

Webinaire, 7 octobre 2025

« Sous la forêt ... le sol »



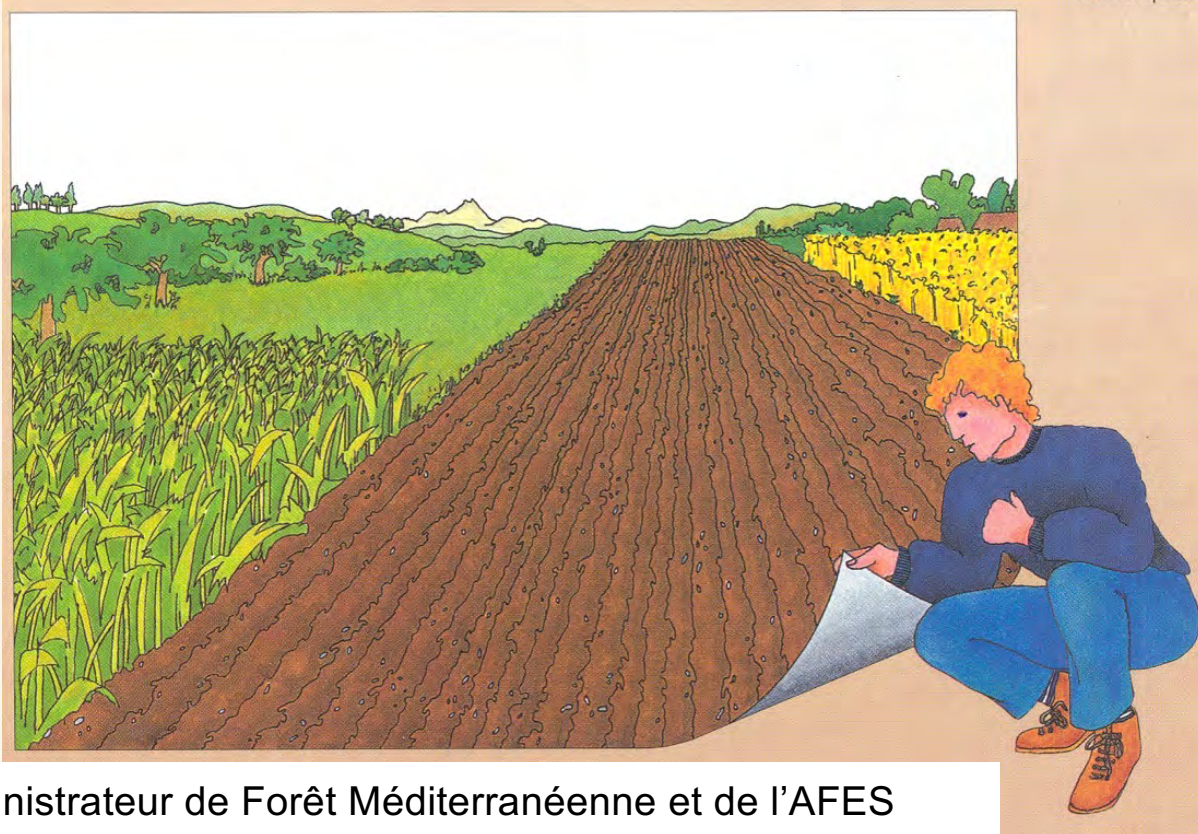
Jean-Claude Lacassin, Thierry Gauquelin, Michel Vennetier



forêt méditerranéenne

Partie n°1

La **pédologie**, est la science du sol



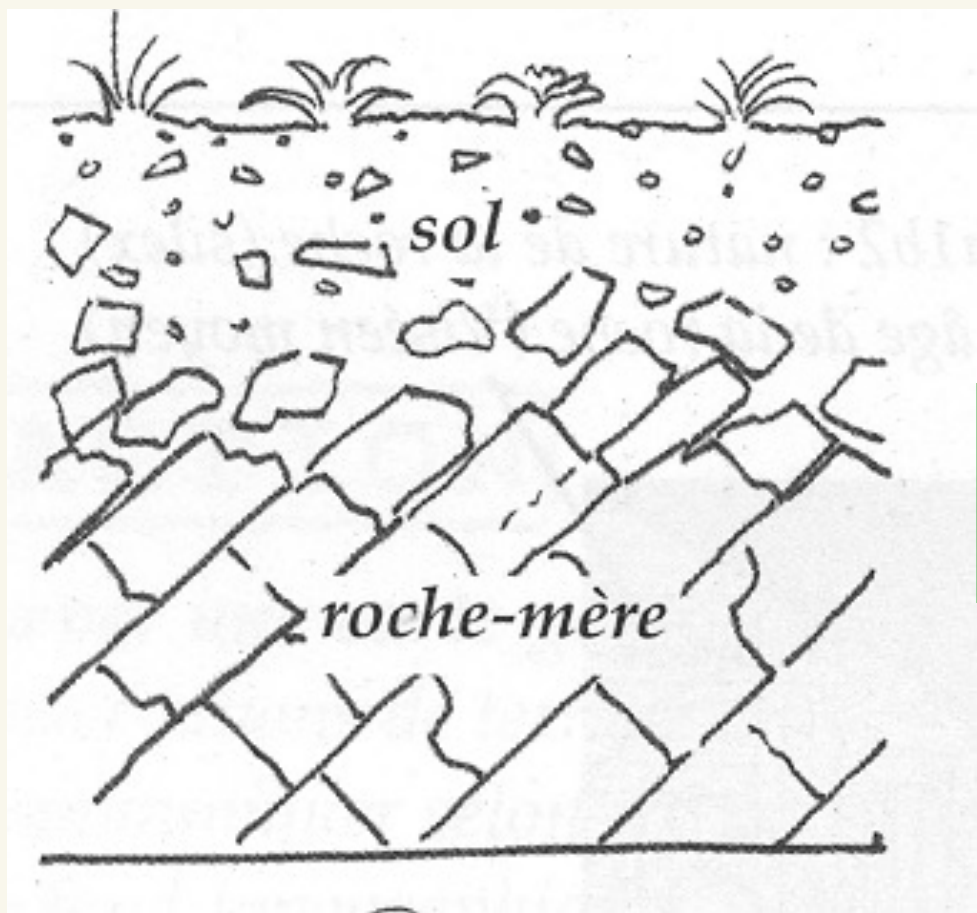
LACASSIN Jean-Claude, Pédologue / Administrateur de Forêt Méditerranéenne et de l'AFES

« Sous la forêt ... le sol » – Webinaire du 7 octobre 2025

Sommaire Partie 1

Qu'est ce qu'un sol?
Comment se forme un sol
Le sol milieu physique
Le sol milieu biochimique

Qu'est ce qu'un sol ?



- *Le sol constitue la couche supérieure de la croûte terrestre composée de particules minérales, de matières organiques, d'eau, d'air et d'organismes vivants intimement associés.*

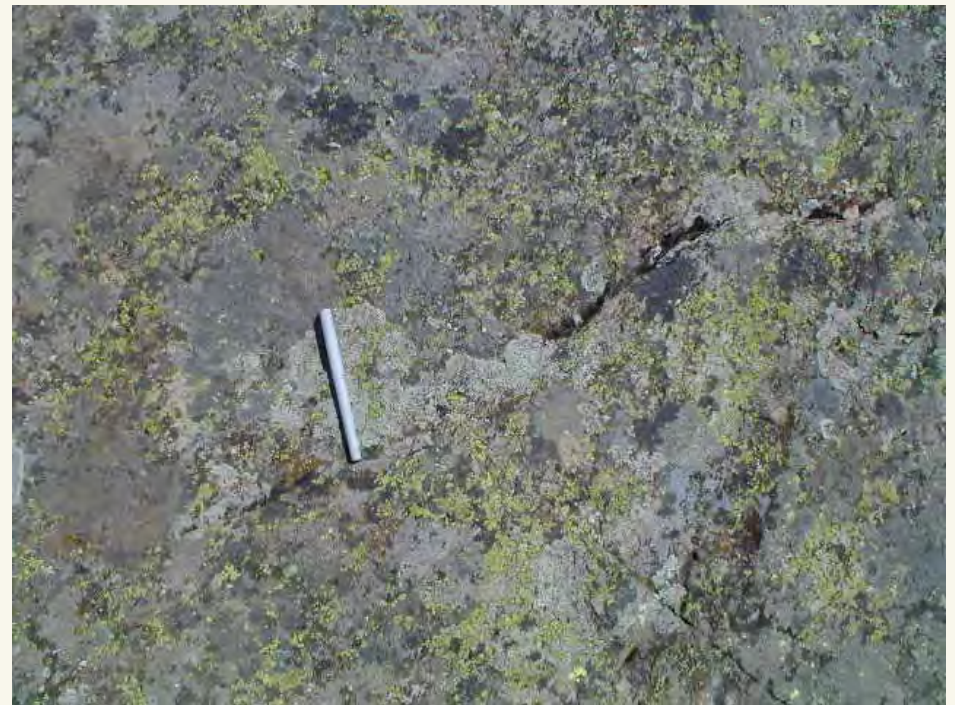


Comment se forme un sol ?

Dalle de grès houiller (Hautes Alpes)



Implantation des lichens sur le grès



Comment se forme un sol ?



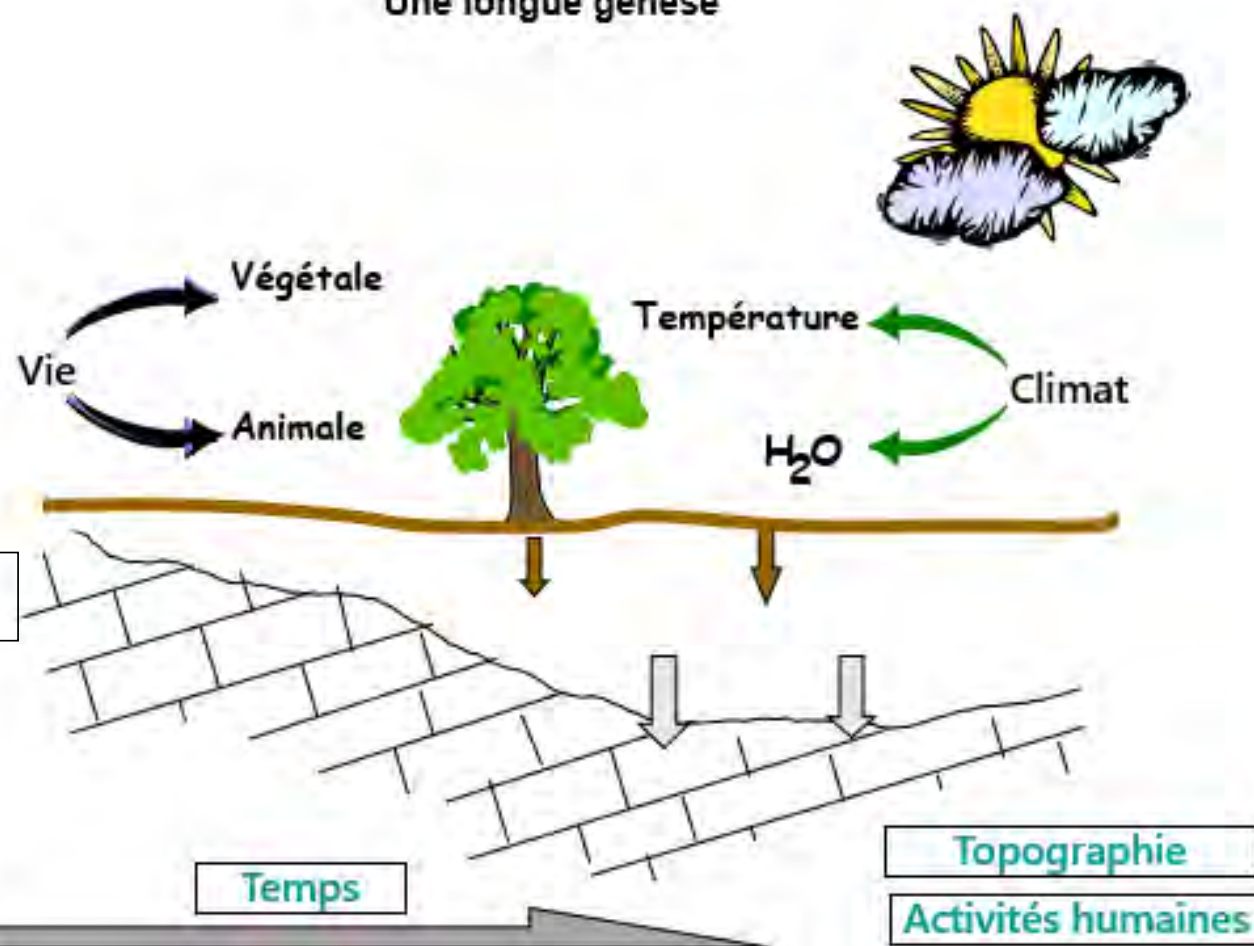
forêt méditerranéenne

« Sous la forêt ... le sol » – Webinaire du 7 octobre 2025

www.foret-mediterranneenne.org

Comment se forme un sol ?

Une longue genèse

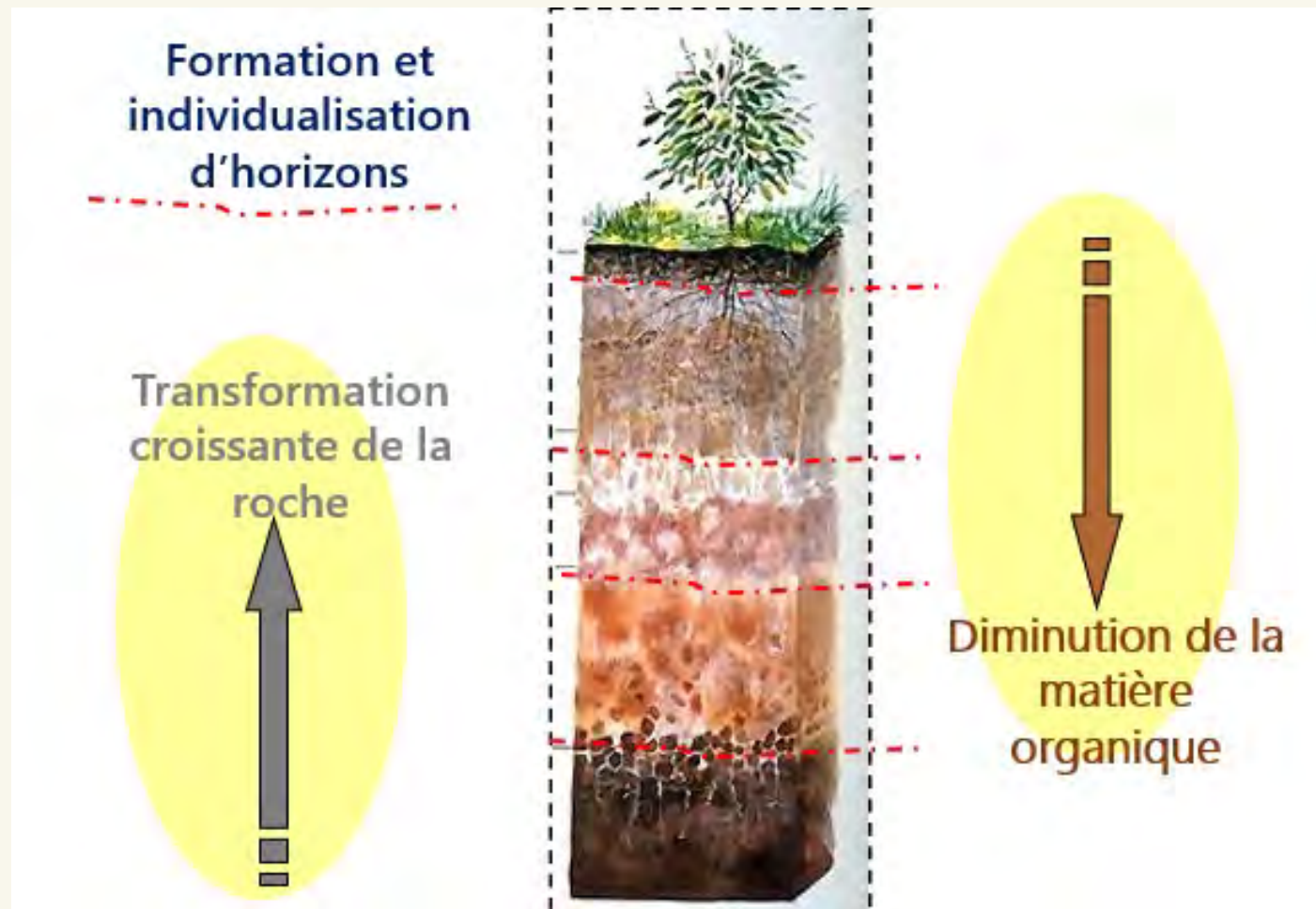


forêt méditerranéenne

« Sous la forêt ... le sol » – Webinaire du 7 octobre 2025

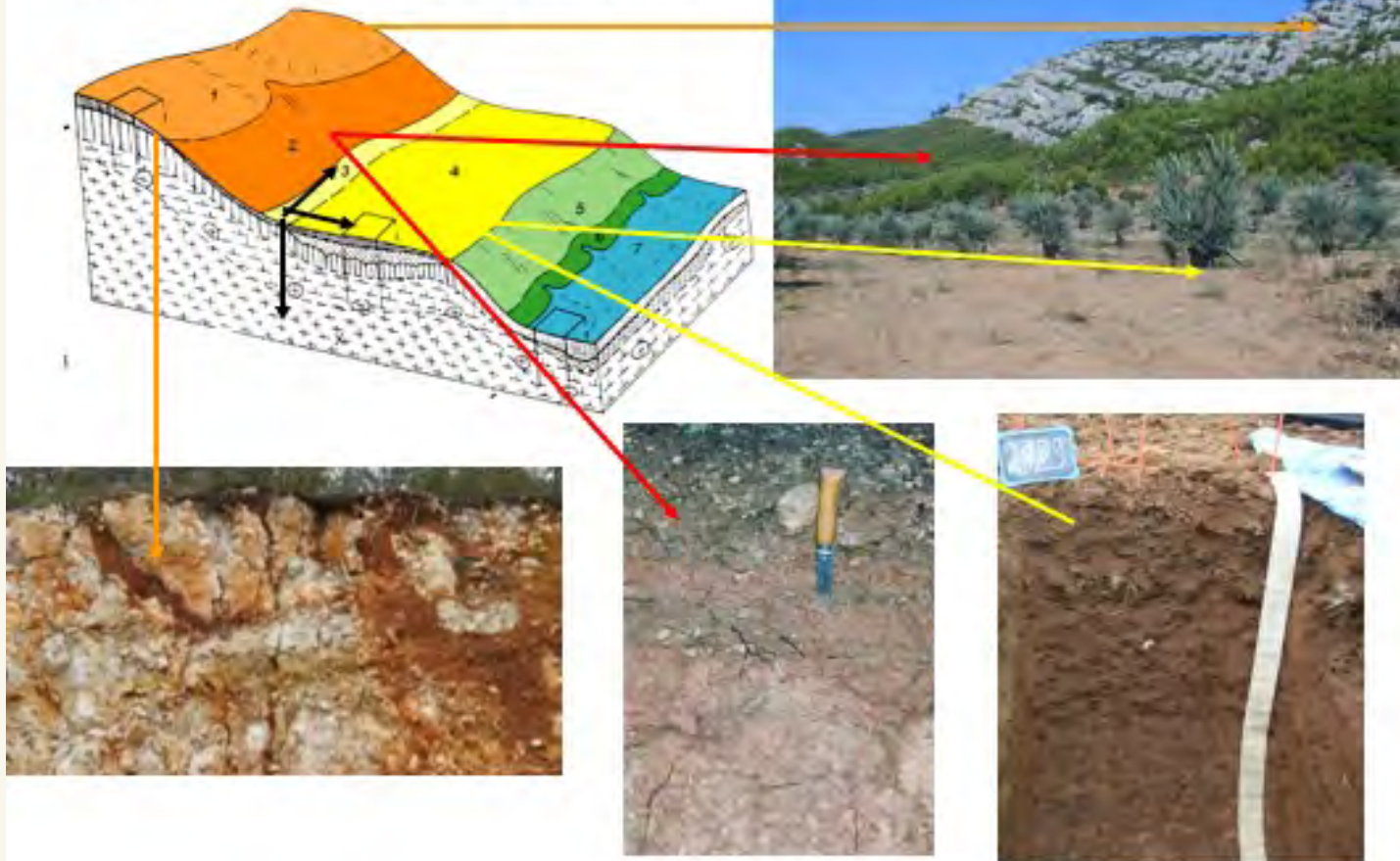
www.foret-mediterrannee.org

Comment se forme un sol ?



Comment se forme un sol ?

Les sols forment une couverture pédologique



forêt méditerranéenne

« Sous la forêt ... le sol » – Webinaire du 7 octobre 2025

www.foret-mediterrannee.org

Le sol milieu physique

Le sol est un assemblage + ou - structuré de différents constituants :

- Constituants minéraux :

- ☐ Matrice ou terre fine, $\emptyset < 2\text{mm}$, organo-minérale ou strictement minérale

- ☐ Squelette ou éléments grossiers (EG) minéraux $\emptyset > 2\text{mm}$

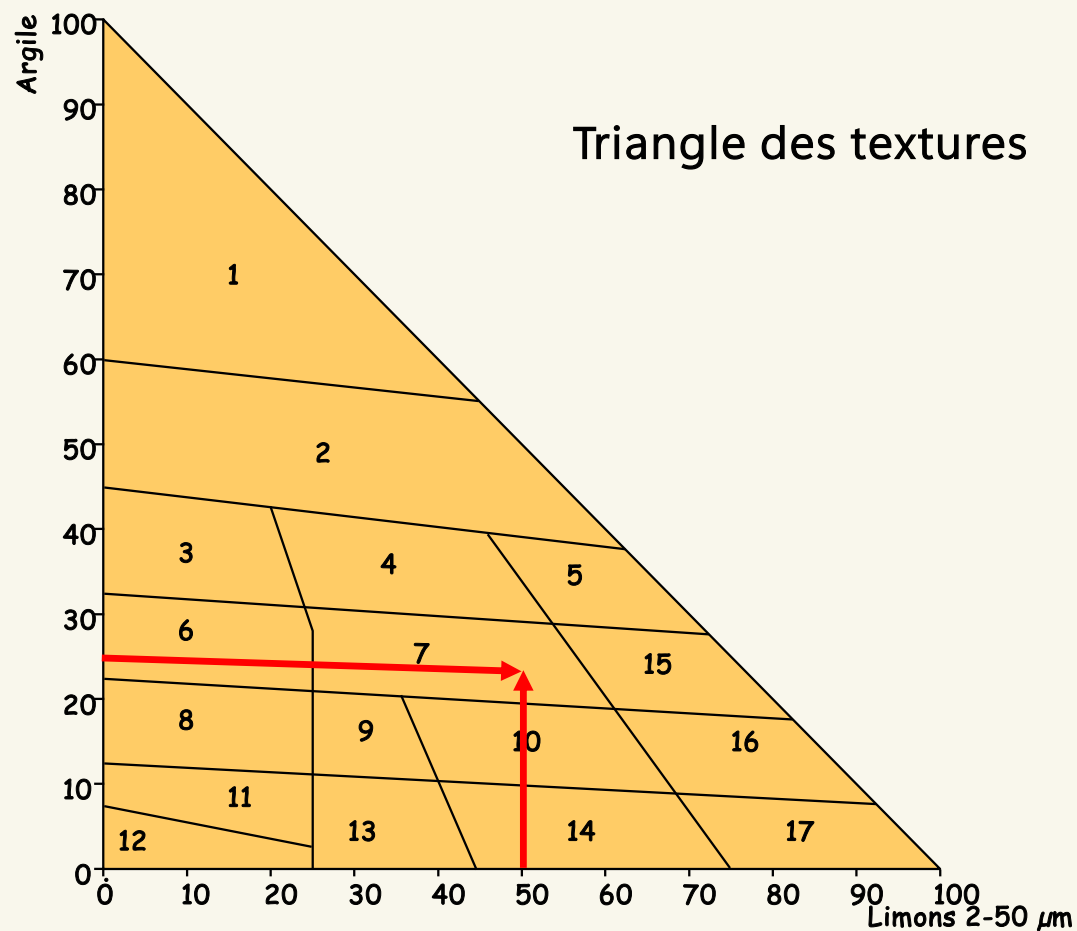
Le sol milieu physique

Le sol est un assemblage + ou - structuré de différents constituants

- ❑ Constituants organiques :
 - ❑ Organismes vivants
 - ❑ Matières Organiques des Sols (MOS)
- ❑ Eau (Solution du sol) et/ou
- ❑ Gaz (Atmosphère du sol)

Le sol milieu physique

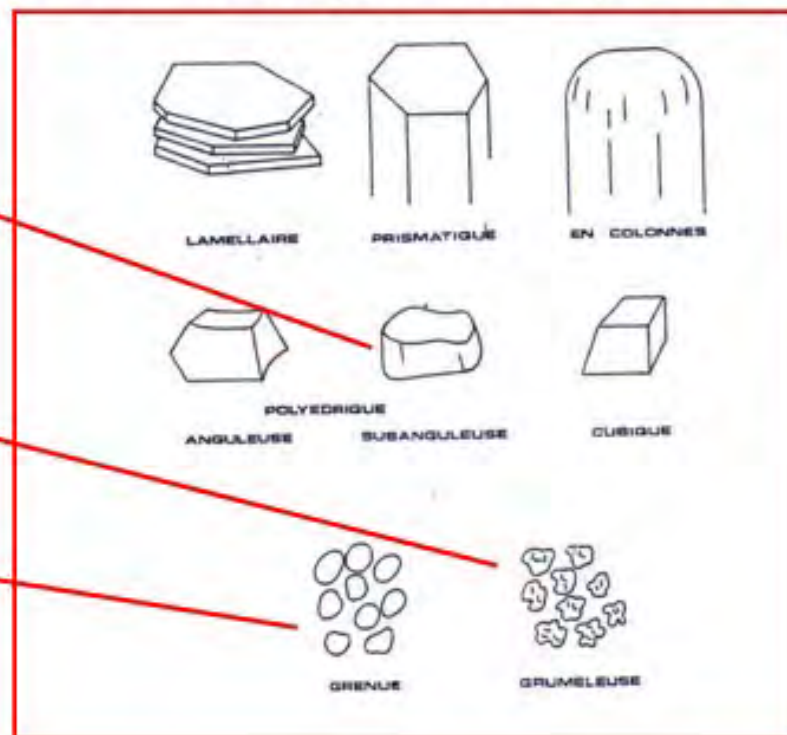
- 1 Argile lourde
- 2 Argile
- 3 Argile sableuse
- 4 Argile limono-sableuse
- 5 Argile limoneuse
- 6 Argilo-sableuse
- 7 Limono-argilo-sableuse
- 8 Sable argileux
- 9 Sable argilo-limoneux
- 10 Limon sablo-argileux
- 11 Sableuse
- 12 Sable
- 13 Sable limoneux
- 14 Limon sableux
- 15 Limon argileux
- 16 Limoneuse
- 17 Limon pur



Le sol milieu physique

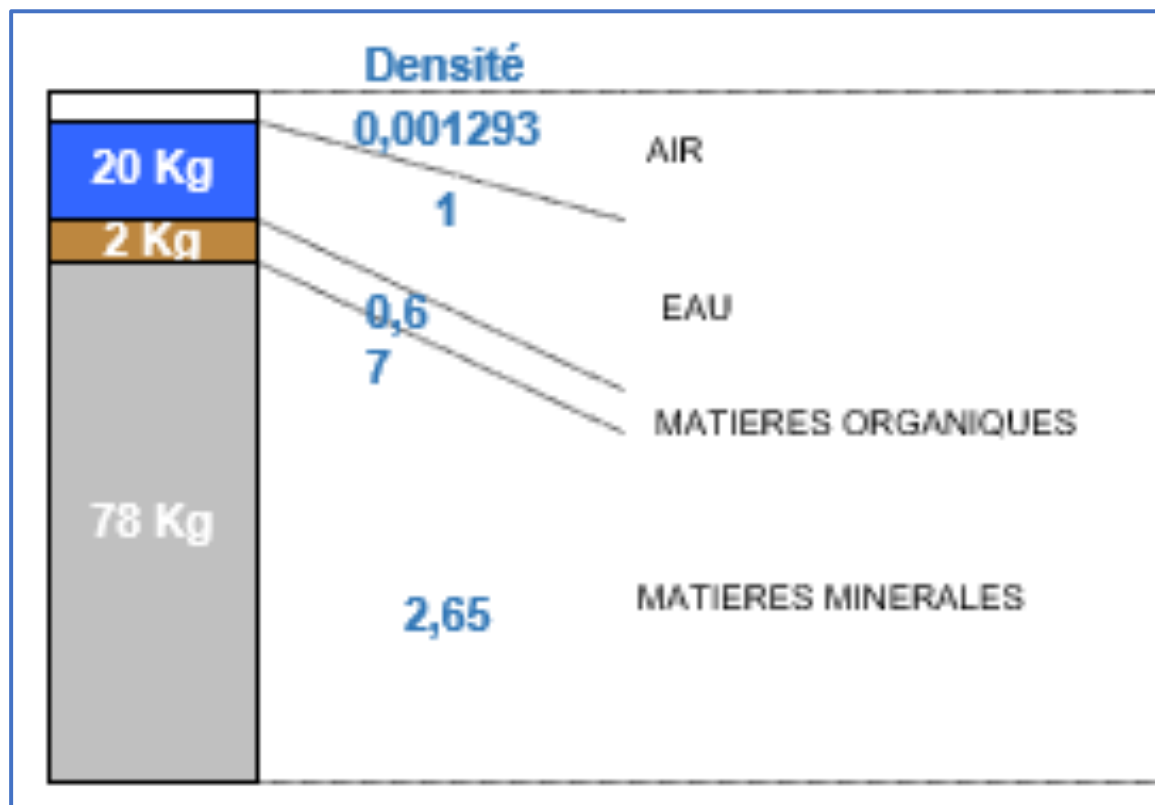


La structure est le mode d'assemblage des différentes fractions granulométriques entre elles



. Le sol milieu physique

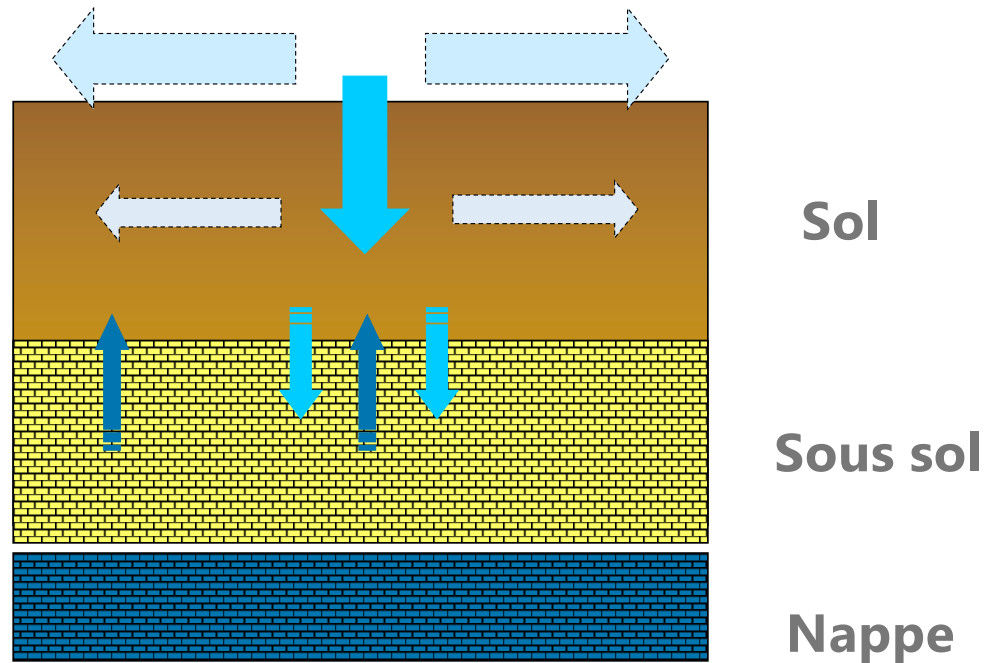
Composition pour 100 Kg de terre humide d'un horizon de surface d'un sol cultivé



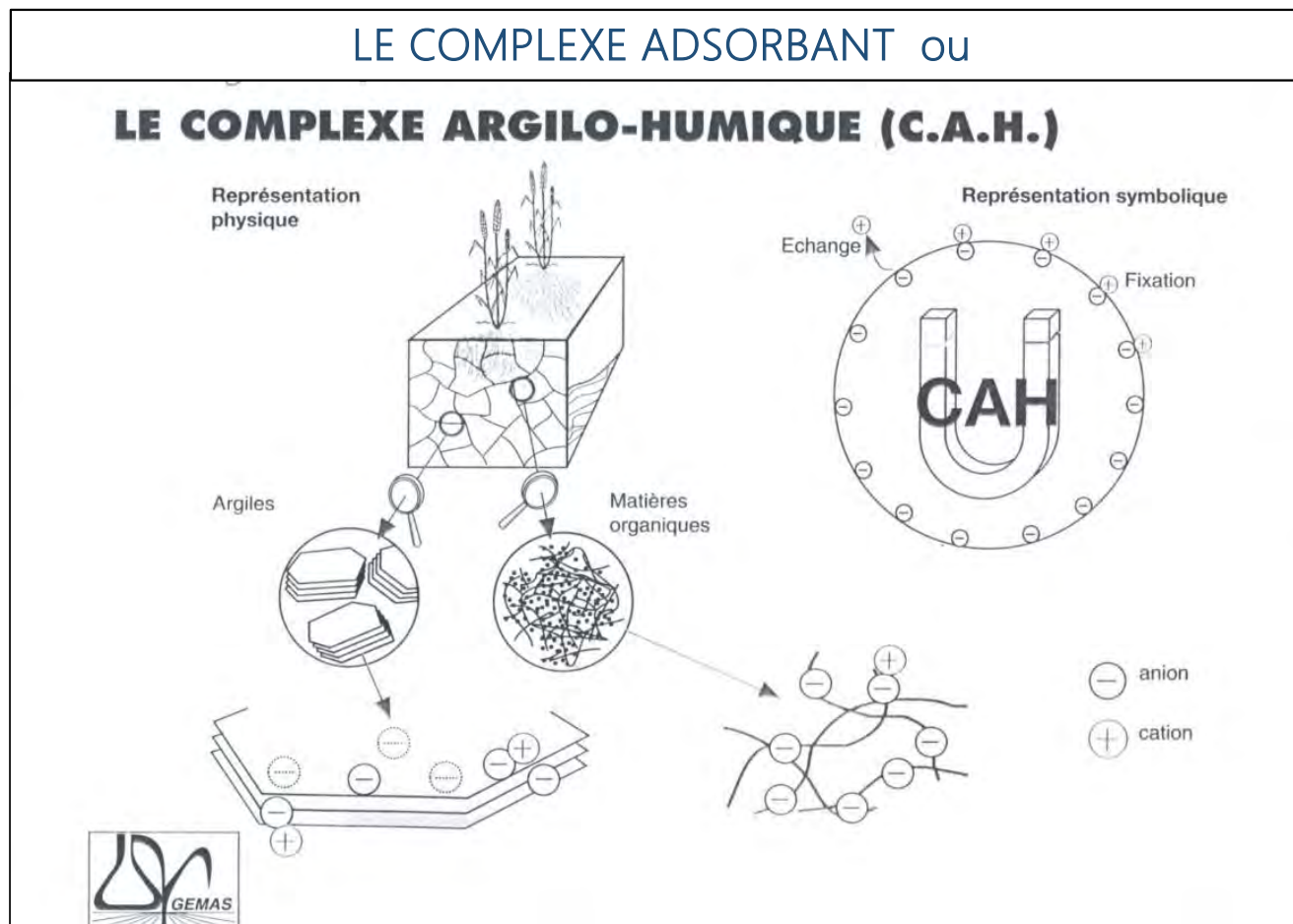
Le sol milieu physique

Mouvements de l'eau dans le sol :

- latéraux
- descendants
- ascendants

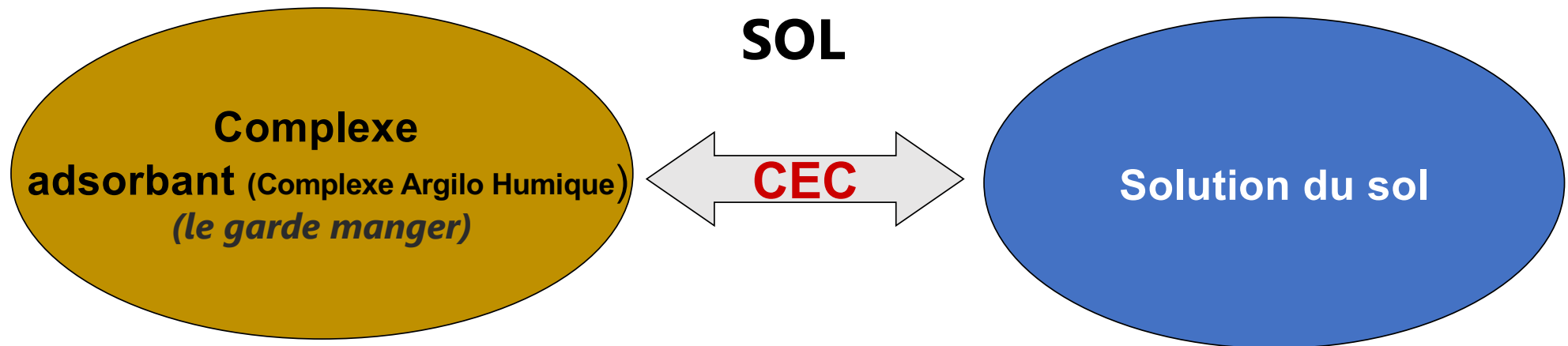


■ 2. Le sol milieu physique



Le sol milieu physique

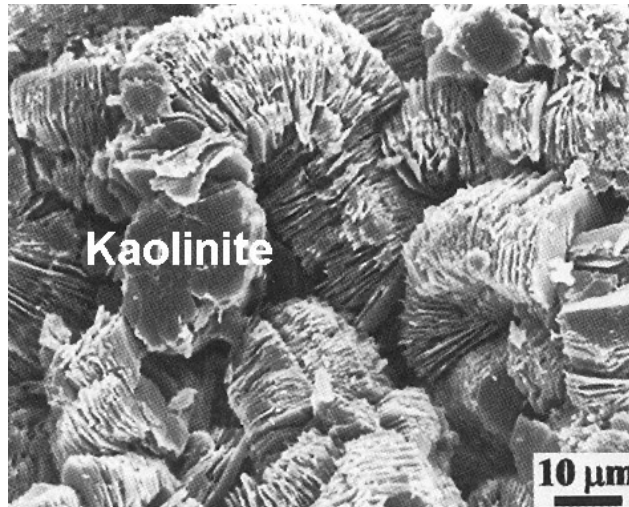
- La **CAPACITÉ D'ÉCHANGE CATIONIQUE (CEC)** entre le complexe adsorbant (« site » d'échanges) et la solution du sol (là où se nourrissent les végétaux)



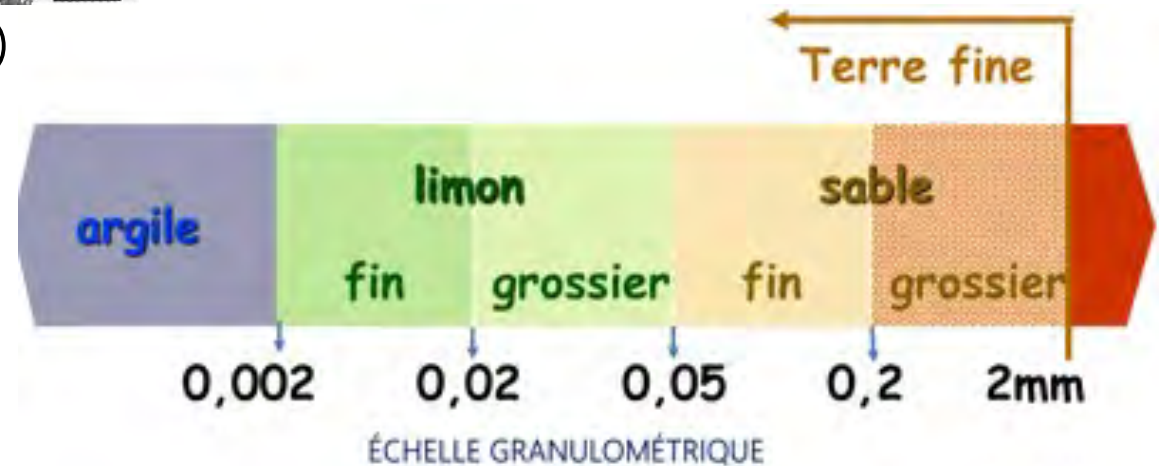
Le sol milieu physique

Les argiles

➤ Minéraux



➤ Classe granulométrique ($\varnothing < 2 \mu\text{m}$)



➤ Roche sédimentaire,

Comportements des argiles

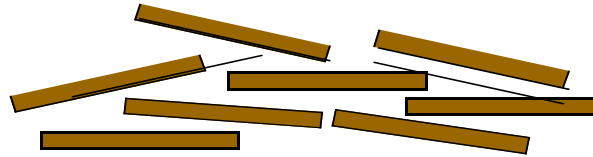
SOLIDITÉ /COHÉSION SI SEC



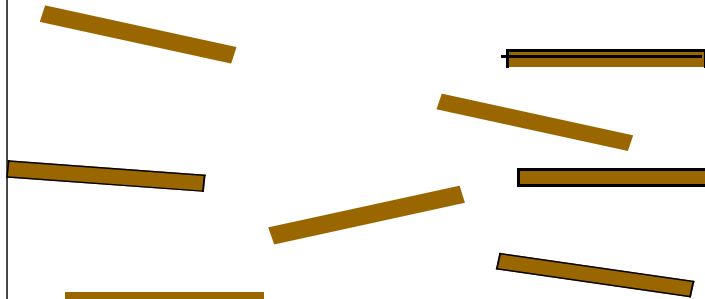
PLASTICITÉ SI HUMIDE



**FLOCCULATION PAR
LES CATIONS**



**DISPERSION PAR
L'EAU**



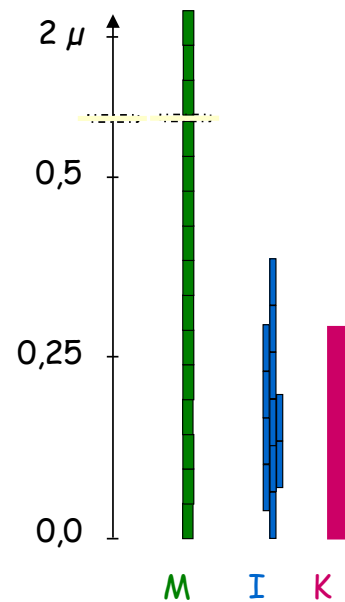
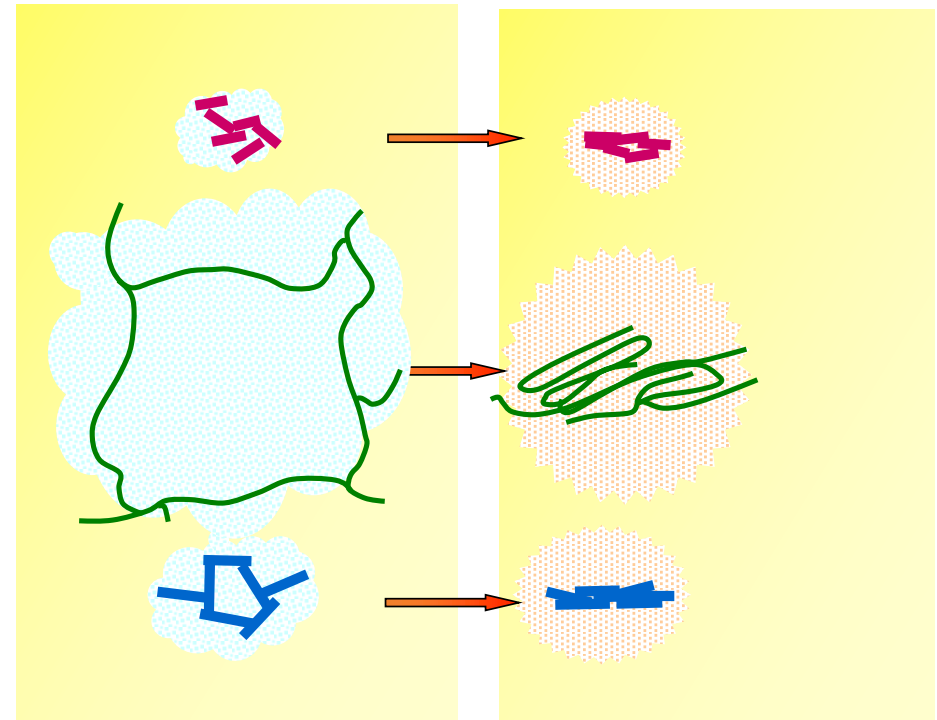
**rétractation des argiles après
dessication**

Comportements des argiles

Gonflement / Rétraction

milieu humide

milieu sec



Montmorillonite
Illite
Kaolinite

Le sol milieu physico-chimique

De la roche calcaire
aux formes du carbonate de calcium dans le sol

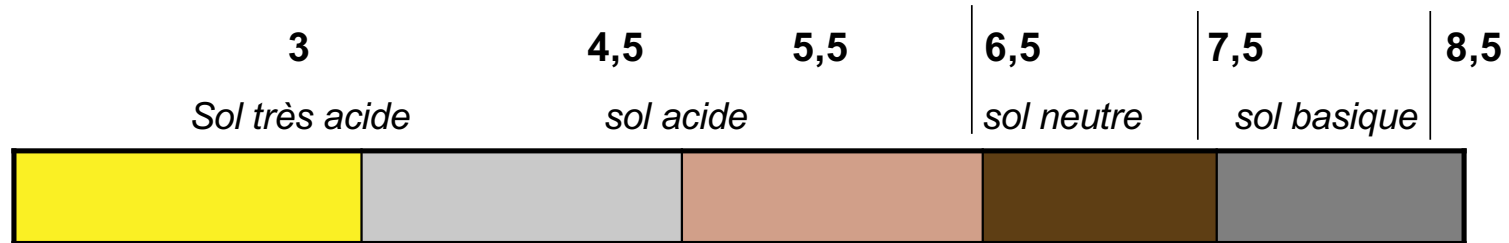


Le sol milieu physico-chimique

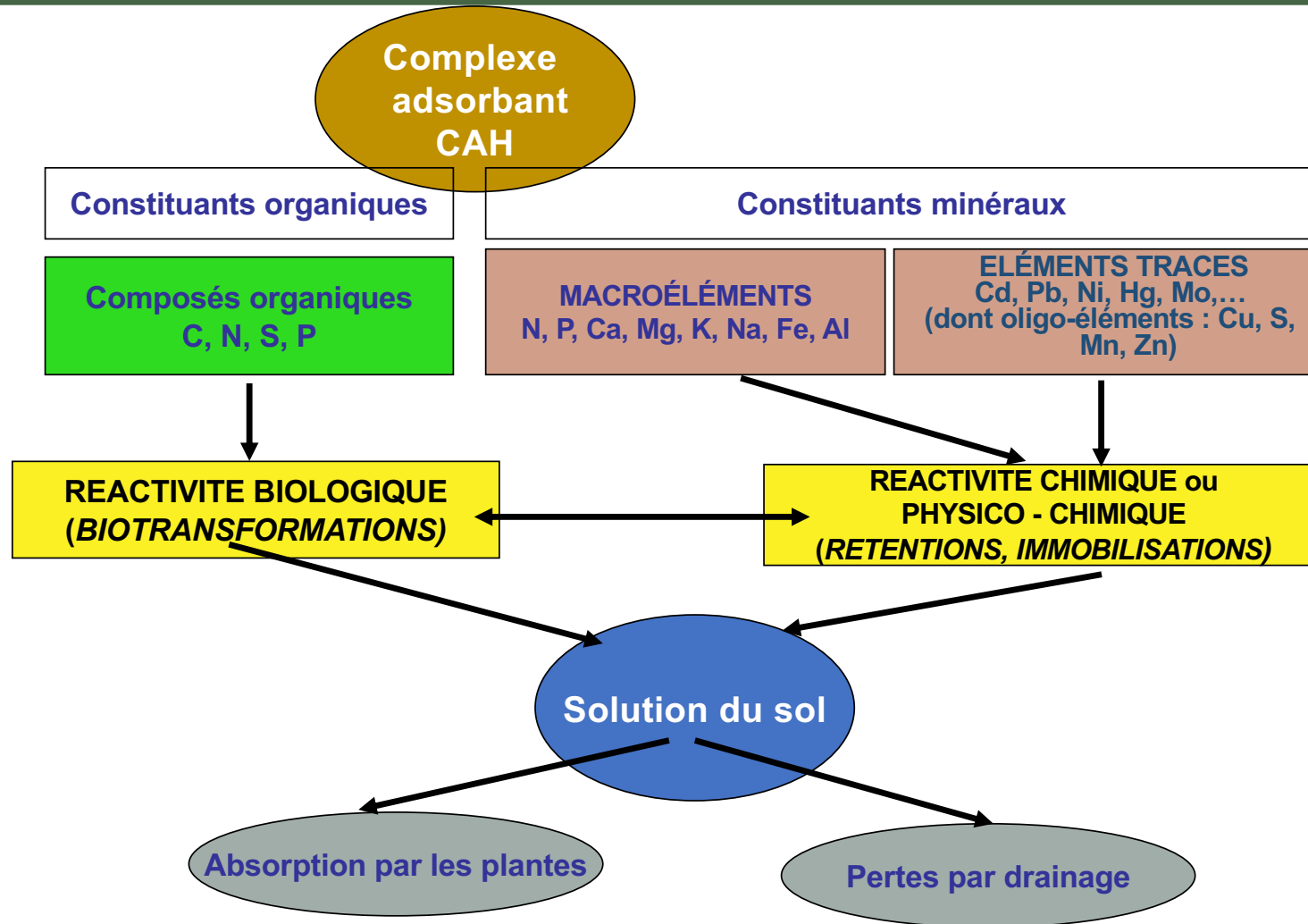
Propriété et rôles du calcium => un flocculant :

- Stabilité des agrégats
- rôle majeur sur la structuration des sols
- Favorise la nutrition minérale via la remontée du **pH** et l'activité biologique.

l'échelle des pH



. Le sol milieu biochimique



. Le sol milieu biochimique

Constituants organiques

**en milieu forestier*

Les matières organiques fraîches ou brutes

*Litière**

(feuilles et aiguilles mortes, menu bois)

*Racines mortes et faunes mortes du sol (déjections du bétail) **

Les matières organiques transformées

*Humus **

Dans le sol :

MO LIBRE

MO LIÉE

Sols sous cultures

/

Sols sous forêts

Érosion hydrique



Ornière = compaction profonde





forêt méditerranéenne

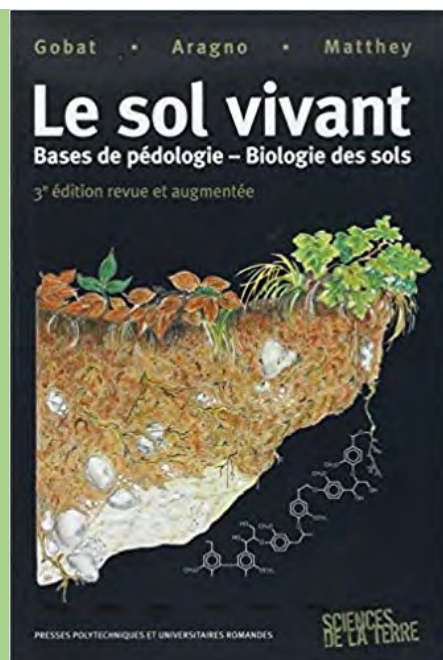
Partie n°2

Pas de sol (vivant!) sans
biodiversité



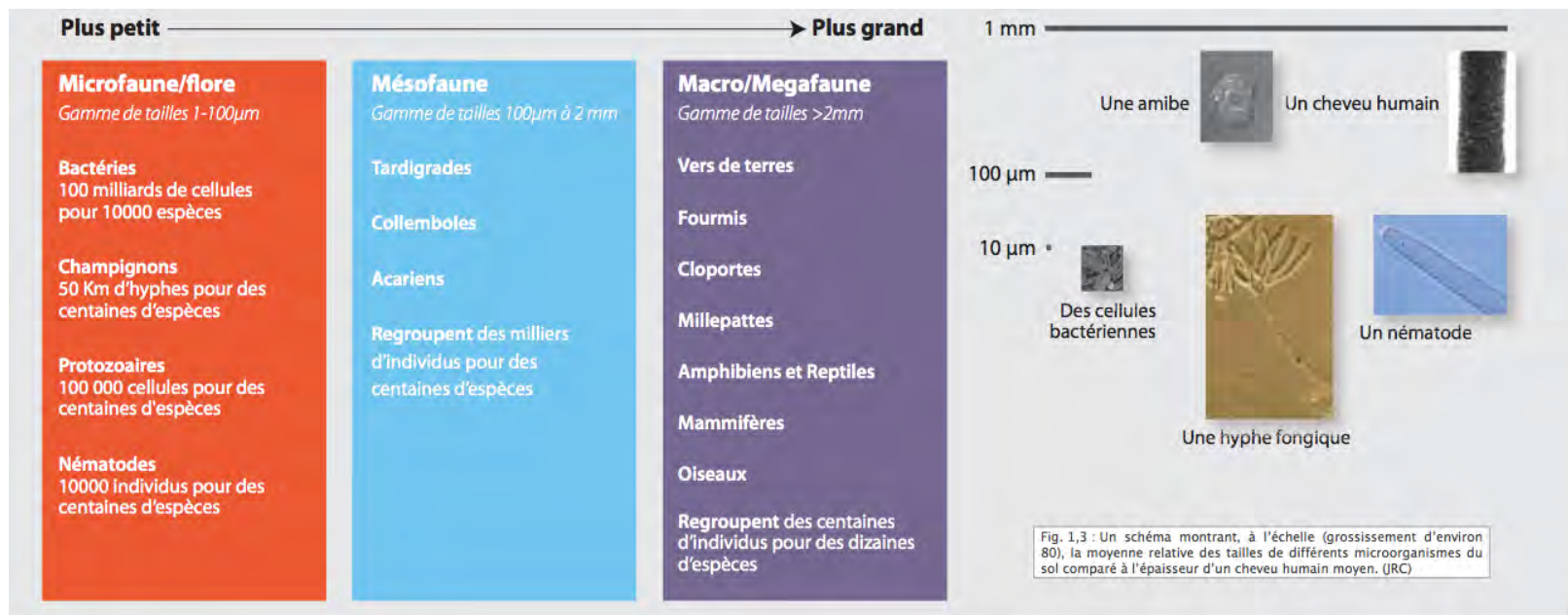
Illustration Margaux Bidat

Thierry GAUQUELIN, Professeur émérite, Aix Marseille Université - OSU Pythéas,
IMBE UMR CNRS-IRD-Univ.Avignon, Equipe EcoSoM



« Sous la forêt ... le sol » – Webinaire du 7 octobre 2025

www.foret-mediterraneeenne.org



Une biodiversité qualitativement et quantitativement...énorme





Cent milliards de collemboles
à l'abri du soleil
dans une forêt méditerranéenne





10 millions de collemboles dans 100 m²



1 milliard de
collemboles
dans 1 ha



100 milliards de
collemboles dans la
forêt (100ha)
de Chênes
pubescents de
l'OHP!!!!

A close-up photograph of a forest floor covered in fallen, brown, and reddish leaves. The leaves are scattered and overlapping, creating a textured background. The text is overlaid on this image.

Dans ces 100 ha de forêt, il y a environ 100000 Chênes qui portent chacun 10000 feuilles.... Soit en tout 1 milliard de feuilles dont vont pouvoir s'occuper 100 milliards de collemboles... Soit une feuille pour 100 collemboles! Cool!

Une autre vision de la forêt... Et de sa biodiversité

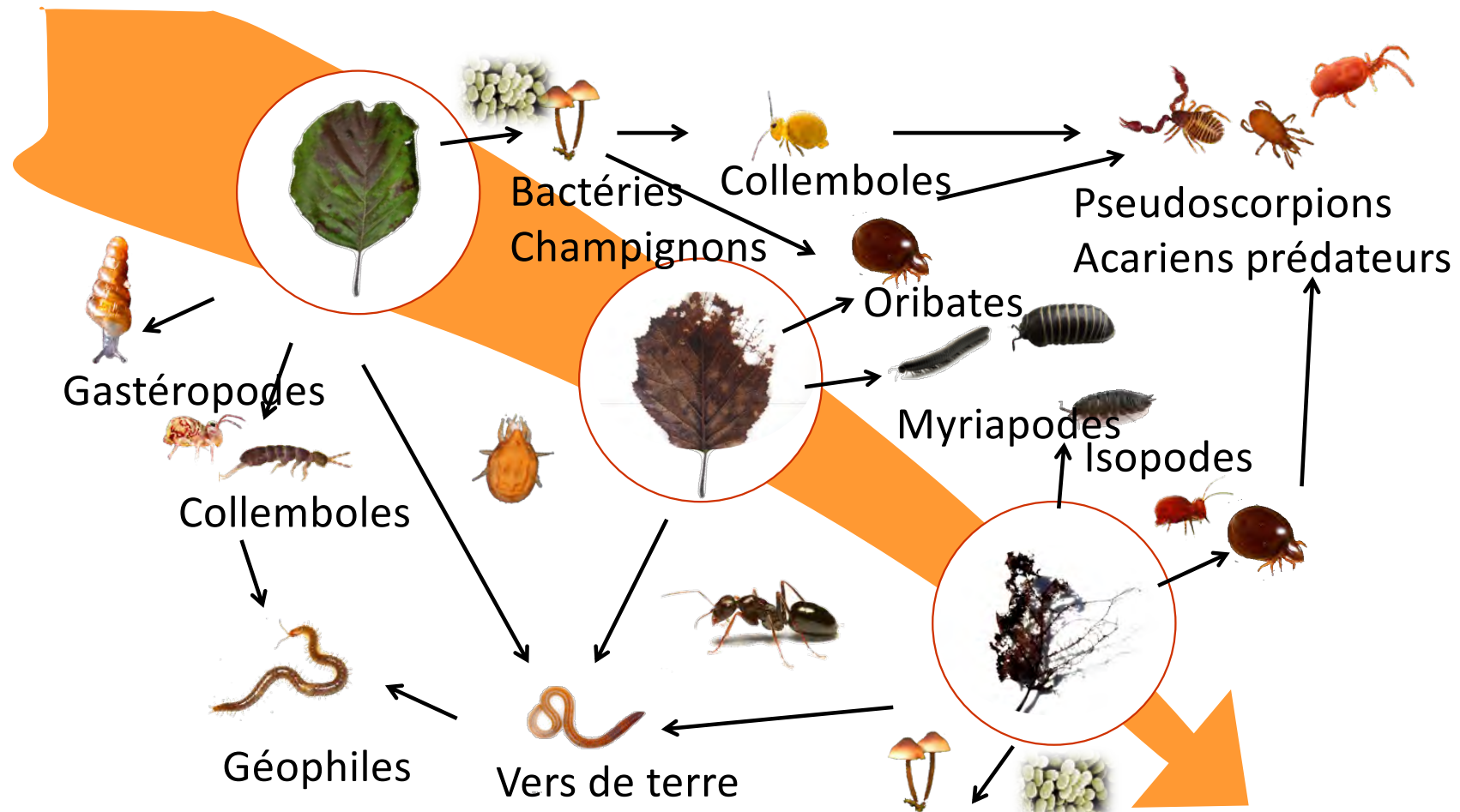
la
biodiversité
en forêt...
c'est
surtout...
dans le sol

Une
Chênaie
pubescente
en Haute
Provence



Le processus de décomposition, clé du fonctionnement des écosystèmes forestiers

M. Chomel, 2014



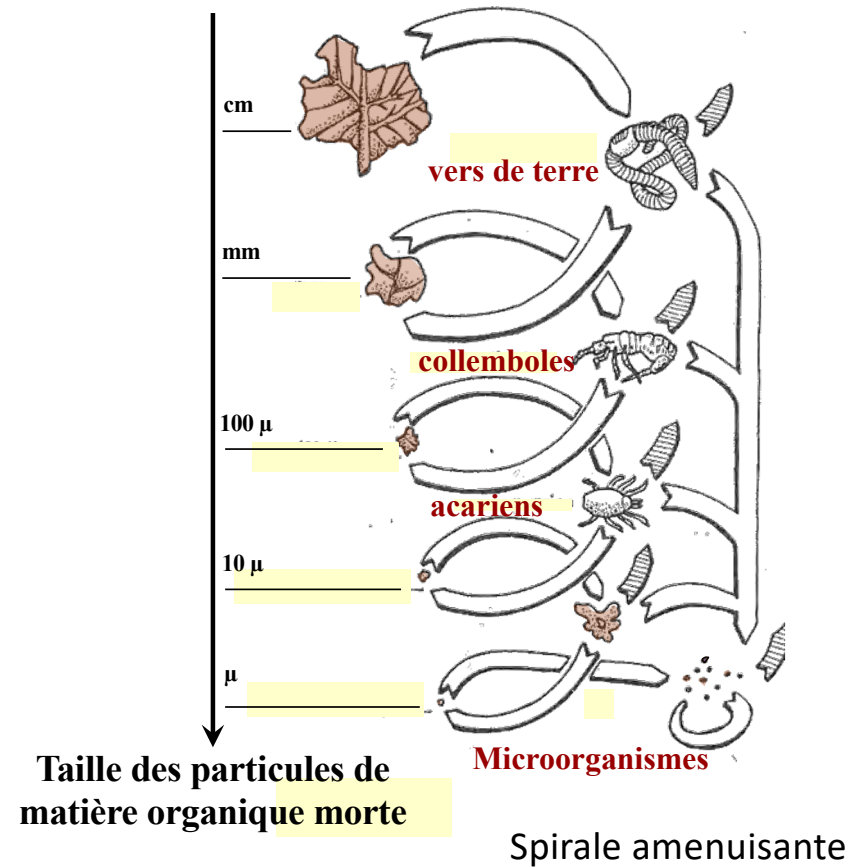
Chaîne de décomposition de la matière organique du sol

Fragmenter et amenuiser...

Dégrader et minéraliser

Mélanger MO-Matière minérale...

Stabiliser...Humus



« Les fragmenteurs de grande taille »



Gasteropodes



Myriapodes Diplopodes



« Les fragmenteurs de taille moyenne »



Annelides Enchytréides



Acariens Oribates



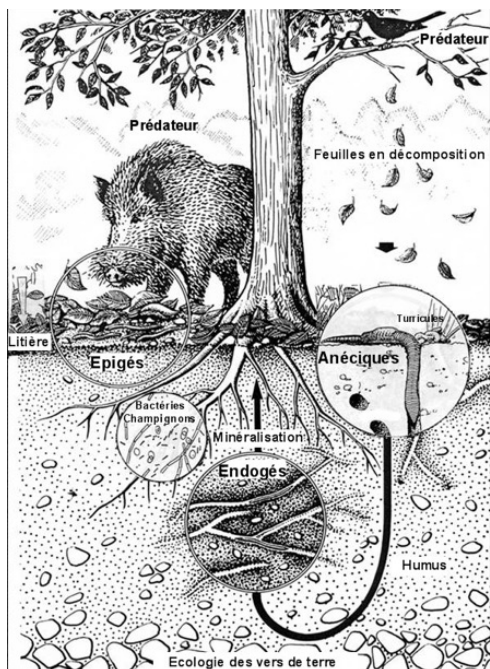
Acariens gamasides



Collemboles symphileones



Collemboles Arthropleones



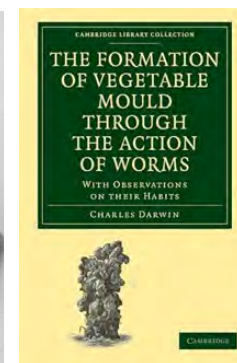
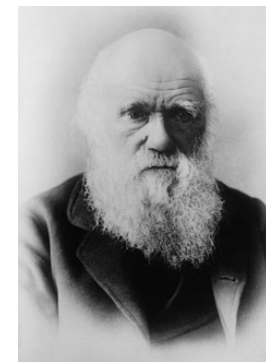
dossier du Laboratoire de Zooécologie du sol INRA
Novembre 2001



L'importance de la biodiversité du sol : le cas du ver de terre

Daniel CLUZEAU, Guénola PERES
Université de Rennes 1 - OSUR - UMR CNRS 6553 ÉcoBio - Station Biologique de Paimpont
Frédéric THOMAS
Rédacteur en chef de la revue TCS (Techniques Culturelles Simplifiées)

Dossier Vers de terre, extrait de la revue TCS n° 27, Mars/Avril/Mai 2004



Charles
Darwin



5%

20-40%

40-60%

Caractéristiques des grandes familles de vers de terres			
	Les épigés	Les endogés	Les anéciques
Milieu	Ils évoluent dans la litière ou les premiers centimètres du sol	Localisés dans le sol et principalement les premiers 50 cm	Ils évoluent dans tout le profil et surtout verticalement.
Taille	1 à 5 cm	1 à 20 cm	10 à 110 cm
Couleur/pigmentation	Rouge à rouge foncé	Rose à gris clair	Rouge à brun
Fonction	Brassent la matière organique et la fractionnent.	Se nourrissent de matières organiques plus ou moins dégradées. Creusent des galeries horizontales et temporaires (obstruction par les rejets) mais très ramifiées (participation à la création de la structure grumeleuse. Rôle relais et complémentaire des anéciques.	Mélangent la matière organique à la matière minérale. Creusent des galeries permanentes qui peuvent descendre jusqu'à 3 m. Rejettent leurs déjections à la surface du sol sous la forme de turrículos.



Turrículos de vers de terre
anéciques



Potassium x10; Phosphore x16;
Azote, +30%... par rapport au sol
en place



Forêt de la Sainte_Baume

Les champignons:

Un métabolisme fondamentalement hétérotrophe pour le carbone

Participent à la décomposition de la matière organique morte :

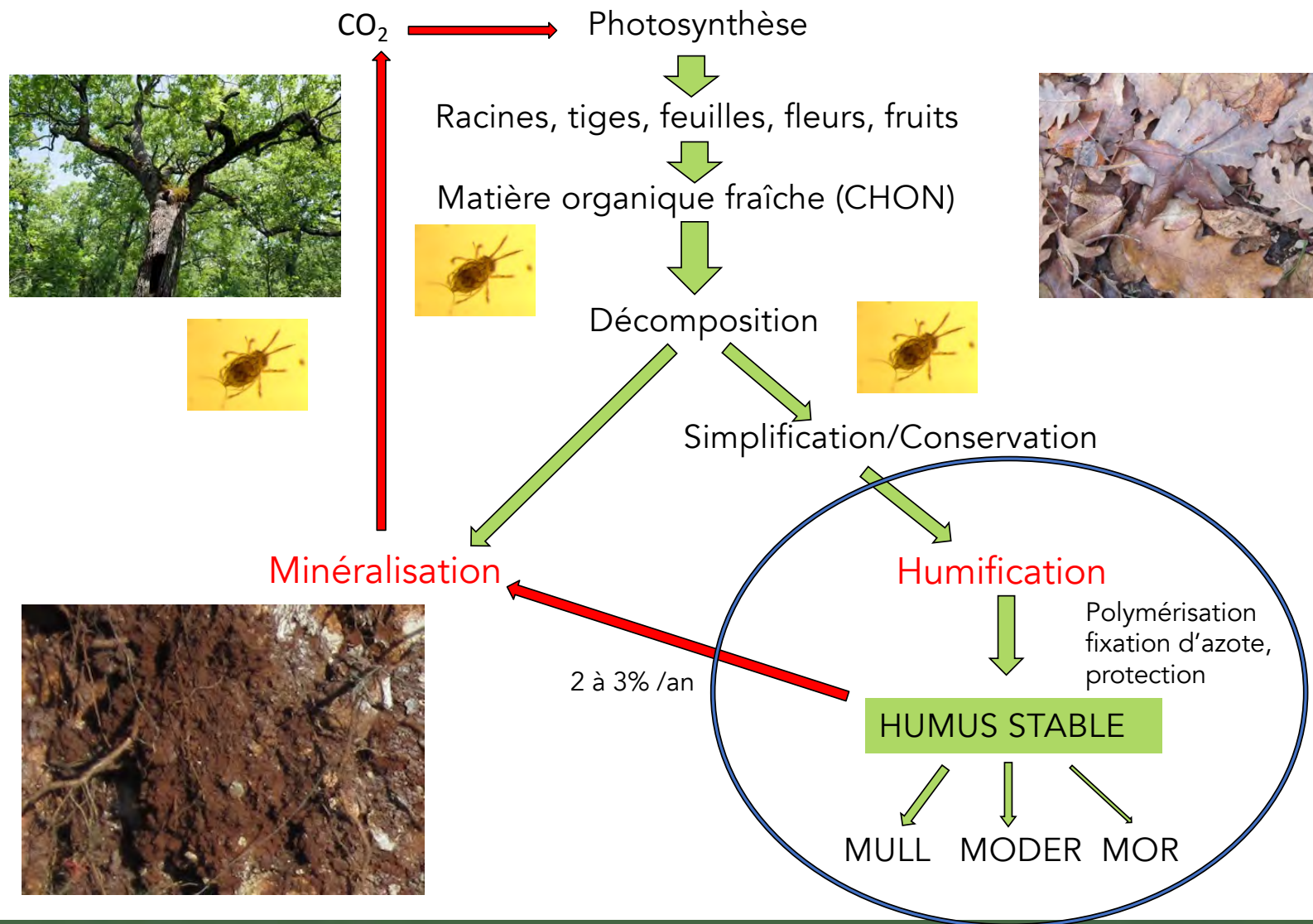
Capables de dégrader la lignine et les complexes phénol-proteine ... par le biais d'enzymes extracellulaires

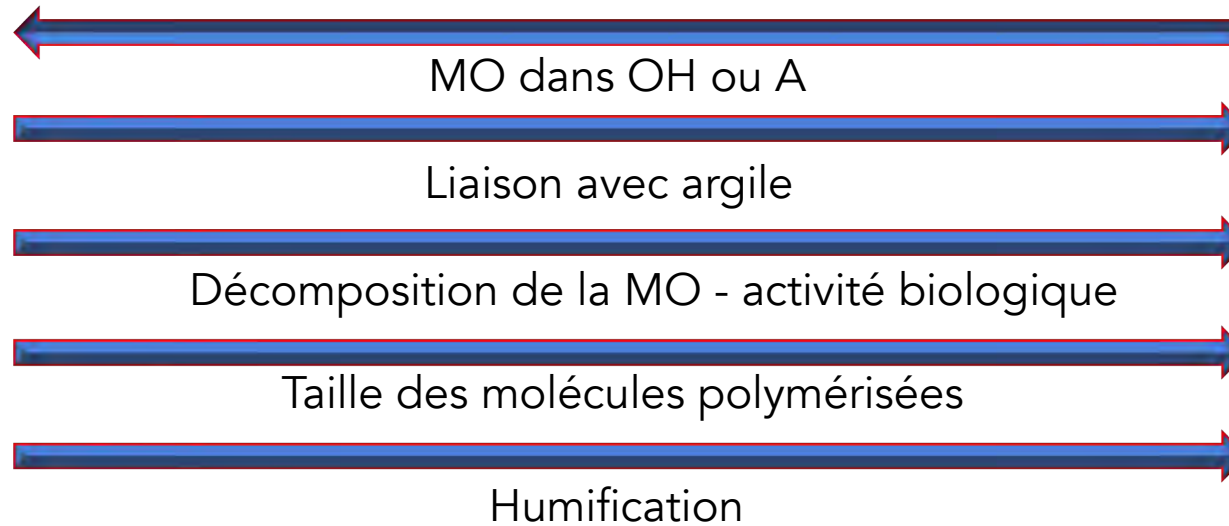
Champignons saprophytes de la litière ou du bois mort



En forêt.....un sol vivant...et du bois mort.....







MOR



MODER



MULL



Climat
T°/ Précipitations



Changement
climatique

Matériau parental



Formes d'humus
MOR MODER MULL



Qualité de la litière

Sylviculture
Plantations, etc



Temps...

B. JABIOL
A. BRÉTHES - J.-F. PONGE - F. TOUTAIN - J.-J. BRUN

L'HUMUS

SOUS TOUTES SES FORMES

2^e édition



AgroParisTech

ÉCOLE NATIONALE DU GÉNIE RURAL, DES EAUX ET DES FORÊTS

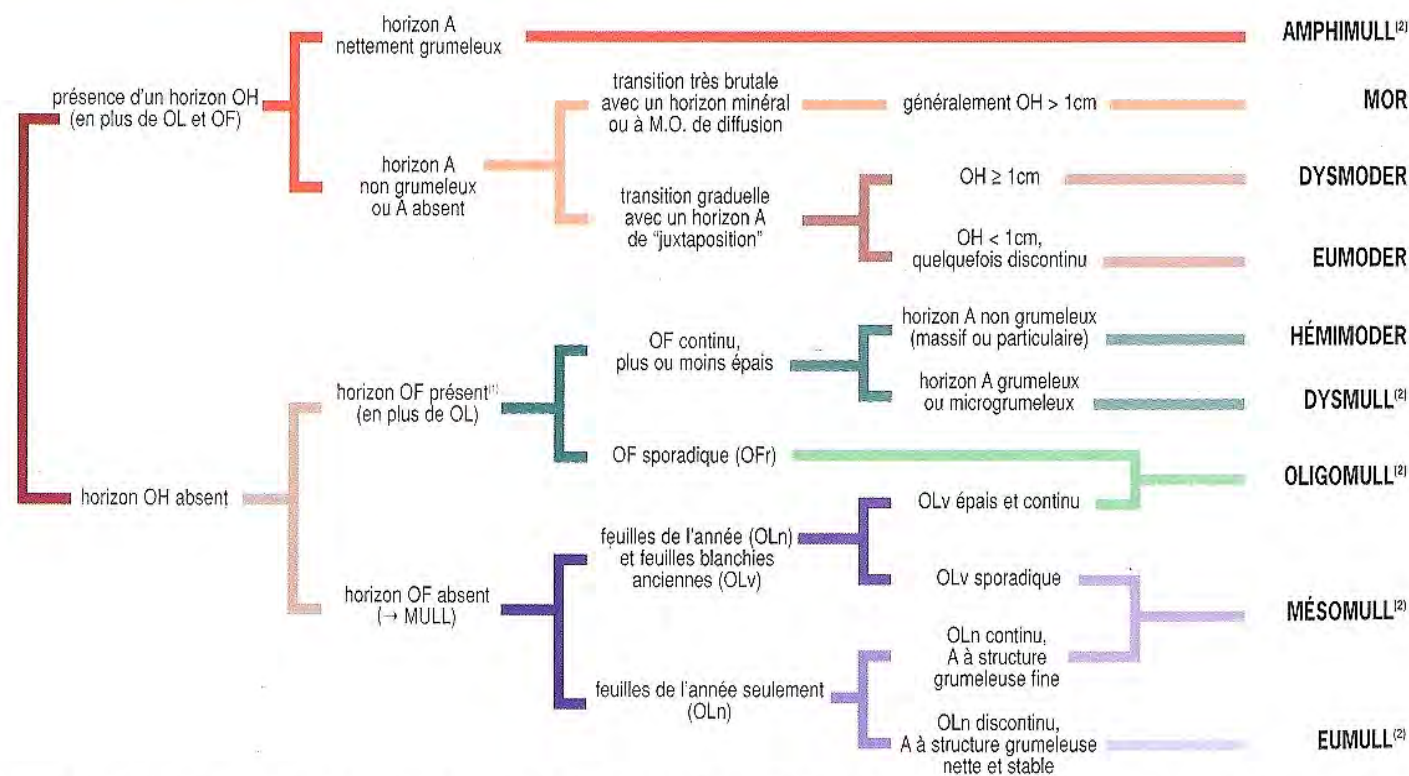


forêt méditerranéenne

« Sous la forêt ... le sol » – Webinaire du 7 octobre 2025

www.foret-mediterraneenne.org

CLÉ DE DÉTERMINATION DES PRINCIPALES FORMES D'HUMUS AÉRÉES DE PLAINE (voir également clé simplifiée page suivante)



(1) Ne pas confondre quelques débris de feuilles non blanchies de l'année (horizon OLt) avec un véritable horizon OF à débris généralement blanchis et toujours mêlés de granules de matière organique (boulettes fécales).

(2) Si l'horizon A fait effervescence à HCl, ces formes d'humus sont qualifiées de "carbonatées" (ex. Eumull carbonaté, Mésomull carbonaté, etc...).

Mais surtout symbioses mycorhiziennes

- Symbiose avec Racines des Spermaphytes, Bryophytes, rhizomes de Ptéridophytes.
- Existe depuis Le Dévonien
- Chez plus de 80% des végétaux supérieurs



Ectomycorhizes

Pas de pénétration dans les cellules

Manchon mycélien autour des racines courtes = **manteau**

Vers l'extérieur les filaments mycéliens forment un réseau dans le sol

Echanges à l'interface hôte-symbiote:

- Champignon :
Exploitation d'un volume de sol plus important



Nutrition minérale de la plante (N, P),
Alimentation en eau de la plante
Action protectrice vis-à-vis des
microorganismes pathogènes du sol

- Plante :
Apporte les molécules organiques (sucres)
nécessaires à la nutrition du champignon



Comment retrouver des
sols vivants ?

En retrouvant de la MO

En retrouvant des processus
naturels.

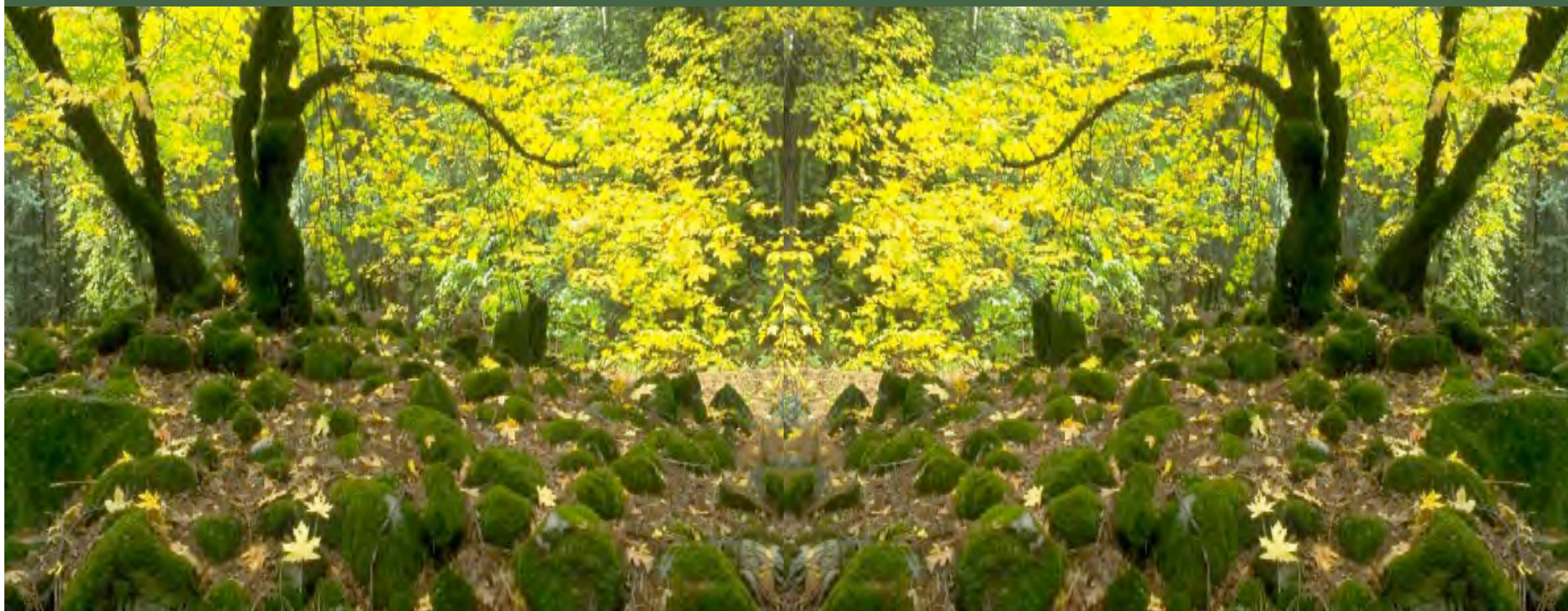




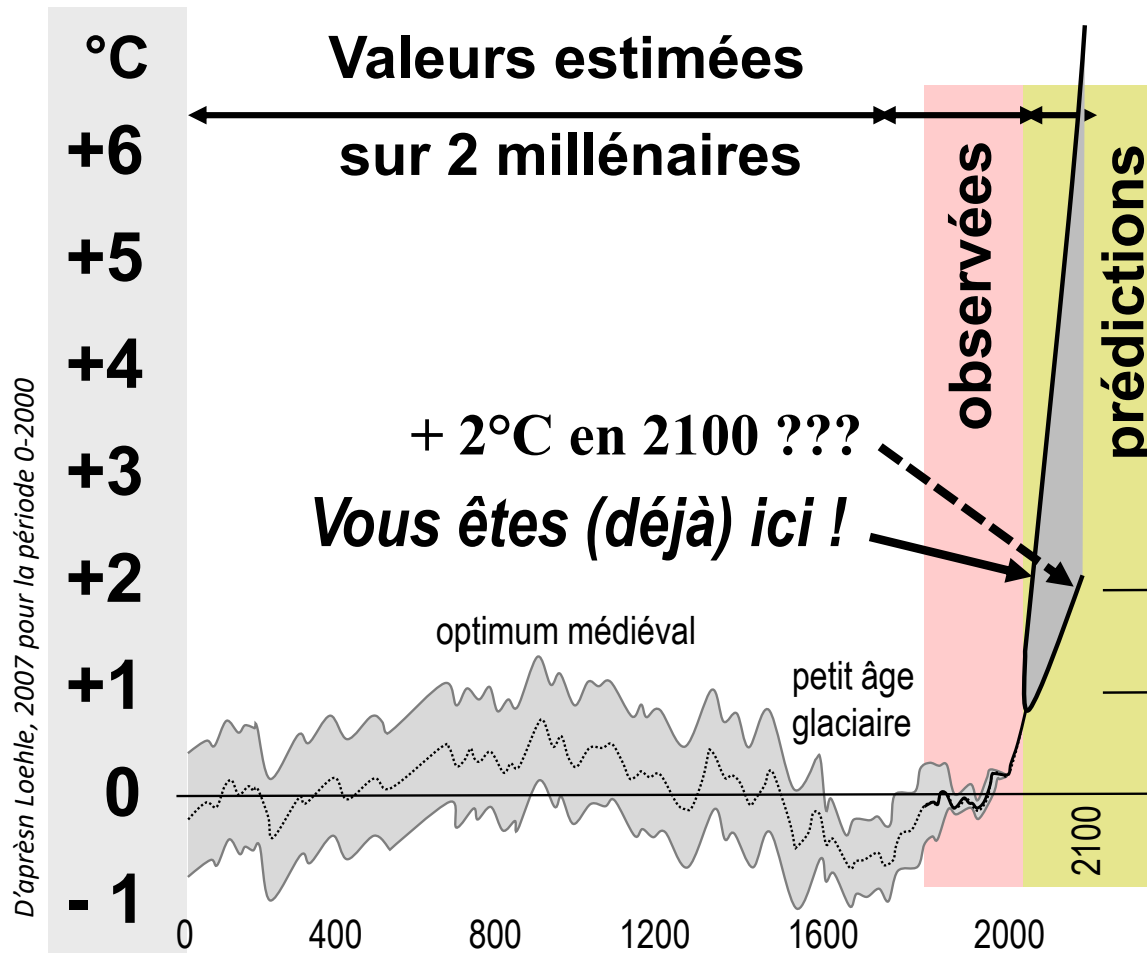
forêt méditerranéenne

Partie n°3

Les défis du sol face aux changements globaux : climat / incendies



Michel Vennetier, Expert associé, retraité d'INRAE Aix-en-Provence, Equipe EMR, UMR RECOVER, Aix-Marseille Université



Région méditerranéenne :

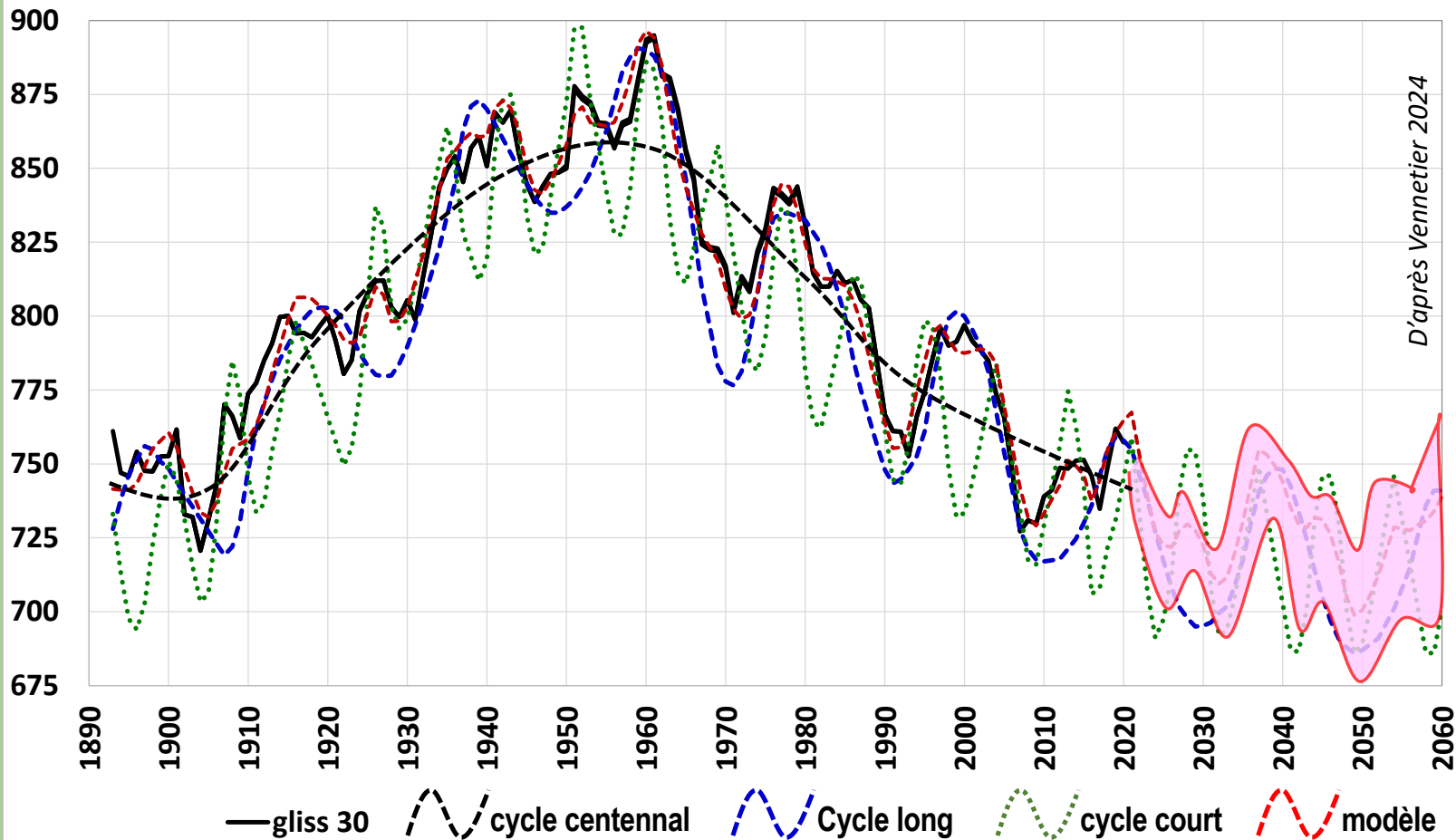
- déjà +2,2°C moy annuelle
- t° été => +0.5°C / 10 ans
+5°C fin du siècle
- t° max d'été >> 50°C



forêt méditerranéenne

Pluies : 3 cycles imbriqués, baisse sensible

Moyenne glissante 30 ans, cycles de base optimisés et modèle final



Cycle centennal
en baisse depuis 1960

Cycles long et court
stables depuis 200 ans

Modèle
prédiction : $r^2 = 90\%$
=> Projection avenir
Sécheresses persistantes



forêt méditerranéenne

Risque d'incendie en hausse : sols en danger

Un climat plus chaud et plus sec

donc des feux

plus fréquents,

plus violents,

plus précoces

plus destructeurs

**Risque de
mégafeux**

- Végétation déhydratée
 - Forte mortalité plantes => *grosse biomasse morte*
 - Litière mal décomposée
- => *peu de végétation résiduelle*
dégâts profonds au sol
humus fortement impacté
forte perte de matière organique
érosion accélérée
- => perte de fertilité

2 menaces qui augmentent



*Les incendies
répétés*



*Les sécheresses
répétées*

Plus que les feux ou sécheresses même intenses, mais dispersées dans le temps, ce qui impacte toutes les composantes de l'écosystème, et particulièrement le sol, sa biologie et sa fertilité, c'est :

- les sécheresses pluriannuelles,
- la répétition de feux à court terme

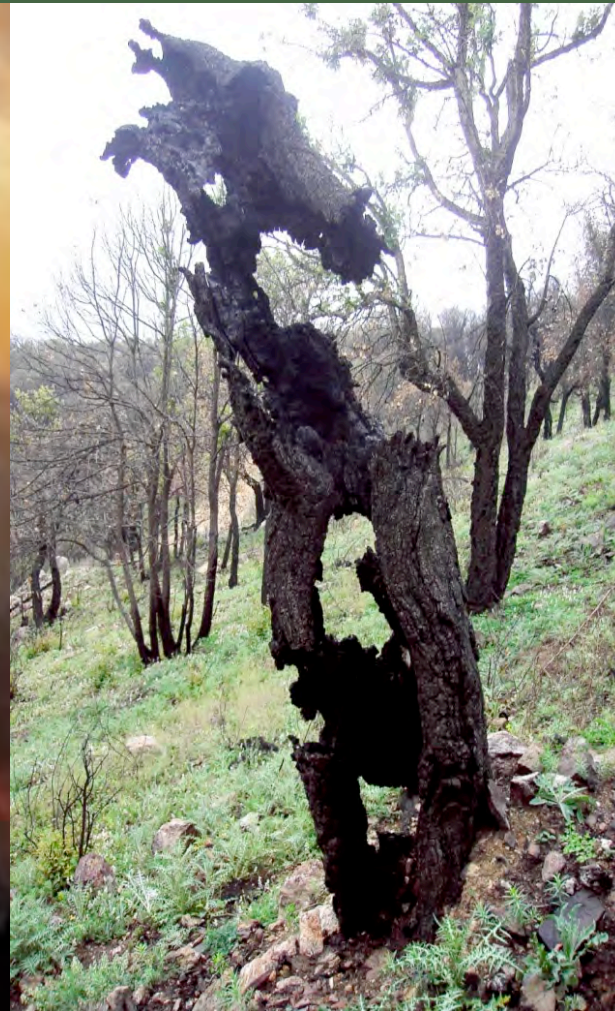
mais surtout la combinaison de ces deux stress répétés dont les actions s'amplifient mutuellement.

Fréquences critiques et interactions

Impact d'une sécheresse plus fort après des feux répétés

Impact du feu plus fort après ou avant des sécheresses répétées

Interaction observée sur toutes composantes de l'écosystème



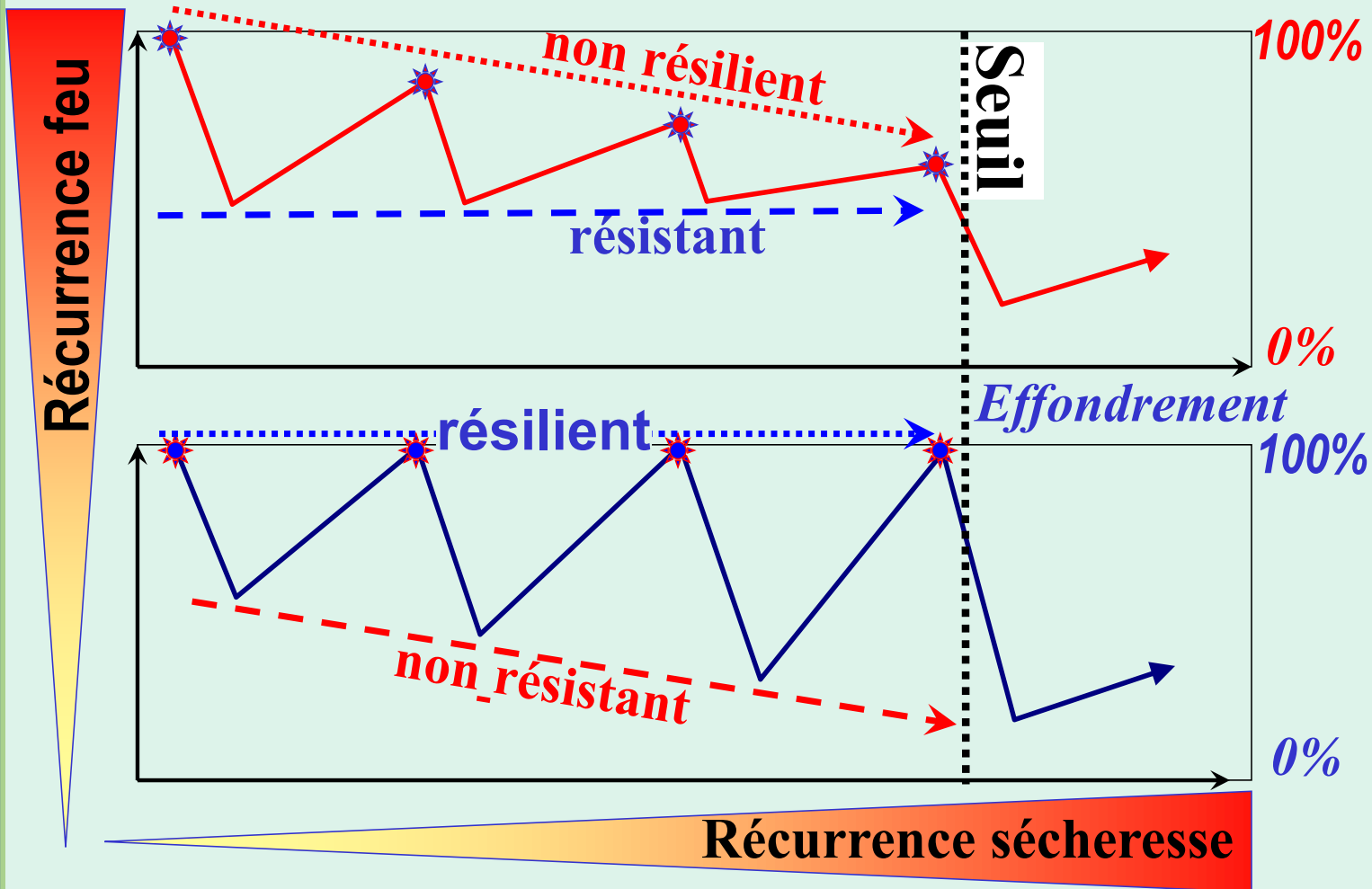
Seuils critiques :

- * **Fréquence incendies**
temps inférieur à 25 ans
surfaces en hausse
- * **Fréquence sécheresses**
4 ans successifs
2 occurrences depuis 2003
- * **Combinaison des deux**
des centaines de milliers d'hectares concernés



forêt méditerranéenne

Fréquences critiques et interactions



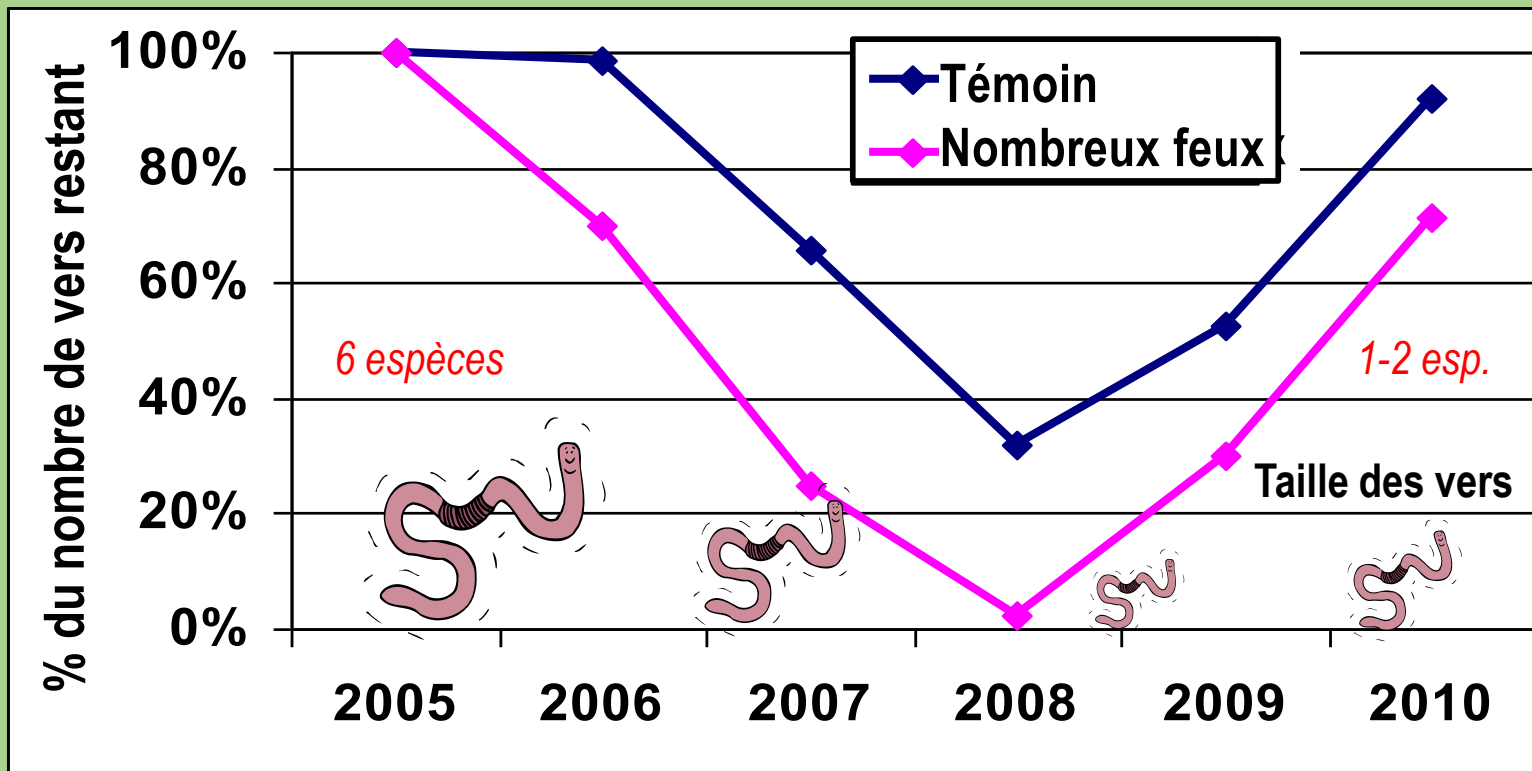
Seuils critiques :

- * Fréquence incendies
*temps inférieur à 25 ans
surfaces en hausse*
- * Fréquence sécheresses
*4 ans successifs
2 occurrences depuis 2003*
- * Combinaison des deux
*des dizaines de milliers
d'hectares concernés*



forêt méditerranéenne

Fréquences critiques et interactions



Les populations de vers sont d'autant plus sensibles à la sécheresse que la fréquence des feux passés est élevée

Feux 2007 (5^{ème} année de sécheresse) sur parcelle témoin : on passe de 9 vers/m² à 1 vers /10 m²

Cas des vers de terre :

* Parcelles témoins 2006
5 à 6 espèces, 12-20 g/m²
6 à 15 individus

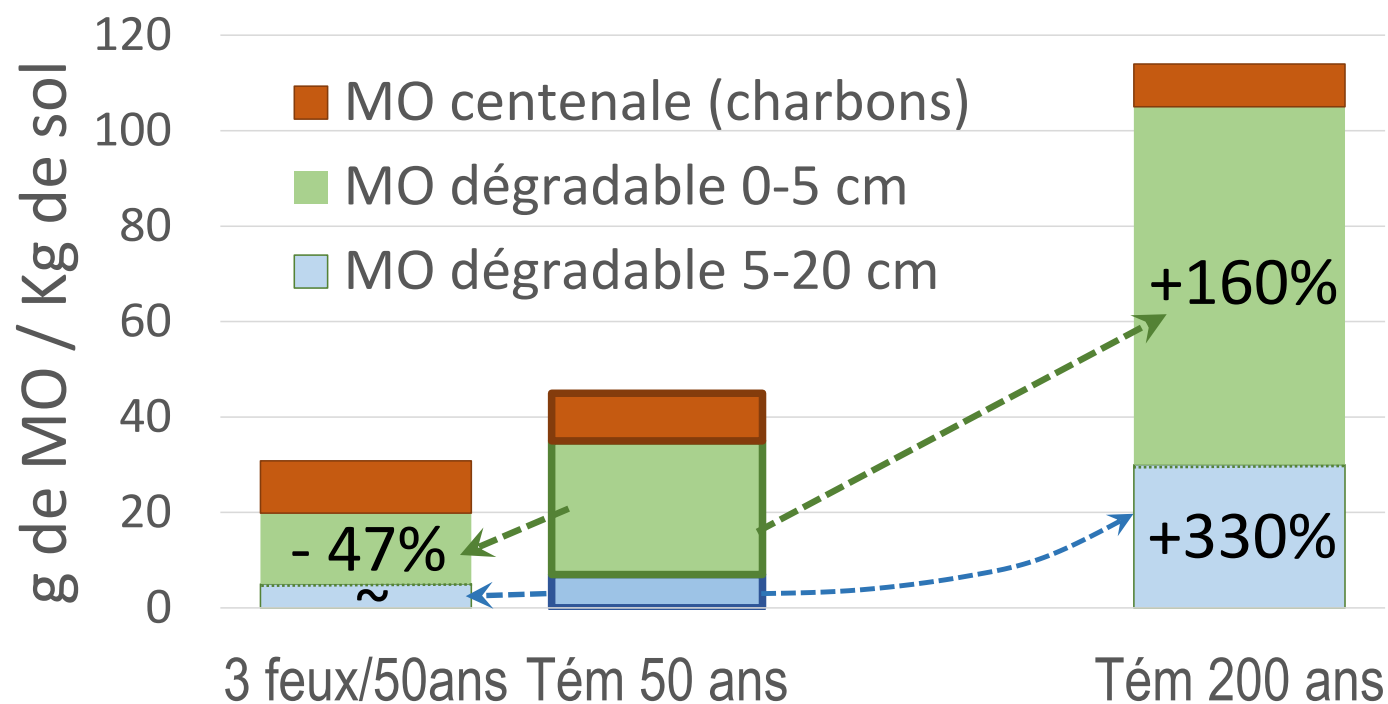
* 3-4 feux en 50 ans 2006
1 à 2 espèces, 2 - 7 g/m²

* Evolution 2006-2008
Populations divisées
par 4 (témoins) à 15 (3-4 feux)
Biomasse divisée
par 12 (témoins) à 100 (3-4 feux)



forêt méditerranéenne

Lente et fragile résilience à long terme



Part stable de MO faible et fixe sur 200 ans (charbons)
La résilience se fait avec MO dégradable → vulnérable

Bilan carbone des sols incendiés :

- 3 feux en 50 ans
perte > 50% sur zone sensible de surface
- *
- * 200 ans sans feux
Amélioration forte sur 5 cm
Début de reconstitution 5-20 cm
- * Très long terme
fort potentiel de stockage en absence de feux

En 200 ans, on ne gagne en "profondeur" (très relative = 5-20 cm) que ce qu'il y a initialement dans les 5 cm de surface



Une diversité essentielle ...

la qualité du sol et eau: 1 - porosité



La faune crée la macroporosité (ex. vers de terre)

100

... qui permet à l'eau de s'infiltrer



La mésofaune décuple le réseau (ex. Enchytréides)

... redistribue l'eau dans tout le sol

100000

Microfaunes / flores → microporosité (ex. Nématodes)

1 million

... permet de stocker l'eau dans le sol



Nématodes



1 million/m²

Infiltration, diffusion, stockage :

* Circulation rapide

Galeries principales, activités de la faune sur sol et grosses racines

* Diffusion généralisée

Des kilomètres de galeries en 3D pour répartir l'eau partout

* Stockage de l'eau

Sur matériaux hygrophiles et dans des milliards de micropores (micro animaux, champignons, poils absorbants des racines)



forêt méditerranéenne

Physique du sol, eau et activités biologiques

Une diversité essentielle ...

la qualité du sol et eau : 2 - agrégats



La faune crée les macroagrégats

1-5mm

... résistance à l'érosion, au tassement

La mésofaune multiplie les surfaces

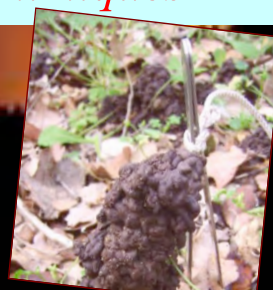
0.1mm

... concentrateurs de matière organique

Microfaunes → microagrégats

0.01mm

... stabilité structurelle, réacteurs biochimiques



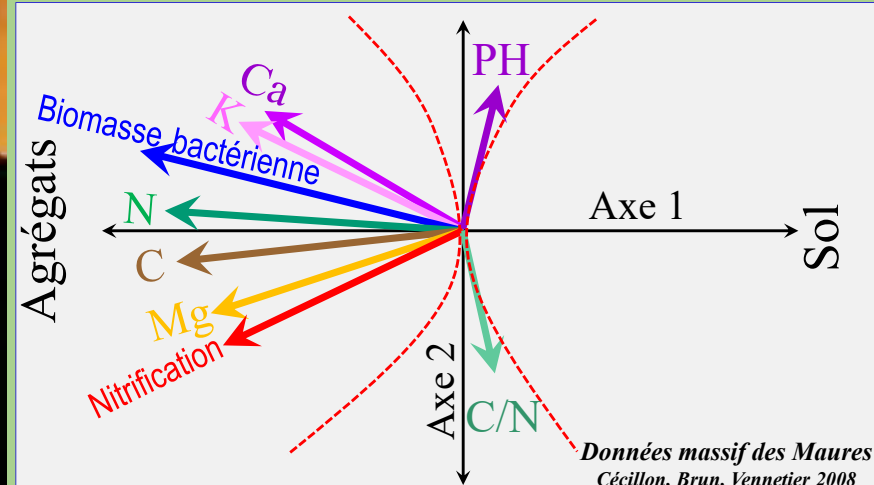
Structuration / agrégation du sol

* Fonctions de résistance

ruissellement, impact gouttes de pluie, tassement, labourage par animaux

* Participe à la « porosité »

structure alvéolée laissant des vides





forêt méditerranéenne

Diversité fonctionnelle et équilibre biologique

Une diversité essentielle ...

la qualité du sol et eau: 3 - activités



Diversité fonctionnelle des cycles biogéophysiques

... éléments nutritifs, oligo-éléments, carbone ...

Diversité des recycleurs de matière organique

... continuité chaîne de fragmentation / décomposition

Diversité des chaînes alimentaires

... variété des proies et prédateurs pour bonnes régulations



**Sans eau, pas de vie dans le sol,
Sans vie du sol, peu d'eau dans le sol ...**

...

Seuils critiques :

- * **Perte de certains cycles**
baisse de fertilité
carences en nutriments
- * **Perte d'acteurs clés**
décomposition menacée
accumulation de litière
- **Déséquilibre biologique**
espèces dominatrices
pertes de biodiversité

Rôle aussi des virus...



- **Baisse de la fixation aérienne / souterraine**

... productivité forêt réduite => sol appauvri

- **Augmentation des sources de carbone**

... incendies, érosion, défoliations

- **Moins de stockage dans le bois exploité**

... - de bois d'oeuvre, + de bois énergie-industrie

- **Rôle réduit de la forêt dans l'atténuation**

... et même source de CO₂ si feux / dépérissement

Actions requises :

* Sol fertile =
MO, biodiversité, activités

* Besoins en eau
gestion forestière =>
- protéger les sols
- limiter dépérissements
- conserver productivité



- **Eclaircir** peuplements denses, sous-bois

... dans toutes les classes d'âge

- **Rajeunir** les peuplements âgés

... gestion active et dynamique

- **Diversifier** les peuplements purs

... naturellement ou plantation

- **Ingénierie** ...mycorrhyzes, ...

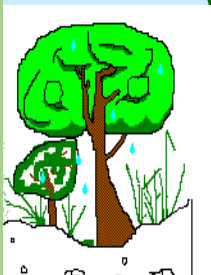
... adaptation à la sécheresse

Bilan en eau :

- Surface foliaire = f(eau disponible)

- * Besoins en eau
gestion forestière =>
 - protéger les sols
 - limiter dépérissements
 - conserver productivité

- * Forêt diversifiée =
 - sols plus actifs
 - peuplements résilients



Règles à retenir



- **Sous les peuplements éclaircis**

... plus d'eau dans le sol donc + de vie et + d'activité

- **1 ha passant de plantation de pin à maquis**

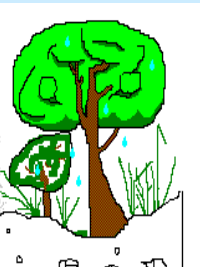
... 85 m³ de débit d'eau supplémentaire / an

- **Coût 10 fois inférieur à autres méthodes**

... recyclage, désalinisation, import,

- **En Catalogne, éclaircies / débroussailllements**

... + 10-20% sur débit des rivières



Bilan en eau :

- Effet local favorable
 - sur sol et peuplements
- Effets distants
 - biodiversité rivières
 - nappes phréatiques
 - besoins humains
 - services écosystémiques
 - économie



**Merci de
votre
attention**