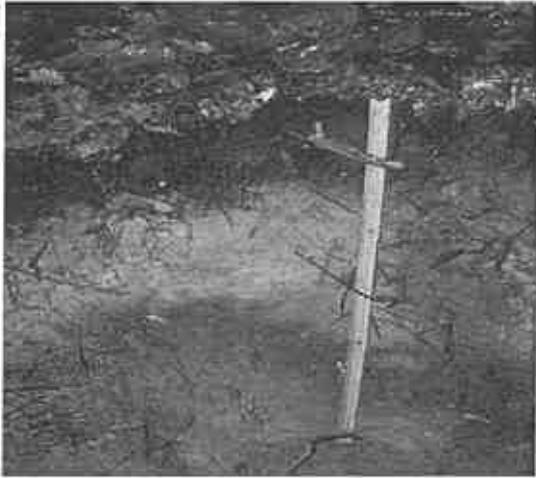


Cours CRARA/ISARA/module 4

34

501
Sols
de conservation
des sols

Podzol sur sol lessivé



Cours CRARA/ISARA/module 4

35

501
Sols
de conservation
des sols

Sols iso humiques



Tchernozem d'Ukraine

Photo Ruellan-0045

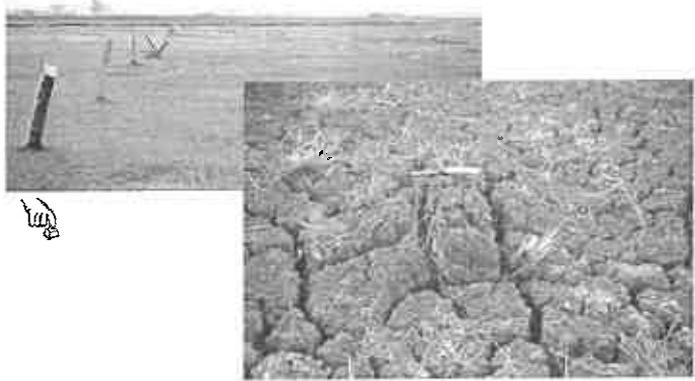
Cours CRARA/ISARA/module 4

36

UNIVERSITÉ
de la République
d'Algérie

S
O
I

Vertisols



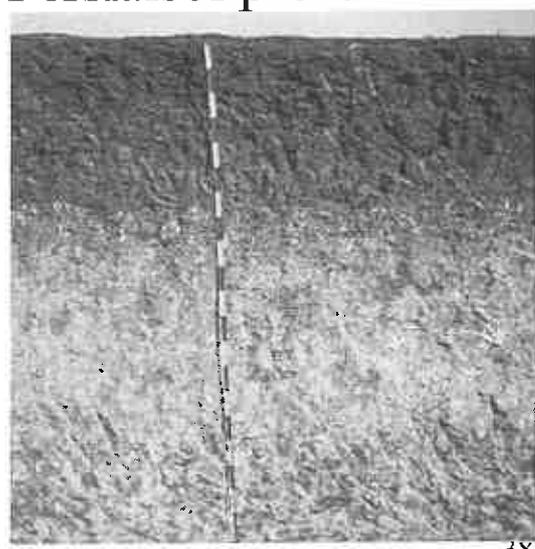
Cours CRARA/ISARA/module 4

37

UNIVERSITÉ
de la République
d'Algérie

S
O
I

Fersialsol profond

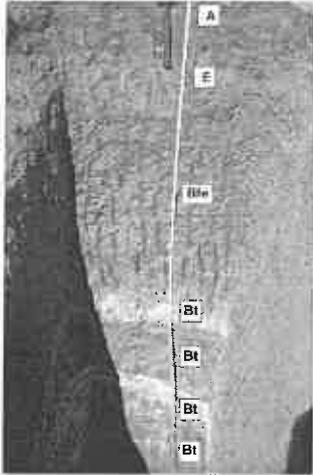


Cours CRARA/ISARA/module 4

38

Service national
de conservation
des sols
S
C

Sols ferrugineux tropicaux



Burkina Faso, climat tropical subhumide

Sol très différencié lessivé sur roche éruptive. On reconnaît les horizons A, E et Bfe (carapace ferrugineuse), et plusieurs horizons Bt. Hauteur de la coupe : 200 cm.

Cours CRARA/ISARA/module 4 39

Service national
de conservation
des sols
S
C

Sols ferralitiques





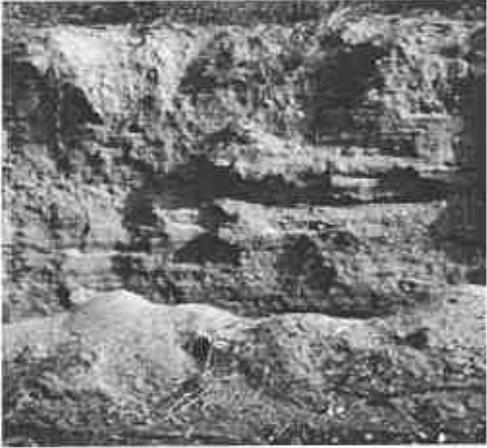


Cours CRARA/ISARA/module 4 40

UNIVERSITÉ
de COCOTON
1975

S
O
L

Sol alluvial (luvisol)



A black and white photograph of a soil profile. The top layer is dark and appears to be a topsoil. Below it is a lighter-colored layer, likely a subsoil or a layer of weathered material. The profile shows some horizontal layering and a slight dip in the middle, possibly indicating a change in soil composition or a specific horizon.

41

Cours CRARA/ISARA/module 4

UNIVERSITÉ
de COCOTON
1975

S
O
L

Andosol



A black and white photograph of an Andosol soil profile. The soil is dark and appears to be composed of volcanic ash or tephra. A vertical measuring rod is placed in the soil to indicate depth. The profile shows a distinct layer of dark soil on top, followed by a lighter-colored layer, and then a darker layer at the bottom. The soil is surrounded by trees and a wooden post.

42

Cours CRARA/ISARA/module 4



Initiation, gestion et conservation des sols

ISARA

ISARA LYON

Initiation et sensibilisation à la connaissance des sols

Cartographie des sols et gestion des informations

Jean Marie VINATIER (CRARA)

Ont également participé à la réalisation de ce montage

ISA, CRARA, INRA, CRISA, INRA, INRA, INRA, INRA

1

Initiation, gestion et conservation des sols

ISARA

Organisation de la formation

- Module 1/ Les sols : observation et fonctionnement
- Module 2/ Matière organique des sols
- Module 3/ Initiation à la pédogenèse
- Module 4/ Cartographie des sols et gestion des informations
- Module 5/ : Évaluation du potentiel épurateur des sols

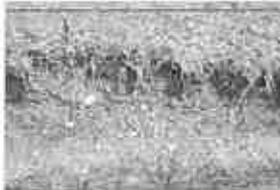
Formation CRARA/ISARA/module5

2

5

Cartographie des sols et gestion de l'information

→ Introduction à la description et à la cartographie des sols



→ Gestion des données pédologiques



Bilan

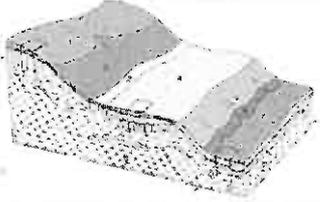
Formation CRARA/ISARA/module5 A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? 3

5

Une carte des sols, c'est quoi ?

Les données géométriques représentent en plan la distribution des sols sur un territoire donné – Unités cartographiques de Sols ou UCS

Carte des sols

Chaque unité de sol cartographiée, est accompagnée par une légende et une description des sols

Formation CRARA/ISARA/module5 4

Sols

Comment cartographier la variabilité des sols ?

ETAPE I définir des volumes élémentaires homogènes : les horizons

LA REALITE : des continnuums à trois dimensions

ETAPE II délimiter des volumes hétérogènes : les unités cartographiques de sols

Formation CRARA/ISARA/module5

A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? → Introduction 5

Sols

Les sols sont variables ...

dans l'espace ...

Sol profond d'apport calluvial

Sol peu épais de terrasse

... et dans leurs caractéristiques

Formation CRARA/ISARA/module5

A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? → Introduction 6

Comment cartographier la variabilité des sols ?

l'échelle de cartographie dépend de la problématique étudiée ...



Source : M. Isambert

Problématique locale

↓

Cartographie aux échelles plus détaillées (Grande)
(exemple : 1/10 000)



Source : Ch. Schwertz (ISA Lille)

Problématique régionale

↓

Cartographie aux échelles moins détaillées (Moyenne à Petite)
(exemple : 1/250 000)

Formation CRARA/ISARA/module5 A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? → Introduction 7

Comment cartographier la variabilité des sols ?

à une échelle de cartographie donnée correspond un regroupement de sols donné

Plus petit objet pouvant être représenté sur une carte : 5 mm x 5 mm



Source : M. Isambert

Exemple : au 1/10 000
Un objet de 0,5 cm x 0,5 cm sur la carte correspond sur le terrain à 0,25 ha



Source : Ch. Schwertz (ISA Lille)

Exemple : au 1/250 000
Un objet de 0,5 cm x 0,5 cm sur la carte correspond sur le terrain à 150 ha

Formation CRARA/ISARA/module5 A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? → Introduction 8

Définition de la PRECISION d'une carte des sol

Carte des sols

Optimum: 1 observation pour $\frac{1}{4}$ de cm^2 de carte
 Minimum: 1 observation par cm^2 de carte

Grande échelles
Très précise
(1/25 000 \Leftrightarrow 1obs/6ha)

Moyenne échelles
(1/100 000 \Leftrightarrow 1obs/100ha)

Petite échelles
Peu précise
(1/1 000 000 \Leftrightarrow 1obs/10 000ha)

Formation CRARA/ISARA/module5 9

Comment cartographier la variabilité des sols à grande échelle (1/10 000 à 1/ 25 000) ?

Une réponse :
 une Unité Cartographique de Sol (UCS) =
 une Unité typologique de Sol (UTS)

Hameau des Plaines (commune de Tréaux-Lozère)

Affleurement

Surface couverte par $\frac{1}{2}$ cm^2 de carte

Sol brun ancien sous prairie

Sol podzolique sous hêtre

Photos : Jean Pierre Barthès (UMR LISAH Agro.M - INRA - IBD Montpellier)

Formation CRARA/ISARA/module5 A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? -> Introduction 10

Comment cartographier la variabilité des sols à grande échelle (1/25 000 ème) ?

Extrait carte INRA Moyenne vallée du Rhône

Une unité cartographique = une « série » de sol (même superposition d'horizons)

Formation CRARA/ISARA/module5 11

Comment cartographier la variabilité des sols à moyenne échelle (1/100 000 à 1/ 250 000) ?

Chaque UTS ne peut pas être cartographiée

Hamoir des Plagnes (commune de Tréaux-Lozère)

Affieurement

Sol brun antique sous prairie

Sol podzolique sous hêtraie

Sol couvert par 1/2 cm² de carte

Photos : Jean Pierre Barthès (UMR LISAH Agre. II - INRA - IRD Montpellier)

Formation CRARA/ISARA/module5 A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? -> Introduction 12

S O I

Comment cartographier la variabilité des sols à moyenne échelle ?

Source : Jean Claude Lecoq (Société Coral de Provence)

Une réponse : une Unité Cartographique de Sol (UCS)
= une Unité Pédopaysagère

Formation CRARA/ISARA/module5 A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? → Introduction 13

S O I

Comment cartographier la variabilité des sols à moyenne échelle ?

L'Unité Pédopaysagère, qu'est-ce-que c'est ?

C'est une unité de paysage homogène sur le plan de :

- la morphologie (altitude, pente,...) ;
- l'occupation du sol ;
- la géologie ;
- le climat.

} facteurs de genèse des sols

→ L'Unité Pédopaysagère regroupe les sols de façon pertinente à des échelle comprises entre le 1/100000 et le 1/250000

Formation CRARA/ISARA/module5 A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? → Introduction 14

5
1

Cartographie des sols à moyenne échelle

Le concept de Pédopaysage

LE TERRAIN

unités cartographiques de sols (UCS) = unité pédopaysagère

UTS : Unité typologique de sol

LA CARTE

Source : M. Bormand (INRA Science du Sol, Montpellier)

Formation CRARA/ISARA/module5 A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? → La BD Sol IGCS 15

5
1

Cartographie des sols à moyenne échelle (1/250 000 ème à 1/100 000 ème)

**une Unité
Cartographique
de Sol (UCS) =
une Unité Pédopaysagère**

Formation CRARA/ISARA/module5 16

Cartographie des sols à petite échelle (1/1 000 000 ème)

BDG DES SOLS DE FRANCE
Second levé 1974 (modified CBC 1985) FAO legend soil name.

**une Unité
Cartographique
de Sol (UCS) =
une Famille de
sol**

Formation CRARA/ISARA/module5 17

Les cartes des sols

Principales échelles traitées

La précision a un coût...

Echelle	Nombre de sondages /ha	Nombre de sondages /jour	Nombre de profils /ha	Surface couverte /jour en ha	Prix /ha
1/250 000	1 pour 200 à 800 ha	< 10	1 pour 2 000 à 8 000 ha	≥ 900	0,3 à 0,7 €
1/100 000	1 pour 30 à 60 ha	Moyenne : 10	1 pour 500 à 1 000 ha	≥ 450	3,0 à 3,8 €
1/50 000	1 pour 10 à 30 ha	Moyenne : 15	1 pour 200 à 300 ha	≥ 300	6,4 à 7,6 €
1/10 000	1 pour 2 à 3 ha	Moyenne : 20 (18 à 22)	1 pour 10 à 50 ha	40 à 60	53 à 61 €

Source : R. Hardy (ENSA Orléans)

Formation CRARA/ISARA/module5
A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? → Le programme I6CS 18

Cartographie des sols et gestion de l'information



Introduction à la description et à la cartographie des sols

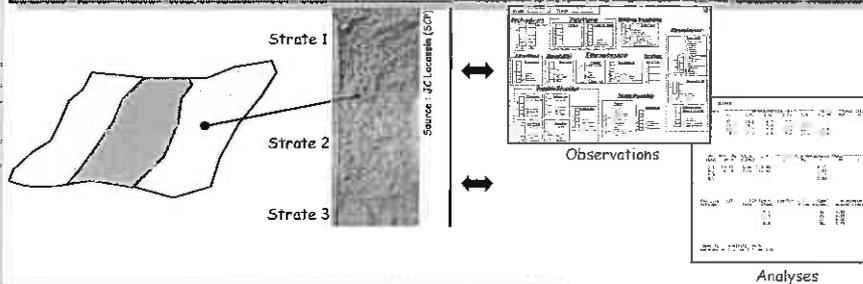


Gestion des données pédologiques

Bilan

Comment décrire les données sur les sols ?

Quelque soit l'échelle considérée, les sols sont toujours décrits de la même façon (Codification STIPA)



Source : M. Isenbert



Source : Ch. Schwartz (ISA Lille)

SC

Gestion papier de l'information

Formation CRARA/ISARA/module5 21

SO

Gestion informatique des données (Systèmes d'information géographique)

Paysage pédologique

Source : Jean-Claude Lecoq (Société Générale de France)

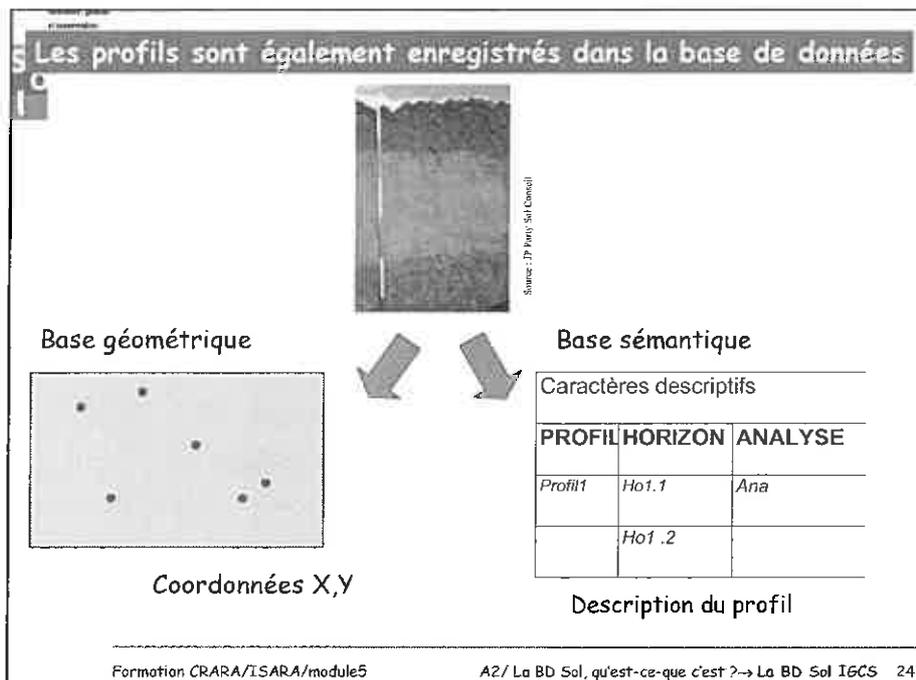
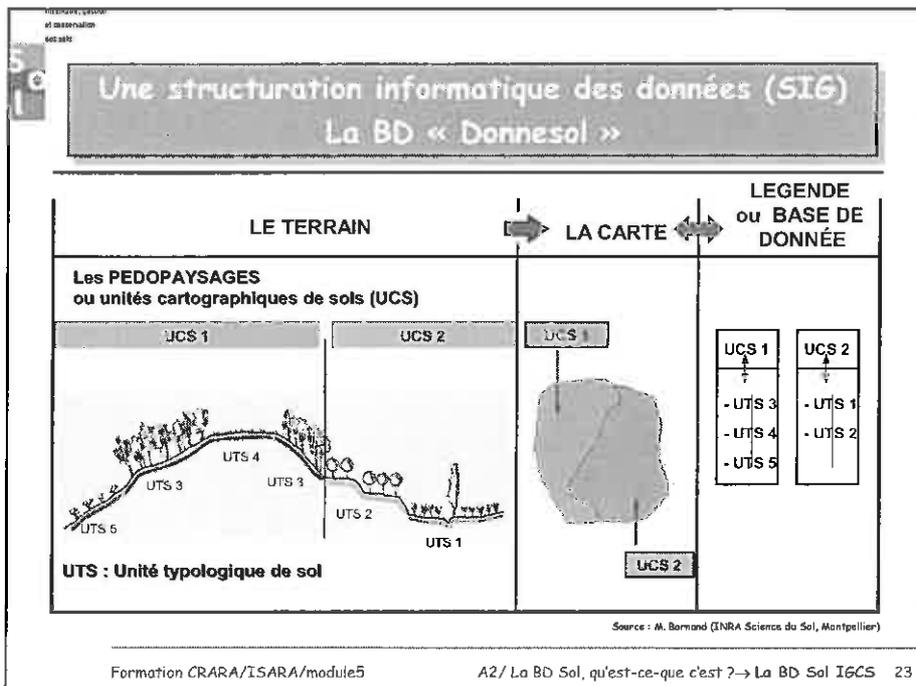
Base géométrique

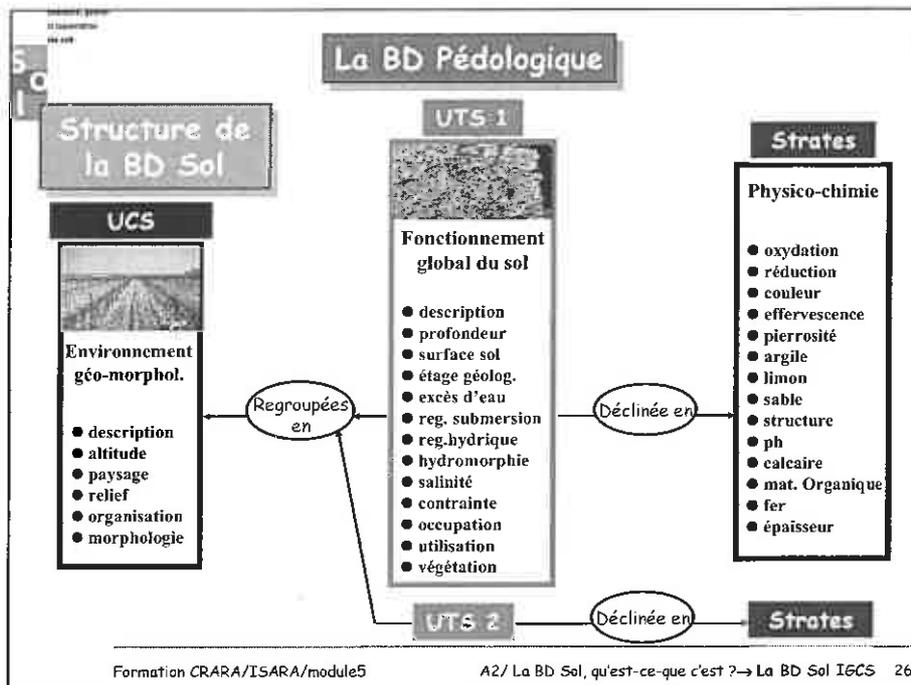
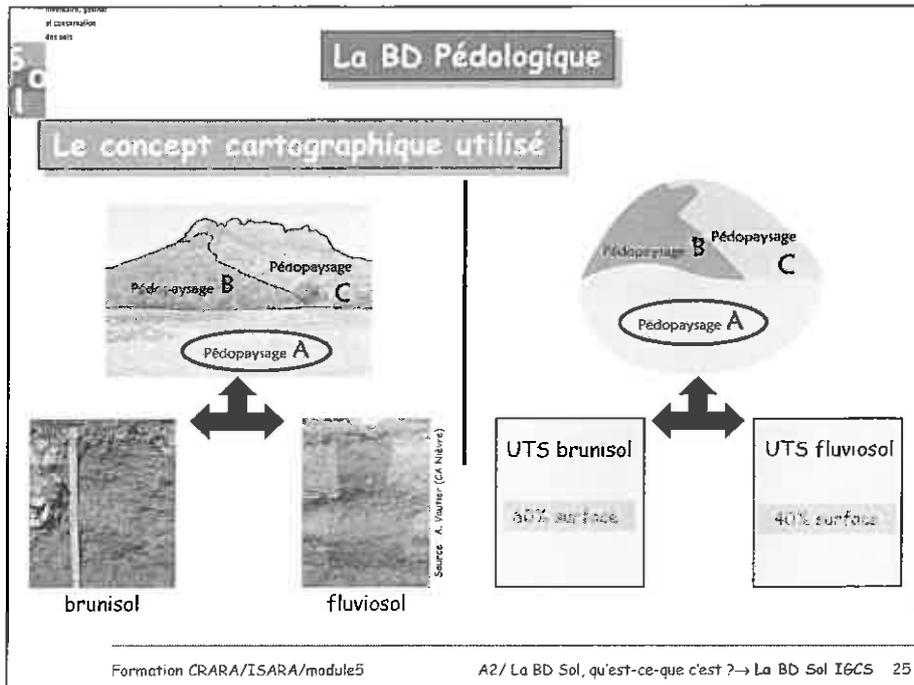
Base sémantique

Caractères descriptifs		
UCS	UTS	STRATE
Ucs1	Uts1.1	

DONESOL base de données relationnelle

Formation CRARA/ISARA/module5 A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? → La BD Sol I6CS 22







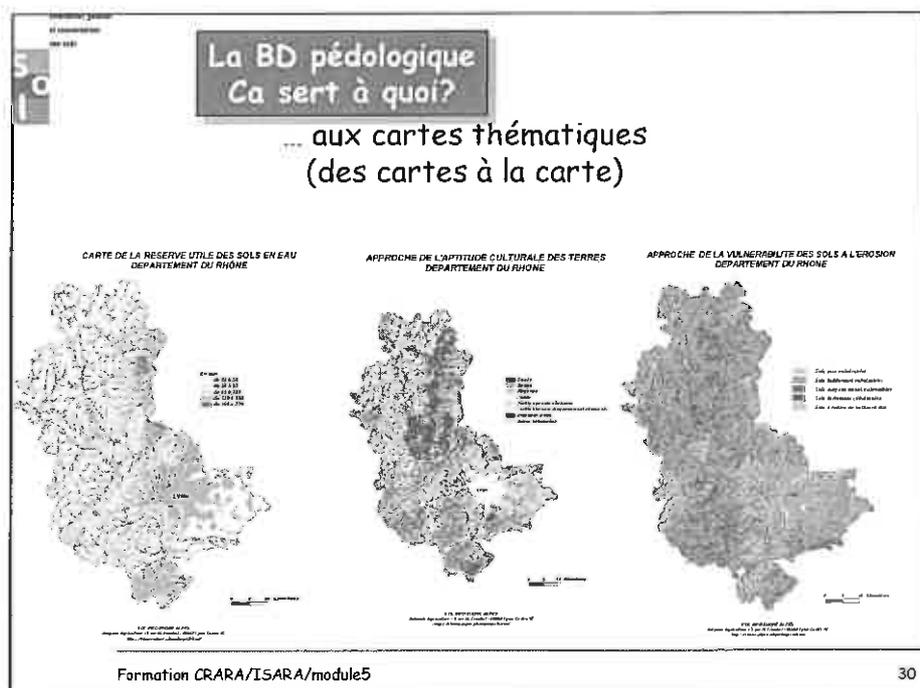
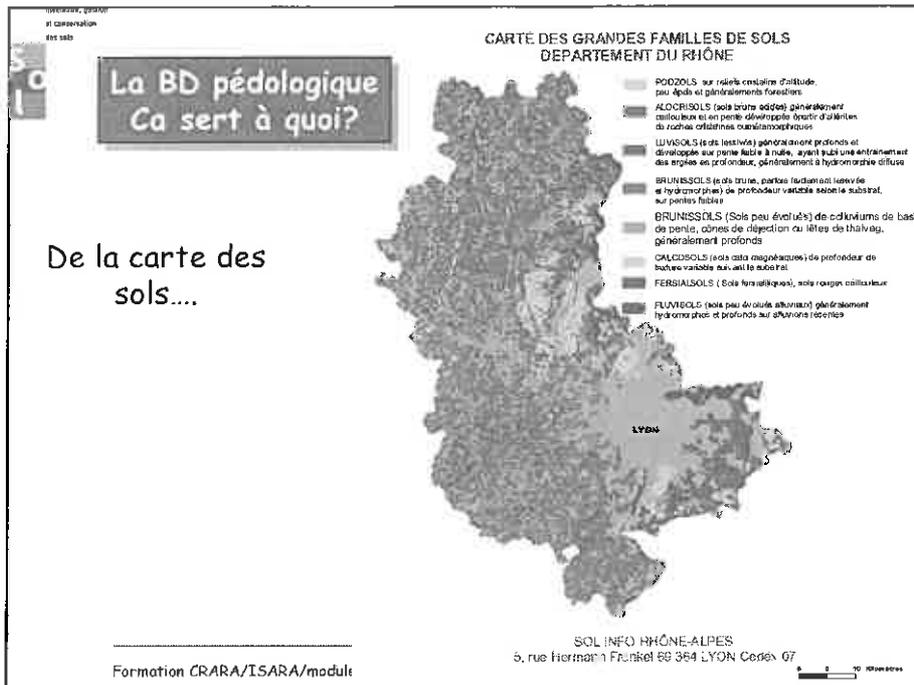
La BD pédologique

Des consultations des cartes par le Net

<http://www.rhone-alpes.chambagri.fr/sira/>

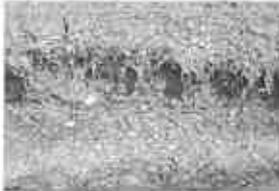
<http://www.igcs-stb.org/>

Formation CRARA/ISARA/module5 28



5
1

Cartographie des sols et gestion de l'information



→ Introduction à la description et à la cartographie des sols



→ La gestion des données Pédologique

→ Bilan

Formation CRARA/ISARA/module5 A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? 31

5
1

Bilan

La BD Pédologique, c'est...

- un modèle de structure informatique "multi-échelles", permettant d'organiser les données recueillies sur le terrain ;
- une base de données exhaustive et homogène sur de vastes territoires (1/100 000 à 1/250 000);
- une base de données harmonisée à l'échelle nationale et internationale (base géographique des sols d'Europe à 1/250 000 et 1/1 000 000).

Formation CRARA/ISARA/module5 A2/ La BD Sol, qu'est-ce-que c'est ? → Bilan 32

La BD Pédologique, c'est...

- une base de données permettant la création d'outils cartographiques d'aide à la décision pour la gestion durable des territoires ruraux et de leurs ressources
 - hiérarchisation des risques
 - définition de priorités d'action ;
- une base de données évolutive, facilitant l'approche des sols à la parcelle
(sous condition de compléter l'information de la base de données par un retour sur le terrain).

ISARA

isara lyon
le centre de gestion agricole durable

Initiation et sensibilisation
à la connaissance des sols

CHAMBRE
D'AGRICULTURE
RHONE-ALPES

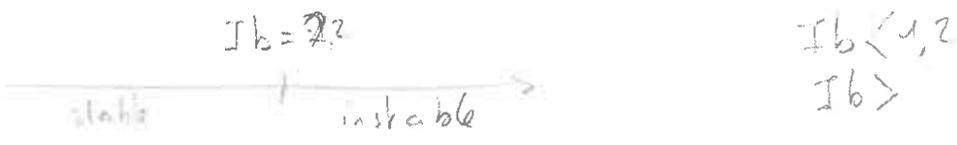
Évaluation du potentiel épurateur des sols

Jean Marie VINATIER (CRARA)

Ont également participé à la réalisation de ce montage

ISA nation, INRA, CRARA, SCP

1



ISARA

Organisation de la formation

- Module 1/ Les sols : observation et fonctionnement
- Module 2/ Matière organique des sols
- Module 3/ Initiation à la pédogenèse
- Module 4/ Cartographie des sols et des paysages, gestion des informations
- Module 5/ : Évaluation du potentiel épurateur des sols

Formation CRARA/ISARA/module5

2

$$RO = (H_{cc} - H_{pl}) \times d_a \times \frac{1}{2} \times (1-x)(1-y)$$

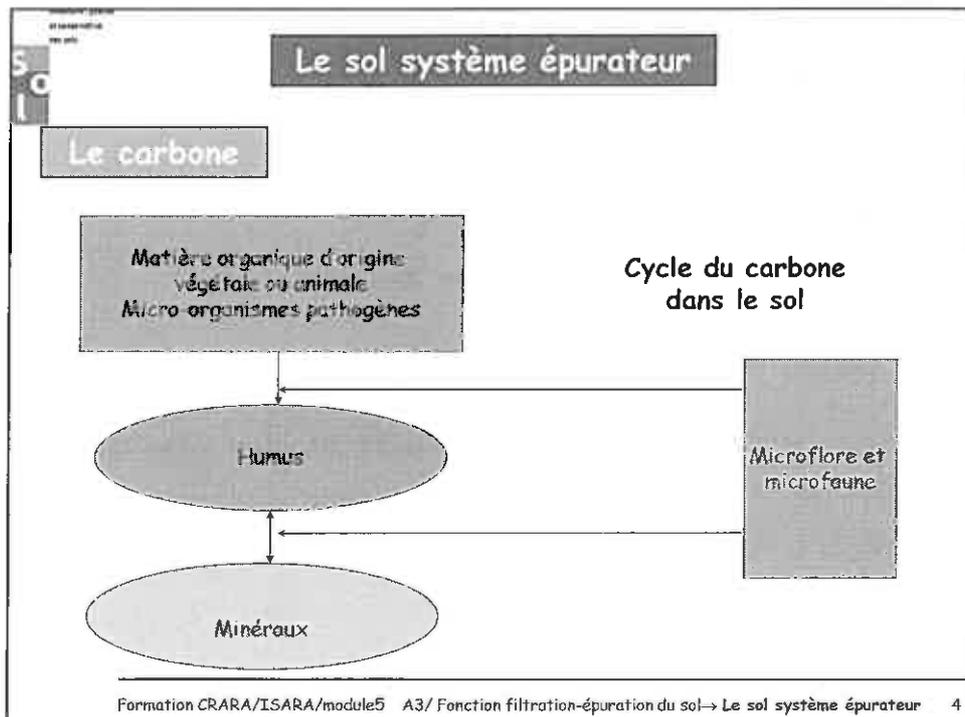
$1,6 - 0,0153A \quad d_m$

Le sol, système central de la fonction filtration - épuration



- Le sol système épurateur
- Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d'épuration
- Les paramètres externes au sol
- Méthodes d'évaluation de la capacité d'épuration du sol
- Bilan

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol 3



Sol

Le sol système épurateur

Les micro-organismes pathogènes

Durée de survie des germes dans le sol

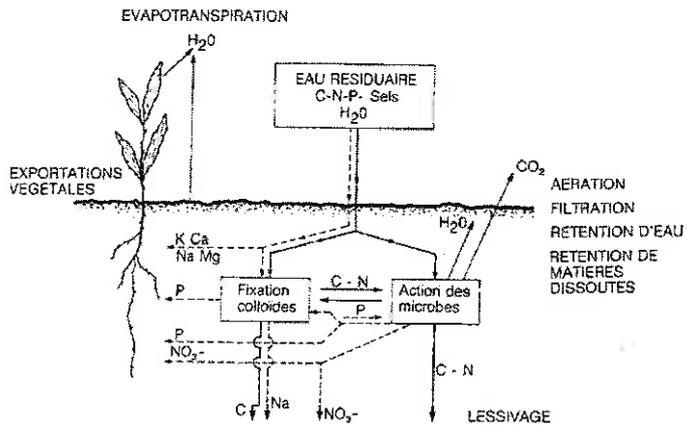
Entamoeba histolytica	Entérovirus	Coliformes fécaux	Salmonelles	Oeufs d'Ascaris
				
3 jours	12 jours	6 mois	9 mois	8 ans

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-éparation du sol → Le sol système épurateur 5

Sol

Le sol système épurateur

Les différentes fonctions du sol système épurateur



The diagram illustrates the following processes:

- EVAPOTRANSPIRATION:** Water (H_2O) is released from the soil surface.
- EAU RESIDUAIRE:** Residual water containing C, N, P, and salts (H_2O).
- EXPORTATIONS VEGETALES:** Nutrients (K, Ca, Na, Mg, P) are taken up by plants.
- Fixation colloïdes:** Colloidal fixation of C, N, and P.
- Action des microbes:** Microbial action involving C, N, and P.
- AERATION:** Release of CO_2 from the soil.
- FILTRATION:** Physical filtration of water.
- RETENTION D'EAU:** Water retention in the soil.
- RETENTION DE MATIERES DISSOLUES:** Retention of dissolved matter.
- LESSIVAGE:** Leaching of nutrients (C, N, NO_3^- , Na) from the soil.

Le cheminement des minéraux est représenté par une ligne brisée.

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-éparation du sol → Le sol système épurateur 6

Sol

Le sol système épurateur

Les micro-polluants

- Les Éléments Traces Métalliques :
Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Hg, Ni, Se
- Les Composés Traces Organiques :
Polychlorobiphényles (PCB), Organohalogénés (AOX),
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-éparation du sol → Le sol système épurateur 7

Sol

Le sol système épurateur

L'azote

Cycle de l'azote dans le sol (parcelle intensive)

The diagram illustrates the nitrogen cycle in an intensive agricultural plot. It shows the following processes:

- Inputs:** Animal manure (dejections animales) and plant residues (résidus végétaux) are added to the soil.
- Soil Processes:** The organic matter (matière organique fraîche et HUMUS) is mineralized (MINÉRALISATION) into ammonium (NH_4) and nitrate (NO_3).
- Plant Uptake:** Nitrate is taken up by plants through root absorption (ABSORPTION racinaire).
- Losses:** Nitrate can be lost through leaching (RISQUE ÉLEVÉ DE PERTES DE NITRATES) or denitrification (DÉNITRIFICATION) back to the atmosphere.
- Atmospheric Exchange:** Nitrogen is also lost through volatilization (VOLATILISATION) from the soil surface.

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-éparation du sol → Le sol système épurateur 8

soil

Le sol, système central de la fonction filtration - épuration



- Le sol système épurateur
- Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d'épuration
- Les paramètres externes au sol
- Méthodes d'évaluation de la capacité d'épuration du sol
- Bilan

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol 9

soil

Pour avoir un bon pouvoir épurateur, un sol doit être capable de:

- **Infiltrer, humifier et minéraliser les matières organiques fraîches**
 - Perméable et sans risque de battance
 - Milieu aérobie (pas d'engorgement ou de tassement) ↔ respiration des micro-organismes
- **Stocker et recycler les produits de décomposition de la matière organique**
 - Bon complexe argilo humique
 - Bonne profondeur du sol et bonne aération pour les plantes

Formation CRARA/ISARA/module5 10

SO

Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d'épuration

- **Filtrer** → on étudie sa perméabilité
 - Texture
 - Porosité
- **Humifier** → on étudie la biologie des sol
 - Hydromorphie
 - Acidité
 - Porosité
- **Minéraliser** → selon K₂
 - Texture
 - pH
- **Stocker** → selon les cpx argilo-humiques
 - CEC ↔ Minéraux
 - Réserve utile ↔ Eau

Formation CRARA/ISARA/module5 11

SO

Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d'épuration

La perméabilité de l'horizon de surface ↔ texture

Triangle des textures du GEPPA

Les sols très argileux, imperméable ont une faible capacité d'épuration.

Triangle des textures de l'Aisne

Un sol très sableux, trop perméable, a une faible capacité d'épuration.

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol → Paramètres pédologiques 12

S O I

Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d'épuration

L'hydromorphie

- Hydromorphie = manifestation morphologique de l'engorgement par l'eau d'un sol (taches rouilles et grises)
- L'engorgement par l'eau d'un sol réduit sa capacité d'oxydation, donc son potentiel épurateur

Causes de l'engorgement par l'eau d'un sol	Fortes entrées d'eau		Faibles sorties d'eau	
	Causes primaires propres au sol	Causes primaires extérieures au sol	Causes secondaires	
Formation CRAR	Causes primaires propres au sol			Faible infiltration Faible écoulement latéral Faible percolation verticale
	Causes primaires extérieures au sol	Remontée d'une nappe soutenue par une rivière Source, mouillère		Faible évapotranspiration
	Causes secondaires	Précipitations abondantes Position de bas de versant ou de fond de vallon Obstacle physique anthropique		Faible profondeur du plancher Diminution de l'évapotranspiration

prcs - Baize et Jabil, 1995

S O I

L'hydromorphie

Différentes origines



Remontée de nappe

Sol de bas fond

Eaux de pluie



Niveau imperméable

Limon des plateaux

Formation CRARA/ISARA/module5

14

UNIVERSITÉ Grenoble Alpes
SOL

La perméabilité de l'horizon de surface ↔ texture

Sol argileux

↔ fissuration et retrait
↔ imperméabilité si humide



Sol sableux

↔ Très perméable



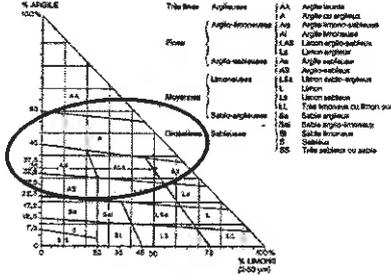
Formation CRARA/ISARA/module5 15

UNIVERSITÉ Grenoble Alpes
SOL

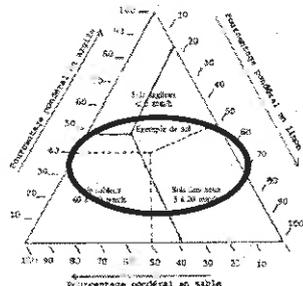
Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d'épuration

Capacité d'Echange Cationique de l'horizon de surface ↔ texture

Triangle des textures du GEPPA



Triangle des textures de l'Aisne



Les sols du centre du triangle de texture sont ceux qui possèdent la meilleure CEC, imperméable ont une faible capacité d'épuration.

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol → Paramètres pédologiques 16

Université Jean Monnet
de Saint-Etienne
des sciences

Sol

Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d'épuration

Le réservoir utilisable maximal (RUM)

Sol peu épais sur micaschiste ou sols argilo calcaires,
Réservoir faible = Capacité d'épuration faible

Plus un sol a un RUM faible, plus sa capacité d'épuration diminue car moins il peut stocker les produits issus de la décomposition de la MO

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol → Paramètres pédologiques 17

Université Jean Monnet
de Saint-Etienne
des sciences

Sol

Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d'épuration

Le pH eau

- Rappels : Très Basique : > 8.5
Basique : 7.2 à 8.5
Neutre : 6.8 à 7.2
Peu acide: 5.5 à 6.8
Acide à très acide : < 5.5
- pH des sols généralement compris entre 3.5 et 8.5 (dépend contexte régional)
- pH extrêmes diminuent l'activité biologique
pH acides favorisent la solubilité des éléments traces métalliques et donc leur transfert

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol → Paramètres pédologiques 18

Les paramètres agronomiques déterminant la capacité d'épuration

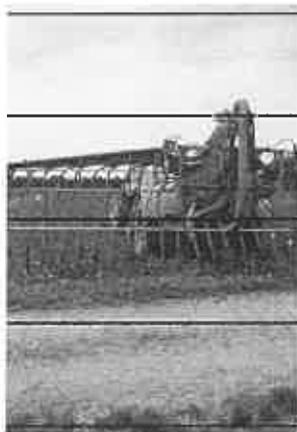
Le tassement du sol et la battance

Liés également aux pratiques culturales ...



S'il y a croute de battance, les produits organiques liquides peuvent ruisseler et ne pas s'infiltrer

Le sol, système central de la fonction filtration - épuration



Le sol système épurateur

Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d'épuration

Les paramètres externes au sol

Méthodes d'évaluation de la capacité d'épuration du sol

Bilan

S
o
l

Les paramètres externes au sol

Vulnérabilité des ressources en eau

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuretion du sol → Paramètres externes 21

S
o
l

Le sol, système central de la fonction filtration - épuration

- Le sol système épurateur
- Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d'épuration
- Les paramètres externes au sol
- Méthodes d'évaluation de la capacité d'épuration du sol
- Bilan

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuretion du sol 22

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES ET DE COOPERATION DES SOLS

S
o
l

Méthodes d'évaluation de la capacité d'épuration du sol

Hiérarchisation des paramètres pédologiques

Facteurs favorisant les potentialités épuratoire du sol

1. Capacité de transformation de la MO fraîche
 - Sols sains
 - Sols légers à moyens
 - Sols neutres à faiblement acides
2. Capacité de stockage (eau et minéraux)
 - % de terre fine
 - Profondeur d'enracinement

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol → Méthodes d'évaluation 23

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES ET DE COOPERATION DES SOLS

S
o
l

Méthodes d'évaluation de la capacité d'épuration du sol

Hiérarchisation des paramètres pédologiques

Contraintes limitant les potentialités du sol (par ordre décroissant) :

1. l'hydromorphie
2. la texture de l'horizon de surface
3. le pH de l'horizon de surface
4. le réservoir utilisable maximal

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol → Méthodes d'évaluation 24

Méthodes d'évaluation de la capacité d'épuration du sol

Types de méthodes

- à dire d'expert
- par notation : exemple du modèle CORPEN pour les nitrates

Hydrobiologie

UTS

Réserve utilisable maximale

Par strate

pH et granulométrie

Strate de surface

modélisation des paramètres pédologiques retenus et agrégation en classes de valeurs

Classes de capacité d'épuration	Notes
faible	= 3
moyenne	De 4 à 7
bonne	= 8

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol → Méthodes d'évaluation 25

Méthodes d'évaluation de la capacité d'épuration du sol

Types de méthodes

- par arborescence : exemple de la détermination des Indices d'Aptitude à l'Épandage (IAE)

Arbre de décision pour la détermination des IAE

Source : IFEN / ISA Lille pour INES d'Orléans

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol → Méthodes d'évaluation 26

Soil

Le sol, système central de la fonction filtration - épuration

- Le sol système épurateur
- Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d'épuration
- Les paramètres externes au sol
- Méthodes d'évaluation de la capacité d'épuration du sol
- Bilan



Formation CRARA/ESARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol 27

Soil

Bilan

sol = système central de la fonction filtration-épuration

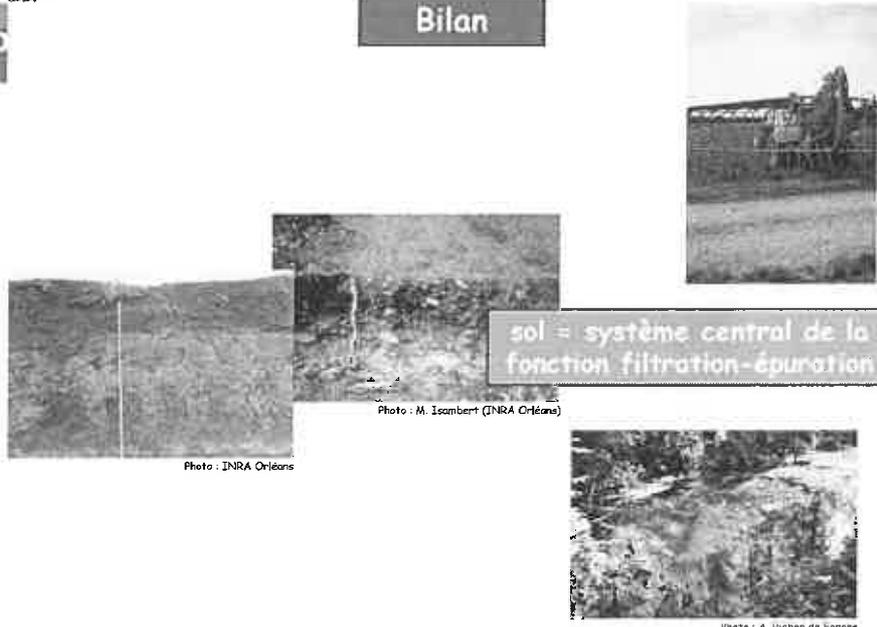


Photo : INRA Orléans

Photo : M. Isambert (INRA Orléans)

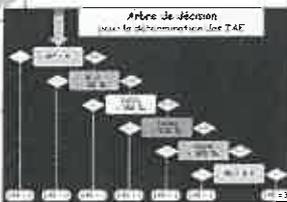
Photo : A. Richer de Forges

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-épuration du sol → Bilan 28

Bilan

- Approche de la problématique : méthodes d'évaluation de la capacité d'épuration du sol ⇔ une expertise organisée

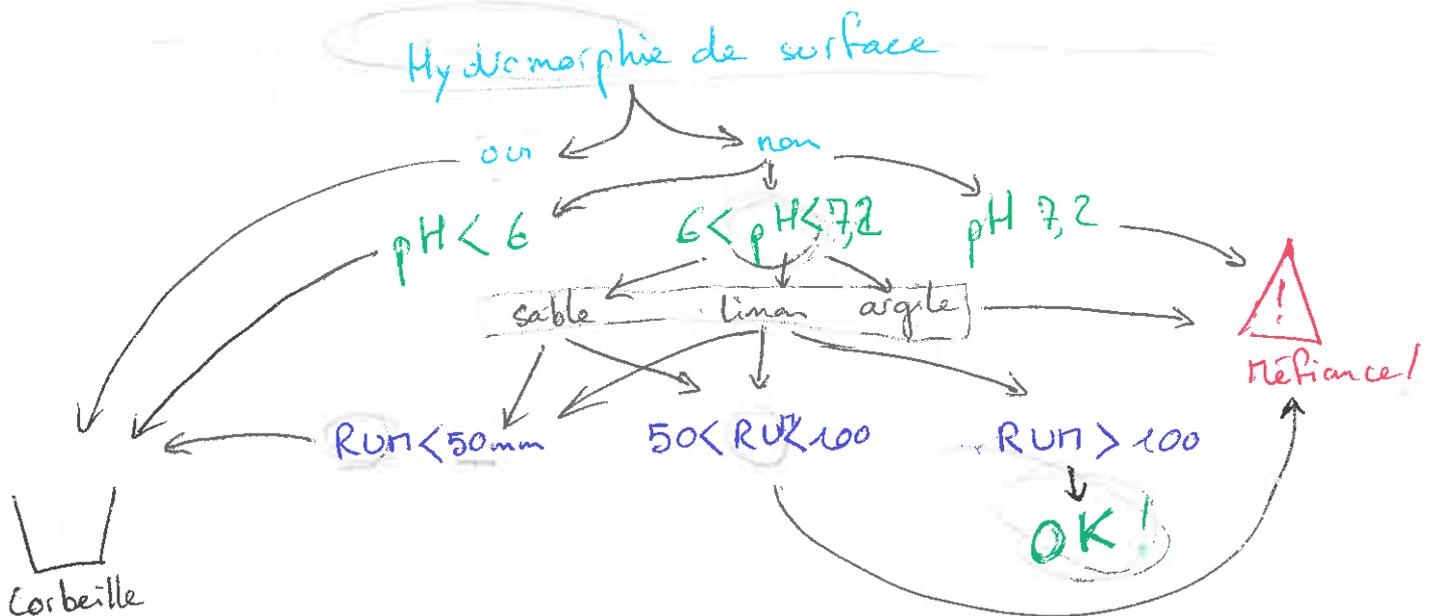
Classe de capacité d'épuration	Niveau
très	+3
bonne	+2
faible	+1
très faible	0



- Choix et hiérarchisation des paramètres pédologiques prédominants
- Représentation cartographique en lien avec une base de donnée cartographique

Formation CRARA/ISARA/module5 A3/ Fonction filtration-éparation du sol → Bilan 29

Exemple : hiérarchisat^o des critères



Initiation à la Pédologie – Science du sol
EXAMEN No 1
Mr VINATIER Jean-Marie – Mme PEIGNE Joséphine

Conditions d'examens

Documents	X	Non autorisés
Calculatrice	X	Non autorisée

Remarques particulières

Etre concis et clair. Privilégier les schémas commentés

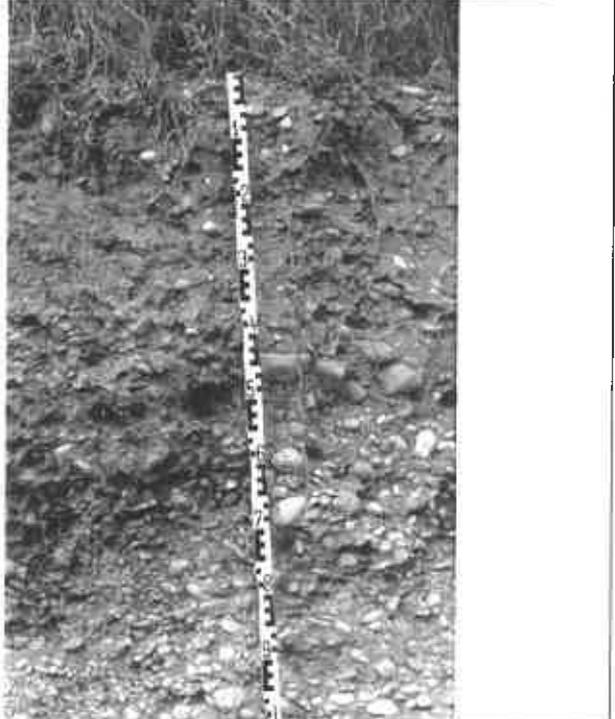
1. Définition : (5 points)
 - a. Argile granulométrique
 - b. Complexe adsorbant
 - c. Capacité d'échange cationique
 - d. Réserve Utile (définition et formule de calcul)
 - e. Pédo paysage

2. Phénomène de podzolisation ou de complexolyse des sols : précisez en quelques lignes (Maxi 5) ses conditions de développement et son processus (5 points)

3. Après une pluie d'automne très intense, sur un sol nu limoneux présentant peu de matière organique, que risque-t-il d'arriver ? Quelle est la propriété du sol qui joue sur ce phénomène ? (la nommer et la définir) Que peut-on faire pour préserver ce sol ? (5 points)


Tournez svp

4. Présentez, pour ^{chaque} les deux types de sols décrits ci-dessous et pour une grande culture de printemps semée en avril et récoltée fin octobre; i) leurs facteurs agronomiques favorables et ii) défavorables, ainsi que iii) leurs conditions éventuelles d'amélioration (5 points)

<p>N°1 Luvisol Rédoxisol de Dombes</p>		<p>0 à 25 cm : limon, brun foncé, localement compact, racines, vers de terre → humité, porosité</p> <p>25 à 50 cm : limon, beige clair avec présence de petites taches rouillées, peu compact, racines, peu de vers de terre → hydrophil</p> <p>50 à 90 cm : argile limoneuse, juxtaposition de larges taches rouillées et grises avec prédominance de l'argile sur les taches grises, compact (à très compact), très peu de racines</p> <p>90 et plus : limon argileux, compact, gris à taches rouilles, pas de racine gris à taches rouilles</p>
<p>N°2 Calcosol des basses terrasses du Rhône</p>		<p>0 à 30 cm : Sable argileux, brun foncé, 30% de cailloux et graviers siliceux, peu compact, nombreuses racines et vers de terre → travail terre, acide</p> <p>30 à 60 cm : sable argileux, 50% de graviers et cailloux siliceux, effervescence à l'acide, racines, pas de vers de terre → calcaire</p> <p>60cm et + : sable grossier, 85% de cailloux et pierres, pas de racine ni de vers de terre → porosité</p>

5/12/2011

Types d'érosion

- hydrique 56%
- éolienne 28%
- chimique 12%
- physique 4%

Dans le monde,
seul ~~est~~ 4% des agriculteurs
ont un tracteur.

Dégradations évaluées à 38 milliards d'€/ans

Les conséquences sont économiques, agronomiques et environnementales.

On considère que les composants de l'écosystème rendent des "services".
Le sol rend des services → support des cultures
→ matière première
→ régulation du climat (stockage de C , de N_2O)

Un complexe, chargé négativement, bloque des cations: Ca^{2+} , K^+ .
Ce complexe peut-être à la base la liaison de argile + humus et
- des pentacalciques
ou - des hydroxydes de Fe et d'Al
ou = c'est tout

Nowaday, on considère aussi les bactéries, présentes sous forme de
mucus microbiens, ou d'hyphes.

11b Le phosphore se lie grâce à des ligands.
Le nitrate NO_3^- n'est quasiment pas retenu. Il peut être absorbé
par les plantes ou bien lessivé.

Les cation alcalins* Na, K, Ca et Mg sont liés au sol par des
liaisons faibles électrostatiques.

* et alcalino-terreux

La double couche diffuse désigne une zone autour des particules de sel.

A chaque fois qu'on apporte un ion de la solution externe, il ira aussi dans la solution interne, il y a un équilibre charge pour charge. → loi de DONNAN