



Auteurs:

Schreck Eva, MCF UT, GET
Dumat Camille, PR Toulouse INP-AGRO, DYNAFOR
2026

Titre de la ressource:

Ecosystème sol

► **Tests simples pour le caractériser**

Mots clefs:

Sol, fertilité, qualité, tests simples, services écosystémiques.

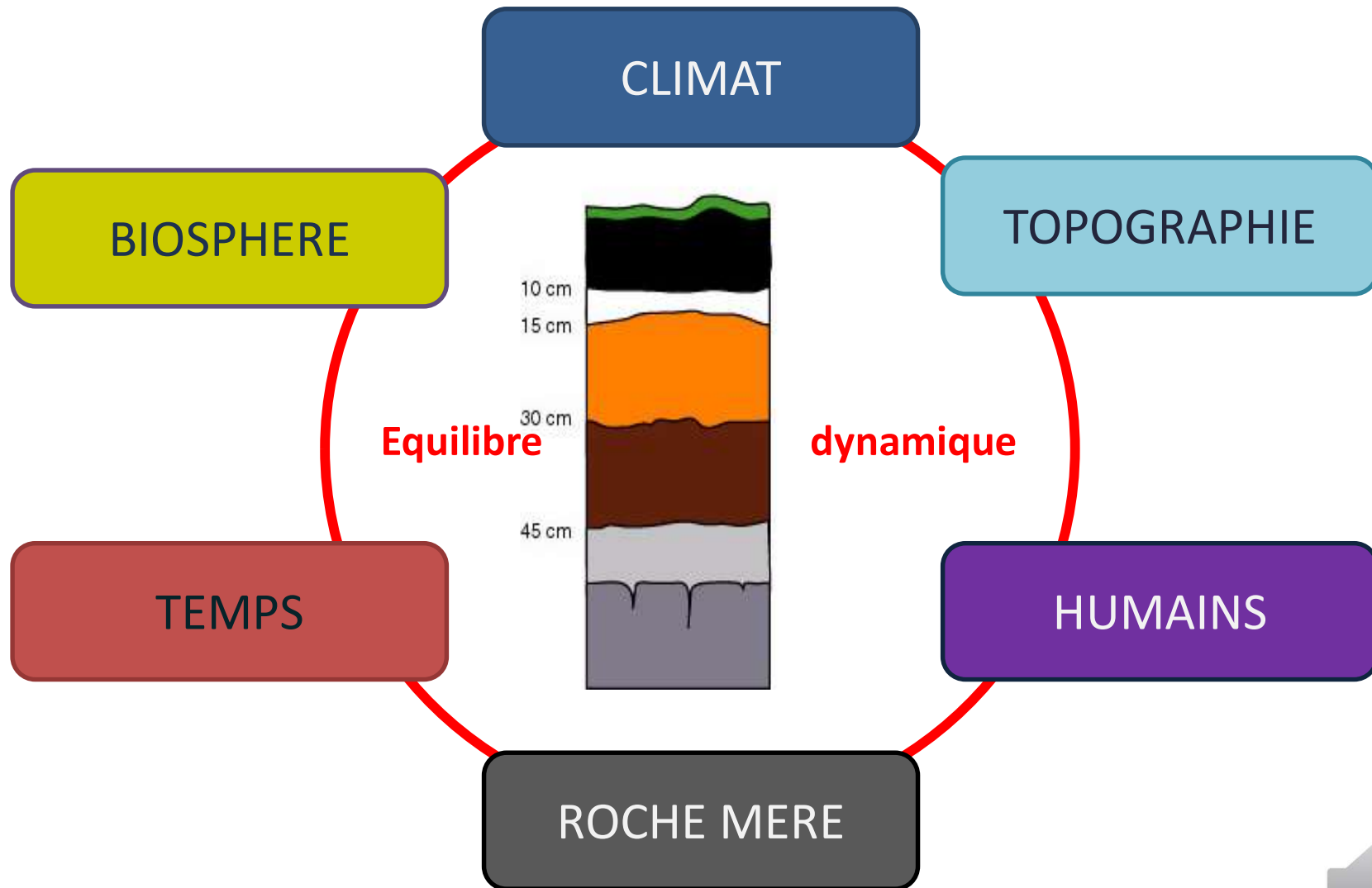


Le Sol : milieu complexe !

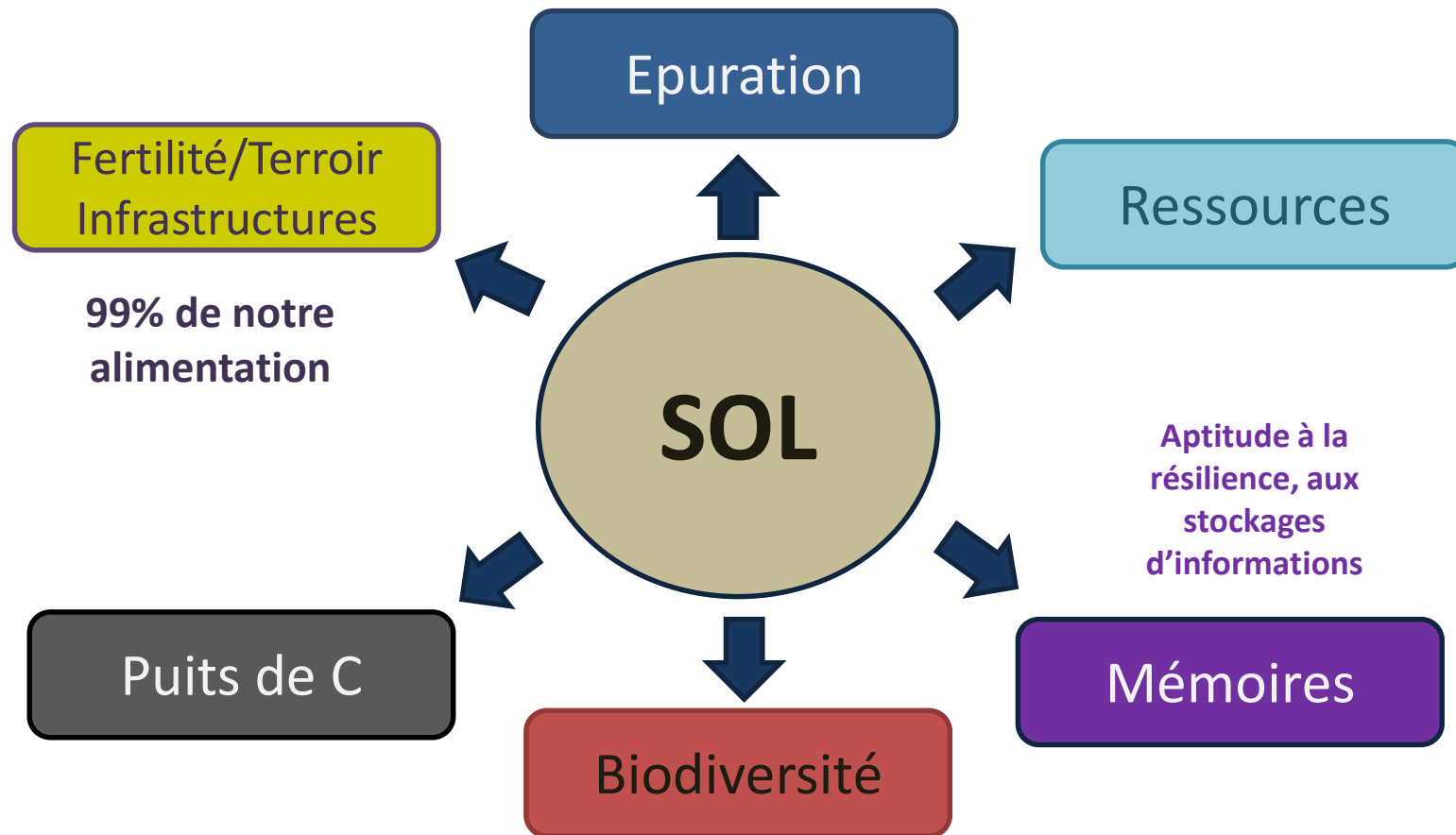
- **Ecosystème complexe**, à l'**interface** d'autres milieux (atmosphère, hydrosphère et lithosphère).
- Le sol est un milieu **très hétérogène**.
- De **nombreuses interactions au sein du sol** entre les constituants du sol (matières organiques, argiles, oxydes...), les nombreux organismes vivants, les substances nutritives (N, P, K, C...) et les polluants (pesticides, métaux, hydrocarbures...) parfois présents.



Les multiples facteurs de formation des sols



Les sols : porteurs de diverses fonctions indispensables à notre survie



→ Nécessité de mieux les connaître et les préserver !



Description d'un sol - Terrain -

- Le sol dans son contexte : paysage, roche-mère, antécédents climatiques, végétation, travail du sol, hydrologie, géomorphologie, topographie ...
- Epaisseur et délimitation de chaque horizon
- Couleur : teneur en eau et MO, oxydo-réduction du fer, Charte Munsell, revêtements et faces...
- Texture et éléments grossiers
- Structure
- Effervescence (test HCl): présence de carbonates de Ca
- Humidité
- Friabilité et compacité (appréciation avec couteau, pénétration racines)
- Porosité (structurale, fissures, activité biologique)
- Matière organique
- Comptage des galeries de vers et racines : traces d'activités et écologie des sols



→ Identification des différents horizons et du type de sol



Qui utilise, exploite, peut entretenir les sols ?

Les agriculteurs - Les industriels - Les jardiniers – **NOUS !**

Entretenir et
Restaurer la qualité
des sols.

Accroître nos
connaissances
collectives.

- Agroécologie.
- Gestion
multicritère.

Réglementation
(ICPE, loi cadre?)

Pratiques durables :
- Engrais verts,
- Phytoremédiation.



Jardins Associatifs Urbains et villes durables : pratiques, fonctions et risques



Définition de la qualité d'un sol ?

- 2 notions: **qualité agronomique** et **qualité environnementale**
- Aptitude d'un sol à remplir ses fonctions de production agricole ou écologique et sa résilience (capacité à se rétablir à la suite d'un stress).
 - **Composantes biologiques** (bioindicateurs, tels que vers de terre) et sa **fertilité** en regard des cultures qui peuvent y pousser (rendement).
 - Comparaison à un état idéal, qui varie selon la zone biogéographique, l'altitude et le contexte considérés.
 - Evaluation des risques environnementaux
 - On différencie les impacts de polluants biodégradables (pesticides, nitrates) de polluants non dégradables (ETM) + voies de dissémination et synergies.

→ **Qualité d'un sol :**
paramètres physico-chimiques,
biologiques et morphologiques.



On peut faire un parallèle entre la santé du sol et la santé humaine (Dumat, 2015).



- Lorsqu'il se sent malade, un humain consulte son médecin qui va: (i) l'interroger (symptômes, alimentation, sommeil?) et (ii) le peser, prendre sa tension, l'ausculter, etc. A partir de différentes mesures et d'une discussion, le médecin conseille un traitement.
- Pour évaluer la qualité d'un sol, un conseiller agricole : (a) réalise des observations de terrain, (b) envoie des échantillons de terre fine au laboratoire pour la mesure de quelques paramètres simples (pH, texture, teneur en matières organiques....) et (c) questionne l'agriculteur sur ses pratiques (quels apports, quelle gestion des résidus de culture...). **Il classe le sol selon une typologie** (par exemple: acide, sableux, pauvre en P...) et compare les valeurs mesurées pour ce sol aux valeurs de références régionales (déterminées par des essais agronomiques).



La couleur du sol

La couleur plus foncée est généralement due à la matière organique. Elle nous renseigne par exemple sur le plus profond labour fait il y a 20 ou 30 ans. Une limite diffuse entre l'ancien labour et le sous-sol indique souvent une bonne activité des vers de terre qui diffusent la matière organique en profondeur par leurs nombreux turricules dans le sol.

La surface des agrégats peut être de couleur plus foncée que la masse du sol suite à une diffusion en profondeur des matières organiques. Des revêtements organiques recouvrent alors les éléments structuraux du sol.



Les couleurs plus blanches sont souvent associées au calcaire.

Le **brun** correspond à la brunification des sols qui est la pédogenèse commune sous nos climats tempérés (formation d'hydroxyde de fer).

La couleur **rouge** est due à l'oxydation du fer. Dans le Tarn, elle est héritée de sols anciens formés au Tertiaire sous climat plus chaud (tropical). Elle peut aussi être héritée de la roche-mère comme dans le cas des « rougiers » de la Grésigne.



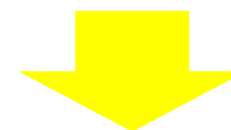
PARAMÈTRE ANALYSÉ	UNITÉ / ÉCHELLE	RÔLE	ÉLÉMENTS D'INTERPRÉTATION
Granulométrie	% ou ‰ argile % ou ‰ limon % ou ‰ sable	Caractériser le type de sol	- Détermine la texture - Informe sur le potentiel de fertilité du sol : réserve en eau, sensibilité à l'érosion... - Participe au calcul de certains indices (stabilité structurale, battance...)
CaCO ₃ Calcaire Total	% ou g/kg (‰)	Caractériser le type de sol	Risque de diminuer la disponibilité des éléments (phosphore notamment)
MO Matière organique	% MO ou % Carbone organique (MO = 1,72 * C organique)	Apprécier certaines propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol	Une teneur faible en MO peut entraîner : - une faible réserve utile - une faible stabilité structurale (battance) - une réduction de la minéralisation de l'azote et du soufre - une faible activité biologique
pH eau	< 5,5 = très acide de 5,5 à 6,5 = acide de 6,5 à 7,5 = neutre > 7,5 = alcalin	Orienter la décision du chaulage	Un pH proche de la neutralité optimise la disponibilité des éléments minéraux
CEC "Metson" Capacité d'Échange Cationique	meq / 100 g ou meq / kg	Apprécier la taille du "réservoir" pour les cations (K ⁺ , Mg ⁺⁺ , Ca ⁺⁺ , Na ⁺)	La taille du "réservoir" conditionne la fréquence et la dose des apports. Une faible CEC (<100meq/100g) nécessite des apports annuels.
Taux de saturation de la CEC	% ou somme des cations / CEC	Estimer le remplissage du "réservoir"	Un taux de saturation faible signifie trop d'acidité et de faibles réserves
P ₂ O ₅ Phosphore assimilable	mg/kg = ppm ou g/kg = ‰	Apprécier le potentiel nutritif et raisonner la fertilisation	Un pH en dehors de la neutralité réduit la disponibilité du phosphore
K ₂ O Potassium échangeable			Une faible CEC accroît les risques de pertes par lessivage (jusqu'à plusieurs dizaines de kg/ha/an) Le rapport K/Mg doit être équilibré
MgO Magnésium échangeable			
CaO Calcium échangeable			Servent au calcul du taux de saturation de la CEC
Na ₂ O Sodium échangeable			
Oligo-éléments Fe, Mn, Cu, Zn, B...	mg/kg = ppm	Prévenir des risques de carence et de subcarence	Un pH basique réduit la disponibilité des oligo-éléments (sauf pour le molybdène Mo). Certains équilibres P/Zn, Cu/MO... sont à considérer (carences induites)

Facteurs de conversion : P x 2.29 = P2O5

K x 1.21 = K2O

Mg x 1.66 = MgO

► **Protocoles normalisés utilisés au laboratoire**

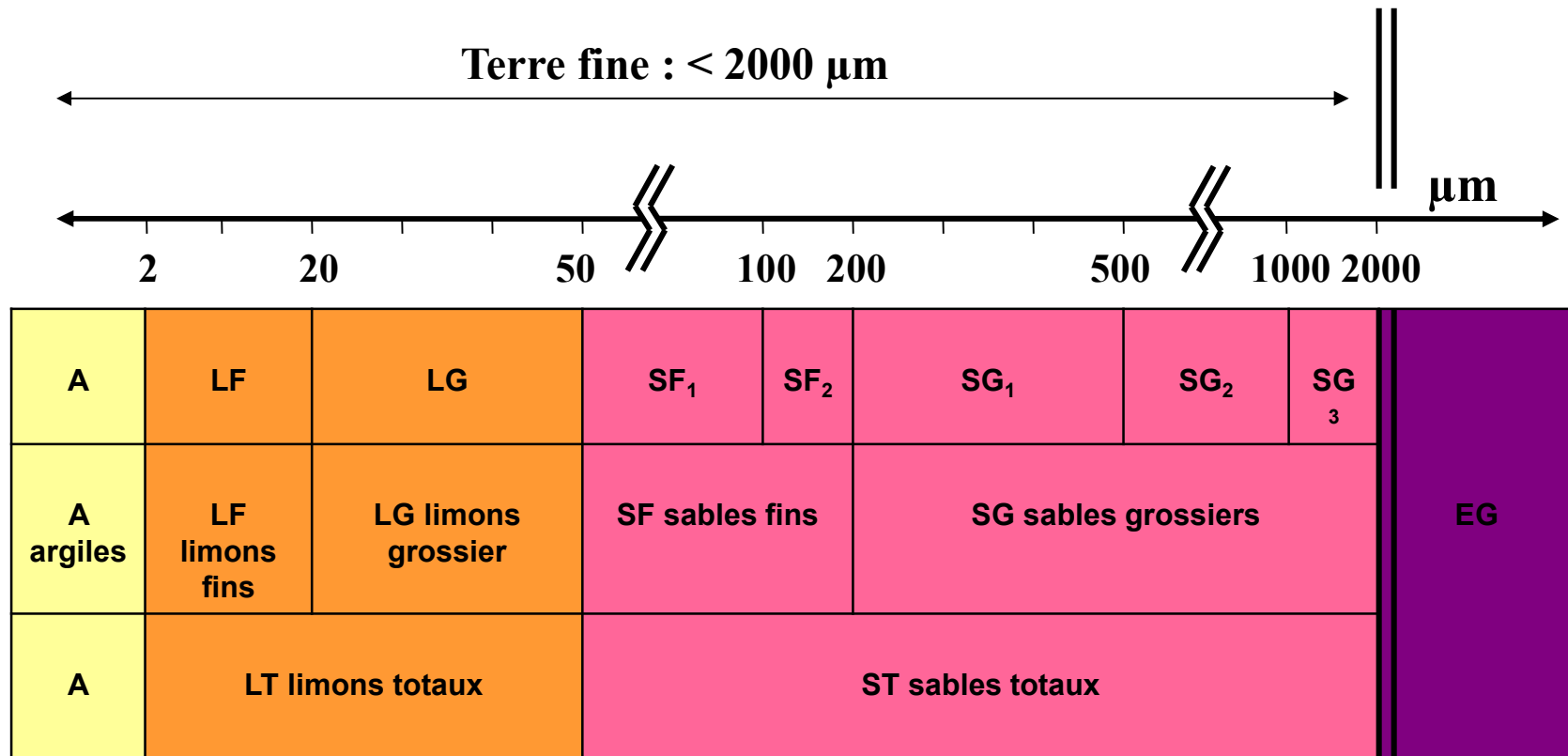


Typologie du sol.



1) Répartition de la phase solide = TEXTURE

Texture ~ granulométrie



La granulométrie proprement dite concerne la terre fine (< 2000 μm).

- sables : > 50 μm
- limons : de 50 μm à 2 μm
- argiles : < 2 μm

► Selon la texture du sol, la réactivité sera différente.

Par exemple si la texture est principalement fine, la « CEC » est plus élevée, le sol peut fixer des éléments nutritifs et des polluants; mais il peut aussi être difficile à travailler...

Si la texture est grossière, l'eau peut circuler plus librement, mais il peut aussi y avoir de l'érosion.

L'agriculteur qui connaît la texture de son sol va profiter des avantages et réduire les inconvénients: par ex. apporter des matières organiques à un sol de texture grossière pour réduire l'érosion.

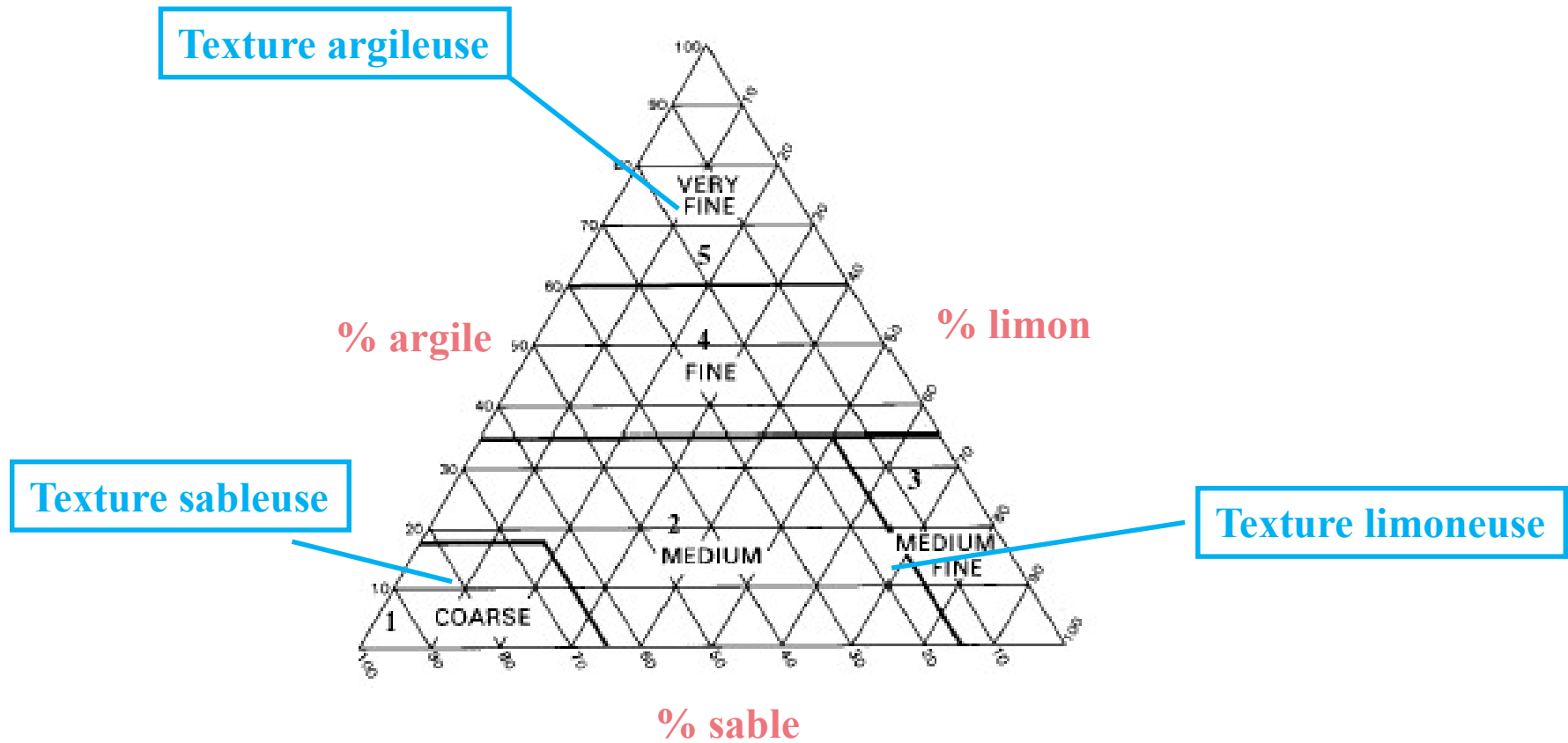
Appréciation sur le terrain « Test du boudin »

- Test tactile qui permet d'apprécier la **texture de la terre**.
- Prenez une poignée de terre que vous humidifierez légèrement afin de pouvoir en faire une boule homogène.

LE TEST DU BOUDIN			
Sensation Adhérence de la terre aux doigts	Cohésion	Plasticité	Caractéristiques
Ne colle pas Granuleuse Ne salit pas les doigts une fois sèche	Modelage difficile Faible cohésion Aspect fendillé	Boudin grossier > 7 mm	Sable à sable limoneux
Peu collante Faiblement granuleuse Salit les doigts	Modelage possible à aisé	Boudin de 2 à 7 mm	Limons sableux à limon moyen
Collante Douce au toucher Ne salit pas les doigts	Modelage aisé à très facile	Boudin < 2 mm Un fin boudin se met facilement en cercle	Limon argileux à argile

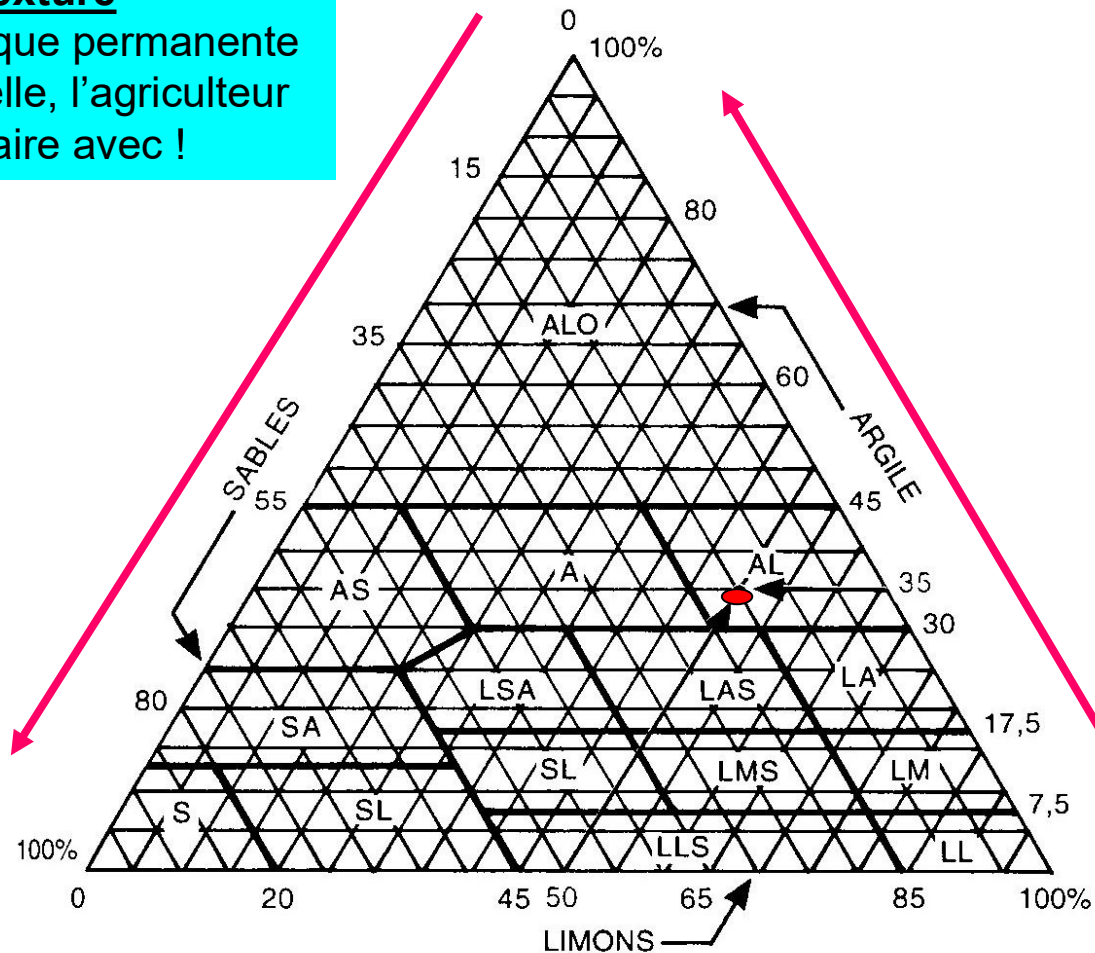


Diagramme des textures



Texture

caractéristique permanente
de la parcelle, l'agriculteur
doit faire avec !



Textures sableuses

- S sable
- SL sable limoneux
- SA sable argileux

Textures limono-sableuses

- LLS limon léger sableux
- LS limon sableux
- LMS limon moyen sableux
- LSA limon sablo-argileux
- LAS limon argilo-sableux

Textures limoneuses

- LL limon léger
- LM limon moyen
- LA limon argileux

Textures argilo-sableuses

- AS argile sableuse

Textures argileuses

- A argile
- AL argile limoneuse

Textures très argileuses

- ALO argile lourde

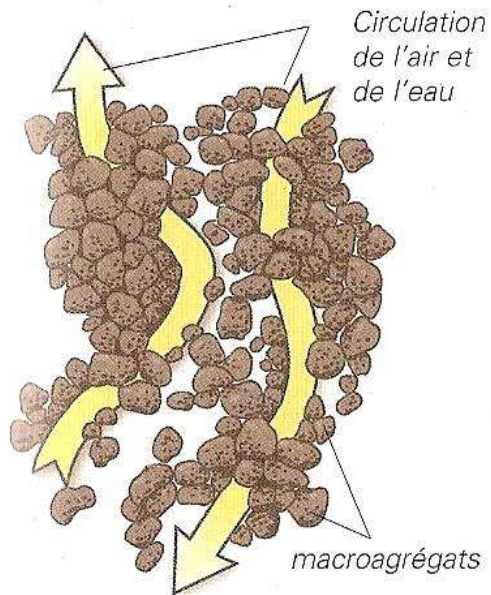
La texture influence : le régime hydrique des sols (réservoir max. utilisable, circulation de l'eau); l'enracinement des arbres; la CEC, la stabilité structurale (risques de ruissellement et érosion), etc.



Pourquoi ces limites granulométriques?

	Propriétés physiques	composants
Sables grossier	Phénomène capillaire peu important	Quartz, qqes silicates (Feldspaths, micas) et calcite en sol calcaire.
Sable fin	Phénomène capillaire plus important	Quartz, qqes silicates et calcite en sol calcaire.
Limon grossier	Remontée capillaire importante Faible perméabilité Sensibilité au tassement Rôle dans la battance	Quartz et calcite en sol calcaire.
Limon fin	Remontée capillaire important Rétention d'eau non négligeable Très faible perméabilité Forte sensibilité au tassement Rôle principal dans la battance	Quartz, oxyde de Fe, qqes minéraux argileux pour les plus fins, calcite.
Argile (granulo)	Rétention en eau importante Plasticité, adhésivité Cohésion du sol Aptitude à la fissuration	Minéraux argileux (kaolinite, illite, montmorillonite); puis Q, MOS (selon protocole), hydroxyde Fe, Al; carbonate de calcium divisé.

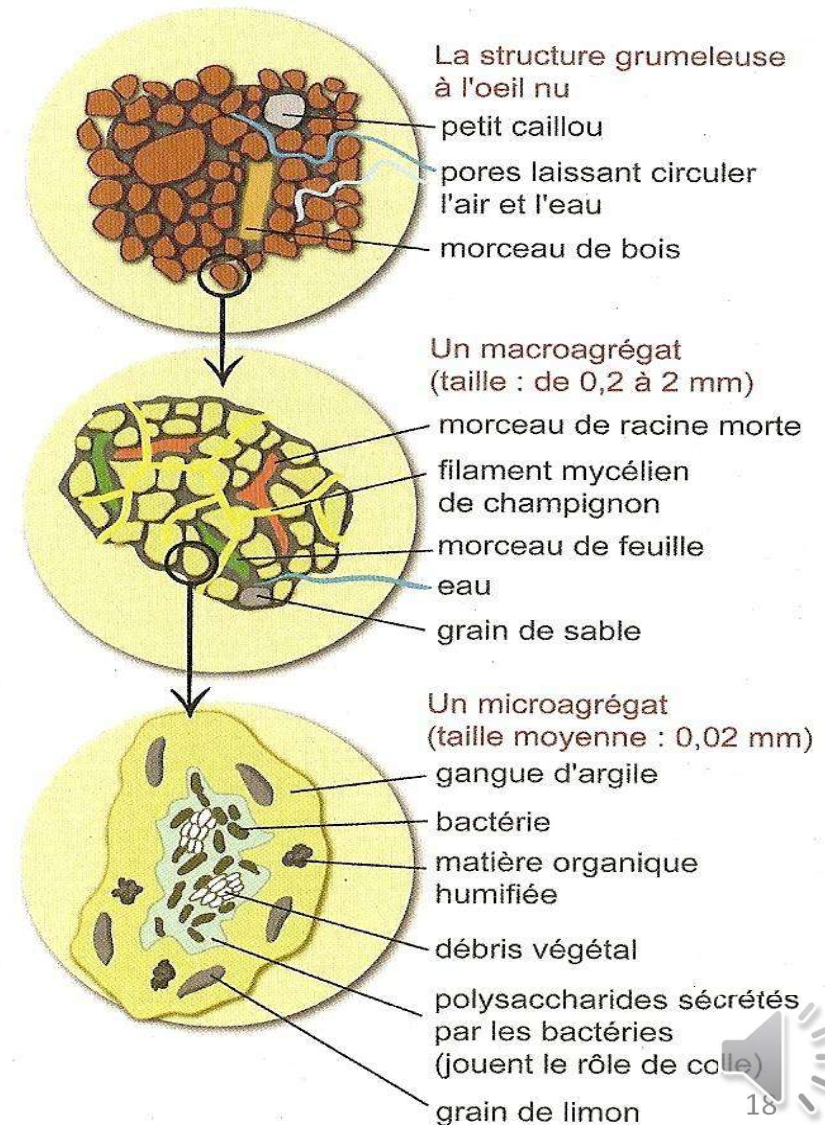
2) La structure du sol : une construction élaborée (mode d'assemblage)



Dépend de la texture, mais surtout de **l'activité biologique du sol.**

La structure grumeleuse est idéale.

Un édifice fragile.



Une « bonne » structure

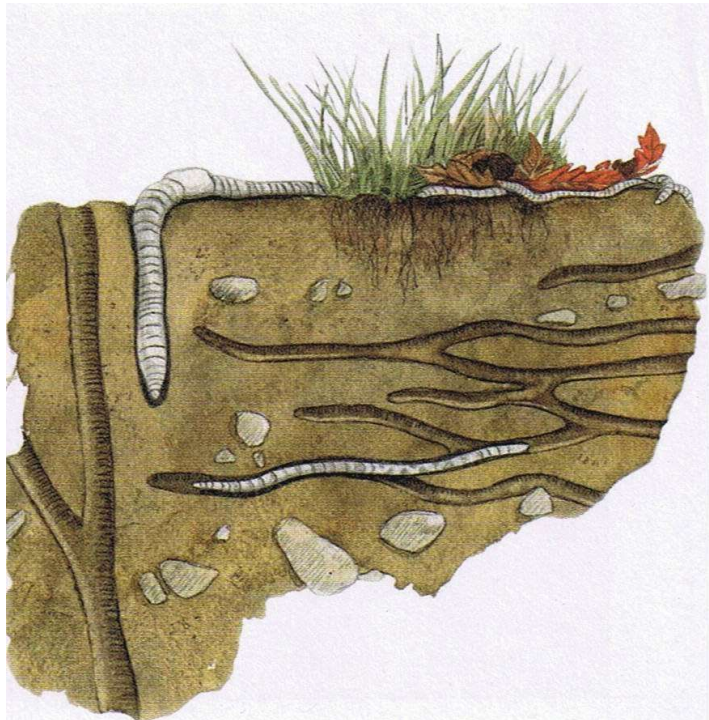
- Lorsque les agrégats de sol (les petites mottes de sol) sont stables, le sol va garder sa porosité malgré les précipitations ou le travail du sol. Dans le cas contraire une croûte de battance se forme et perturbe le bon fonctionnement du sol (infiltration de l'eau, activité biologique...).
- Cette porosité est indispensable pour les organismes vivants du sol: racines des plantes (qui respirent!), faune du sol...et le rechargement des nappes phréatiques.

Porosité d'un sol

La porosité d'un sol est liée à sa texture et structure mais aussi à son activité biologique:

cavités d'animaux, galeries de vers de terre, racines de végétaux...

→ *Macroporosité biologique du sol*





« Test de la bêche »

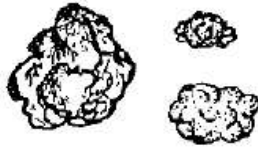
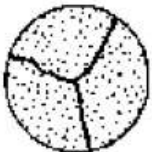
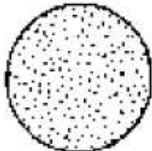
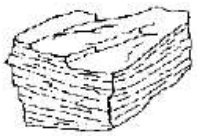
- À réaliser qd la terre est bien **ressuyée** à l'entrée de l'hiver ou début du printemps.
- Creuser un trou rectangulaire de 30-40cm avec une bêche étroite d'une quarantaine cm.

- La terre se défait facilement ou est compacte?
- Observation de nombreux vers de terre signe d'une terre aérée et biologiquement active?

Le type de structure

La structure, c'est l'architecture du sol, le mode d'agencement de ses composants.

Caractéristique qui exprime son mode de fonctionnement et détermine ses qualités agronomiques.

Type		Qualité	Signification
Grumeleux		Très bon	Structuration biologique par les fèces lombriciennes, par les racines,...
Mixte Grumeleux à polyédrique		Bon à très bon	Début de structuration biologique
Polyédrique angulaire		Bon	Structuration par la fissuration des argiles.
Polyédrique subangulaire		Bon	Structuration par la fissuration des argiles et des limons.
Massive fissurée		Mauvais	Compaction ou reprise en masse. Compaction partielle ou début de restructuration.
Massive non fissurée (cassure nette de la motte ou de l'élément structural)		Très mauvais	Compaction intense.
Lamellaire		Très mauvais	Compaction intense, croûte de battance sédimentaire

La taille de la structure

Type et dimension	Qualité agronomique	Signification
Grumeleuse 3 à 10 mm	Très bon	Les gros vers de terre anéciques (1) font de gros grumeaux.
Polyédrique 2 à 5 mm	Bon	Structuration fine du sol.
Polyédrique 5 à 10 mm	Moyen	Structuration moyenne.
Polyédrique 10 à 30 mm	Faible	Structuration grossière.
Polyédrique 30 à 100 mm	Très faible	Présence de mottes grossières à structure interne massive.
Massive	Très très faible	Horizon très peu fissuré, peu perméable pour l'eau, l'air et les racines.

Les turricules des vers de terre	Signification agronomique
50 à 100 % de la surface recouverte de turricules et de structures grumeleuses	Très bonne activité biologique
10 turricules par m ²	Bonne activité lombricienne
1 turricule par m ²	Activité moyenne
1 turricule pour 10 m ²	Activité faible
Aucun turricule observé	Activité très faible
L'activité lombricienne (des vers de terre) varie en fonction de la qualité biologique du sol, en fonction du tassement et en fonction des saisons. Les vers de terre ne sont pas actifs par temps froid ou sur sols sec	
Hauteur des turricules : 1 cm petit ; 5 cm grand.	
« Cabanes de vers de terre » : pendant la nuit, les vers de terre rassemblent en surface au-dessus de leurs galeries des petits monticules de débris végétaux de 1 à 5 cm de hauteur environ.	

La densité des racines

C'est aussi un très bon indicateur de la structure du sol.

Nombre de racines sur 4 cm²	Nombre de racines sur 100 cm²	Signification agronomique
> 20	> 500	Densité excellente
10 à 20	205 à 500	Très bonne utilisation des éléments fertilisants du sol N, P, K, Ca, Mg, oligoéléments,
5 à 10	125 à 250	Bonne
5	125	Moyenne C'est un minimum pour une bonne valorisation de l'azote du sol
2 à 5	50 à 125	Faible
1	25	Très faible Azote du sol très mal valorisé



Les plantes engrais verts améliorent la structure du sol



Bourrache (mellifères,
repousse les mollusques,
étouffe les mauvaises herbes).



Trèfle blanc
(Légumineuse, étouffe
les mauvaises herbes)



Moutarde blanche
(Crucifère qui étouffe
les mauvaises herbes
et enrichi le sol)



PHACELIE (étouffe les
mauvaises herbes, lutte
contre les nématodes).



TANAISIE
(nettoie et assainit le sol)



SAINFOIN
(légumineuse,
et attire les abeilles).

Battance

- Si pH-eau < 7,2

$$IB = (1,5 \times \text{Limon}_f + 0,75 \times \text{Limon}_g) / (\text{argile} + 10 \times \text{MO})$$

- Si pH-eau > 7,2

$$IB = ((1,5 \times \text{Limon}_f + 0,75 \times \text{Limon}_g) / (\text{argile} + 10 \times \text{MO})) - 0,2$$

Argile, Lf, Lg et MO en ‰

IB < 1,4	Non battant
1,4 < IB < 1,6	Peu battant
1,6 < IB < 1,8	Assez battant
1,8 < IB < 2	Battant
IB > 2	Très battant

IB élevé si :
% Limon élevé,
% OM et % argile faibles
⇒ sensibilité à la battance.



Les états de surface

De nombreuses observations peuvent être faites à la surface du sol.

Elles fournissent des indications relatives aux échanges vitaux sol/air ou à l'activité biologique des sols. Ces observations se font à 2 ou 3 mètres autour du profil.

La croûte de battance	Signification agronomique
Absence de croûte : moins de 10-30 % de la surface avec une fine croûte structurale (épaisseur ≤ 1 mm)	Très bien – non battant
Fine croûte structurale (épaisseur ≤ 1 mm) sur moins de 70 % de la surface	Bien – peu battant
Fine croûte structurale (épaisseur ≤ 1 mm) sur plus de 90 % de la surface	Moyen – un peu battant
Croûte structurale épaisse (2 à 5 mm) sur plus de 90 % de la surface	Battant
Croûte structurale très épaisse (5-10 mm) sur toute la surface	Très battant
Croûte sédimentaire sur 10 à 50 % de la surface	Très battant
Croûte sédimentaire sur toute la surface	Très très battant
A interpréter suivant la pluviométrie survenue depuis le dernier travail du sol. Distinguer la croûte structurale (une seule couche reprise en masse) et la croûte sédimentaire (plusieurs lits visibles causés par des dépôts successifs suite à l'érosion hydrique)	



3) pH des sols



L'acidité du sol est régie par la quantité de H^+ :
fixés sur le complexe argilo-humique : pH_{KCl} ou en mouvement dans la solution du sol : pH_{eau}

Gamme de pH- H_2O du sol	Qualification
$pH < 3,5$	Hyper-acide
$3,5 < pH < 5$	très acide <i>Ex. Podzols, sols de tourbe acide et sols ferrallitiques</i>
$5 < pH < 6,5$	Acide <i>Sols bruns forestiers</i>
$6,5 < pH < 7,5$	Neutre
$7,5 < pH < 8,7$	Basique <i>Rendzines, sols calcaires</i>
$8,7 < pH$	Très basique

pH-eau et pH-KCl

- L'appréciation du pH au laboratoire (NF ISO 10390) est obtenue en mesurant le pH d'une suspension de sol dans l'eau déminéralisée (pHeau,) ou dans une solution normale de chlorure de potassium (pHKCl), dans un rapport pondéral terre/solution égal à 1/5. Le chlorure de calcium est aussi utilisé (à la place du chlorure de potassium) car il simule de façon plus pertinente la solution du sol.
- Le pHKCl, très souvent inférieur au pHeau, d'une unité de pH au maximum, informe sur le potentiel d'acidité du sol; en particulier il déplace les ions aluminium du sol, qui peuvent être ainsi déterminés. Mais, en sol sodique, pH-eau $\approx$ pH-KCl $\approx$ 9.



pH du sol	←----- pH bas acide ----- neutre ----- pH élevé alcalin -----→ 3 4 5 6 7 8 9						
Plantes	La plupart des plantes meurent	Conifères, bruyères, camélias, azalées, rhododendrons, etc.	Graminées fines pour gazon	La plupart des plantes cultivées (cultures potagères et fruitières)	Crucifères, légumineuses	Epinard, clématites	La plupart des plantes meurent

pH / phytodisponibilité

4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
Zone à risque			ZONE OPTIMALE			Zone à risque	
Défavorable à l'activité microbienne du sol en particulier pour les bactéries			Favorable à l'activité microbienne du sol			Favorable à l'activité microbienne du sol sauf les champignons (fongique)	
Toxicité aluminique			Bonne assimilabilité : Nitrates Potassium Phosphates Magnésium Soufre Cuivre Bore			Blocage : Cuivre Manganèse Fer Zinc Bore	



4) Le calcaire dans le sol

Test de terrain avec HCl à 10% (ou vinaigre de table). A l'aide d'une pissette, déposer des gouttes d'acide sur une motte de terre, et observer la réaction (dégagement du gaz CO₂ en bulles).

Code	Intensité	Test HCl	Signification agronomique
0	Nulle	Aucune réaction	Pas de calcaire dans le sol. Sol acide. pH eau < 7 (de 4 à 6,5 environ). Chaulage souvent obligatoire.
0,5	Très faible	Réaction très faible, décelable à l'oreille ou avec quelques bulles localisées.	Très peu de calcaire total (< 2 % ?). Sol neutre. pH autour de 7 à 7,5.
1	Faible	Une à deux couches de petites bulles. Réaction faible.	Un peu de calcaire total (2 à 10 % ?). Sol peu calcaire. pH eau autour de 7,5 / 8.
2	Moyen	Plusieurs couches de bulles. Réaction moyenne.	Sol modérément calcaire (10 à 25 % de CaCO ₃ total ?).
3	Forte	Nombreuses couches de bulles, en général salies par des éléments de terre fine. Réaction vive.	Sol très calcaire (25 à 55 % de CaCO ₃ total ?). pH eau de 8,3 à 8,5. Présence importante de calcaire actif. Risques de chlorose (manque de fer assimilable).
4	Très forte	Nombreuses couches de bulles Réaction violente, très vive. Parfois de très grosses bulles.	Sol très calcaire (> 55 % de CaCO ₃ total ?). pH eau de 8,3 à 8,5. Présence très importante de calcaire actif. Risques de chlorose élevés.



Mesure du calcaire au laboratoire

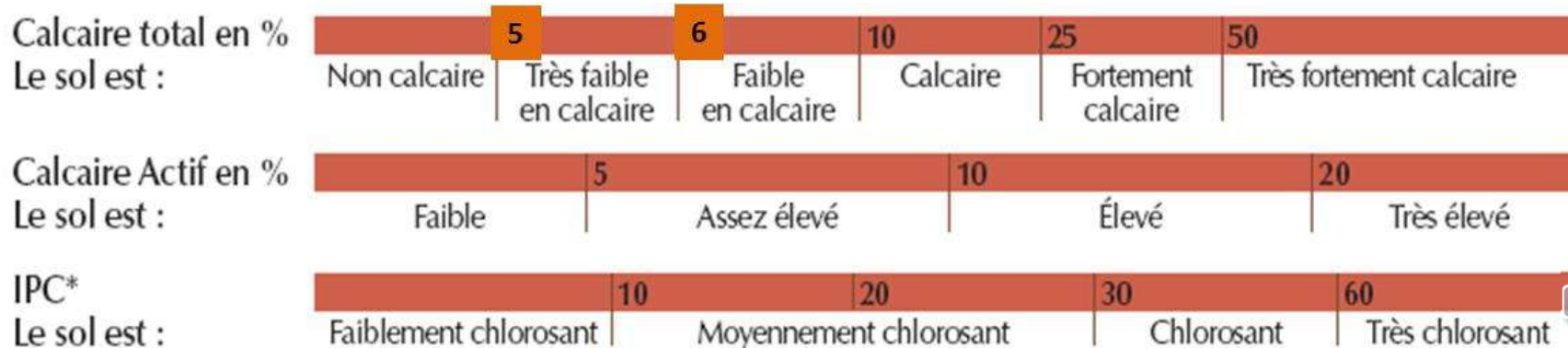
- Le **calcaire total du sol** (NF ISO 10693) est déterminé par attaque d'une quantité connue de terre fine par HCl. La réaction provoquée libère rapidement du dioxyde de carbone provenant de la dissociation des carbonates de Ca et/ou Mg présents.
- $\text{CaCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{MgCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- La teneur de calcaire total du sol est alors calculée à partir du volume de CO_2 dégagé. Suivant sa nature et son origine, le calcaire est réparti dans différentes fractions granulométriques.
- **Si pH eau > 7, on mesure le calcaire total et si le calcaire total > 5 ou 10% (selon les sources), on mesure le calcaire actif.**



Taux de CaCO_3 total analysé	QUALIFICATION DU SOL
$\text{CaCO}_3 \leq 5\%$	NON CALCAIRE
$5 < \text{CaCO}_3 \leq 12,5\%$	FAIBLEMENT CALCAIRE
$12,5 < \text{CaCO}_3 \leq 25\%$	MODEREMENT CALCAIRE
$25 < \text{CaCO}_3 \leq 50\%$	FORTEMENT CALCAIRE
$\text{CaCO}_3 > 50\%$	TRES FORTEMENT CALCAIRE

Si calcaire total > 5% ,

- la libération progressive par dissolution des carbonates et des cations associés, sous l'effet des précipitations et de l'activité chimique et biologique du sol rend inutile le chaulage;
- les sols sont systématiquement basiques (sauf très rares exceptions sur calcaires très durs et peu solubles).



* Indice de Pouvoir Chlorosant



Signification et intérêt du Calcaire Actif

- Pour les plantes, c'est la "réactivité" du calcaire qui est importante d'où la notion de **Calcaire Actif**. Quantifié par un test d'aptitude des carbonates à une dissolution rapide qui est appliqué lorsque le calcaire total > 5 %.
- Le Calcaire Actif est la base du calcul de l'indice du Pouvoir Chlorosant (IPC) (estimation des risques de carence en fer, choix du porte-greffe en viticulture et arboriculture).
- Juste et Pouget (1972) ont défini un **indice de pouvoir chlorosant (IPC)** qui lie le **calcaire actif** et le **Fe extractible** (méthode Juste) dosés dans le même **milieu oxalate d'ammonium**.

IPC

$$= (10^4 \times \text{calcaire actif \%}) / [\text{Fe extractible ppm}]^2$$



5) La teneur en carbone organique du sol

$C \times 1,72$ à MO (teneur en matières organiques)

C/N

7 à 10	normal, bonne évolution des MOS
10-12	un peu élevé
12-15	assez élevé
15-20	élevé
> 20	lente et mauvaise évolution des MOS



Substances humiques

- Nombreux rôles dans les sols:
 - l'humus **allège les sols argileux** et favorise leur réchauffement au printemps par la couleur noire.
 - 10 fois plus efficaces que les argiles pour **retenir l'eau et les éléments nutritifs**, l'humus est très utile pour les sols sableux à faible CEC.
 - formation du complexe argilo-humique.

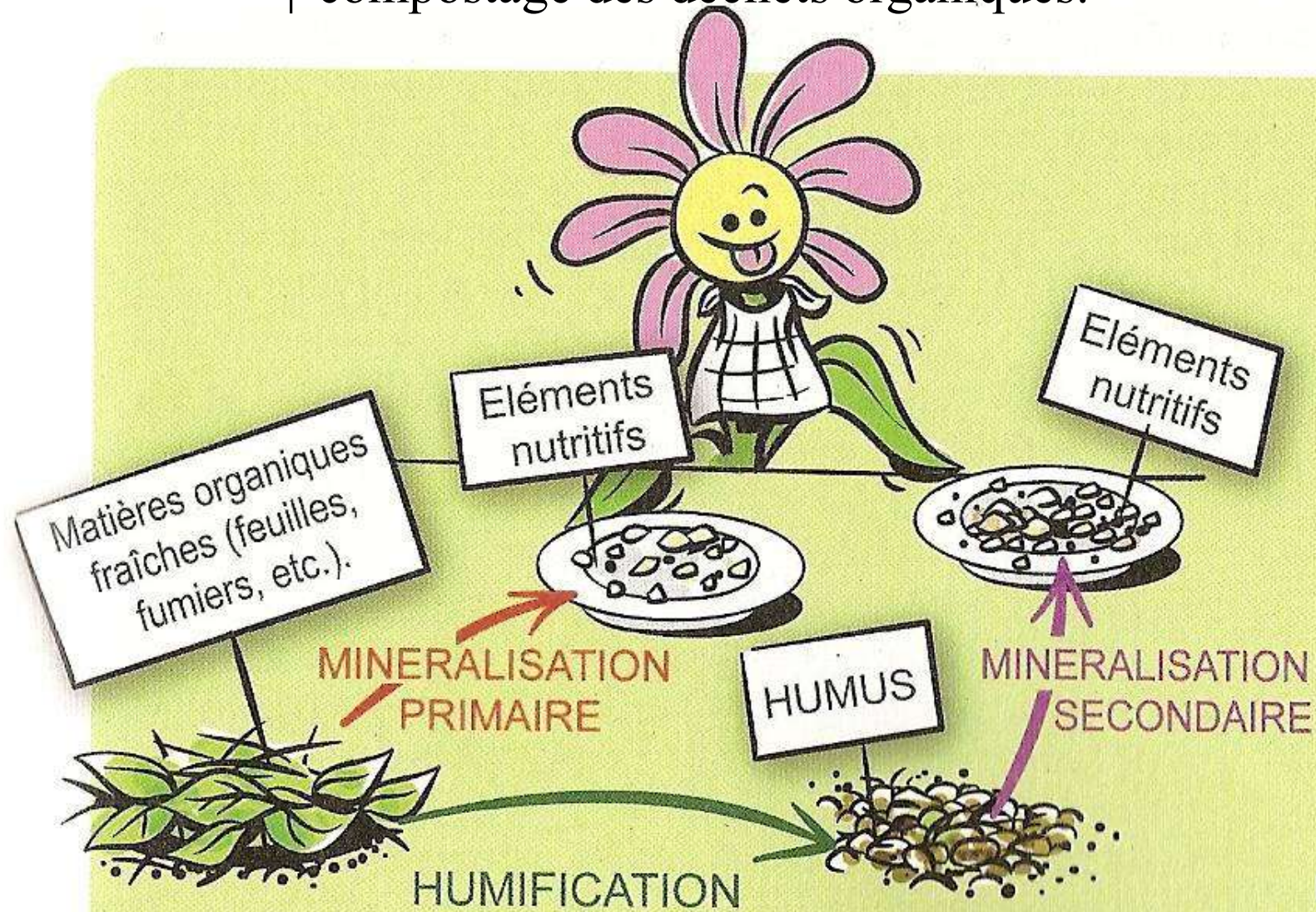


- Source d'énergie et d'éléments nutritifs.
- Un stock à préserver par des apports réguliers.



Limiter la baisse des teneurs en matières organiques

- ↑ compostage des déchets organiques.



(Bacher & Leclerc, 2009)

Engrais, amendement	Azote (N) %	Phosphore (P2O5) %	Potassium (K2O) %
Poudre de corne	10-15	1	0,75
Laine	10-12	-	-
Poils, crins, plumes	5	-	-
Marc de pommes	1,2	0,5	0,5
Marc de raisin	0,7	0,2	0,5
Vase d'étang	0,2	0,2	0,4
Algues (varechs)	0,5-1,5	0,3	0,5-1,5
Tourteaux	3-6	2	1
Fumier de cheval	0,6	0,25	0,6
Fumier de bovins	0,3	0,15	0,4
Fumier de mouton	0,8	0,2	0,7
Fumier de porc	0,45	0,2	0,6
Fumier mixte décomposé	0,6	0,3	0,5
Fiente de poule, de pigeon, de canard	3-6	1,5	0,2
Scories Thomas	-	15-20	-
Phosphates naturels (Gafsa)	-	30	-
Phospal	-	30	-
Patentkali	-	-	30
Cendre de bois	-	3-10	10-30



* LES MATÉRIAUX POUR LE COMPOST

• Matériaux pauvres en carbone et riches en azote :

Engrais vert (jeune), foin de légumineuses, déjections animales, déchets domestiques (épluchures, restes...), tontes de gazon, consoude, fumier décomposé, fanes de tomates, choux, algues marines (vertes ou brunes).

• Matériaux de composition idéale (rapport carbone/azote = 25-30) :

Feuilles d'aulne, feuilles de frêne, fumier (avec litière), marc de café, fanes de pommes de terre.

• Matériaux riches en carbone et pauvres en azote :

Paille de maïs, paille de colza, paille de blé, sciure de bois, papier, tourbe, feuilles de chêne, feuilles de bouleau, feuilles d'érable.



6) Les teneurs en éléments nutritifs du sol

- Les racines des plantes absorbent les éléments nutritifs (N, P, K, Cu...) présents dans la solution du sol.
- Les plantes peuvent également absorber des éléments par voie foliaire (S, Cu...).
- La quantité **phytodisponible** d'un élément (c'est-à-dire qui peut être absorbée par la plante) est généralement très faible par rapport à la qualité totale de l'élément dans le sol.
- P et K échangeables sont mesurés (et non pas les quantités totales) en routine.
- La phytodisponibilité est fonction du pH du sol, de l'espèce végétale, de la typologie du sol....



Devenir des éléments (nutriments ou polluants) dans le sol

Apports: résidus de plantes,
engrais minéraux et
organiques, amendements,
bactéries fixatrices d'azote, etc.

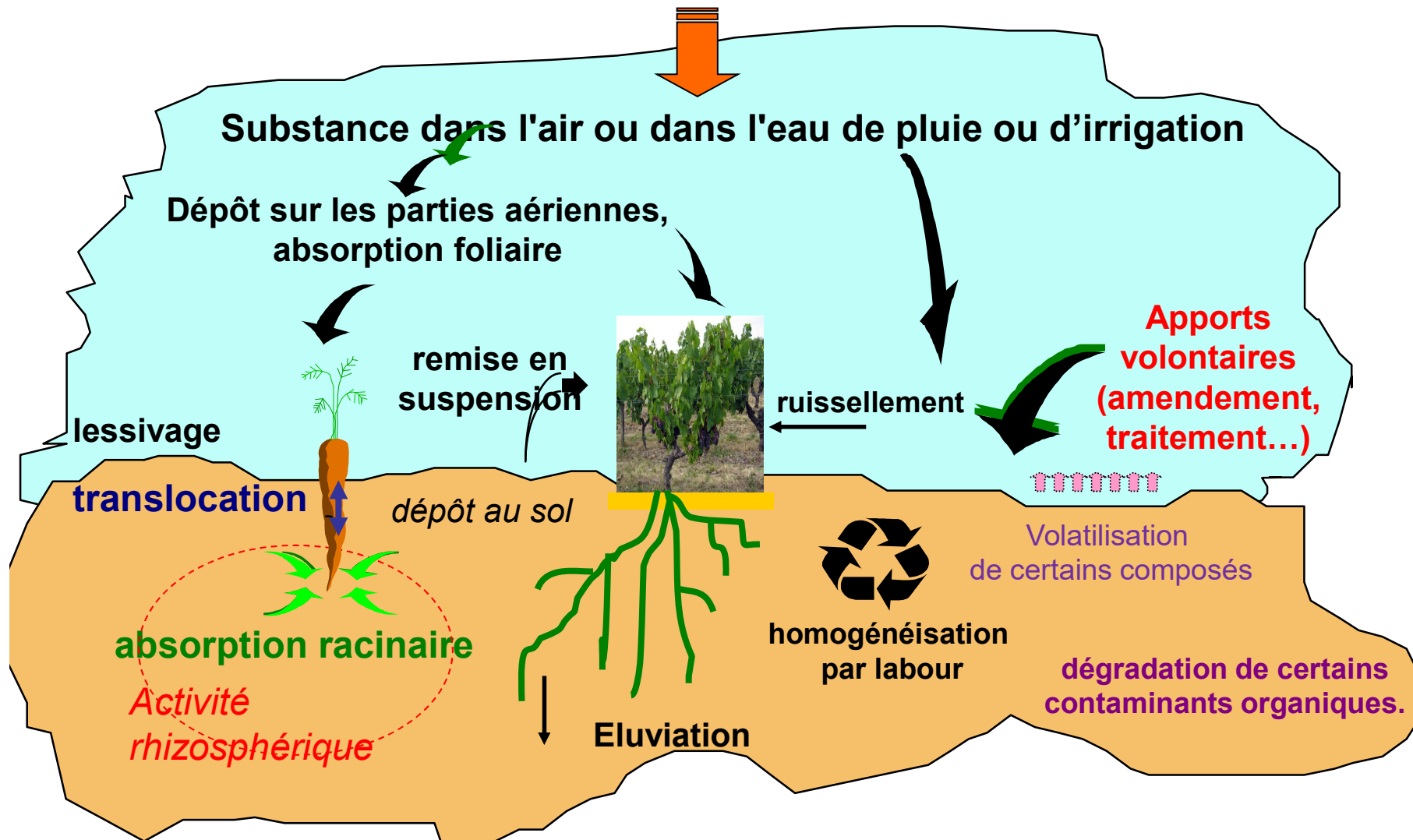
**Prélèvements par les
plantes.**

SOL (fraction $\pm$ disponible)
Adsorption-Complexation
Précipitation...

Pertes: lessivage, érosion, ruissellement, volatilisation.



Activités anthropiques et phénomènes naturels



ELEMENTS NUTRITIFS (NPK...) ou POLLUANTS



	Très faible	Faible	Un peu faible	Bien pourvu	Élevé	Très élevé ou toxique
Matière organique (g/kg)		10	15	20	30	
pH eau Sols acides des plaines, coteaux et piémont	5.0	5.5	Un peu faible pour certaines plantes exigeantes et pour le sol (1)	6.0	6.5	7.0
	Risque de toxicité de l'aluminium			pH conseillé (2)	Attention aux risques de blocage d'oligo-éléments Cu, Zn, B, Mn (ne pas dépasser le pH 7)	
pH eau Sols de montagne	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	
	Risque de toxicité de l'aluminium. Possible pour prairies naturelles extensives	Prairies naturelles plus intensives	Prairies temporaires, cultures annuelles, orge, triticale, seigle, avoine, maïs	Luzerne et autres cultures	Risques de blocage d'oligo-éléments. Coût élevé du chaulage	
P₂O₅ Dyer (mg/kg) (sols acides)	60		120	180	400	
	Pas d'impasse fumure renforcée sur culture exigeante	Pas d'impasse		Impasse possible sur culture peu à moyennement exigeante	impasse possible sur cultures exigeantes	
P₂O₅ Joret-Hébert (mg/kg) (sols calcaires)	50		80	120	250	
	"	"	"	"	"	"
P₂O₅ Olsen (mg/kg)	15		30	45	100	
	"	"	"	"	"	"
K₂O échangeable (mg/kg)	60		100	180	300	
		50	100	150	300	
MgO échangeable (mg/kg)	Apport de magnésium indispensable		Un peu faible (3) Apport de dolomie si chaulage	Entretien. Apport de dolomie si chaulage	Éviter les excès de fumure magnésienne	



7) Paramètres biologiques de la qualité d'un sol

- La matière organique du sol est composée :

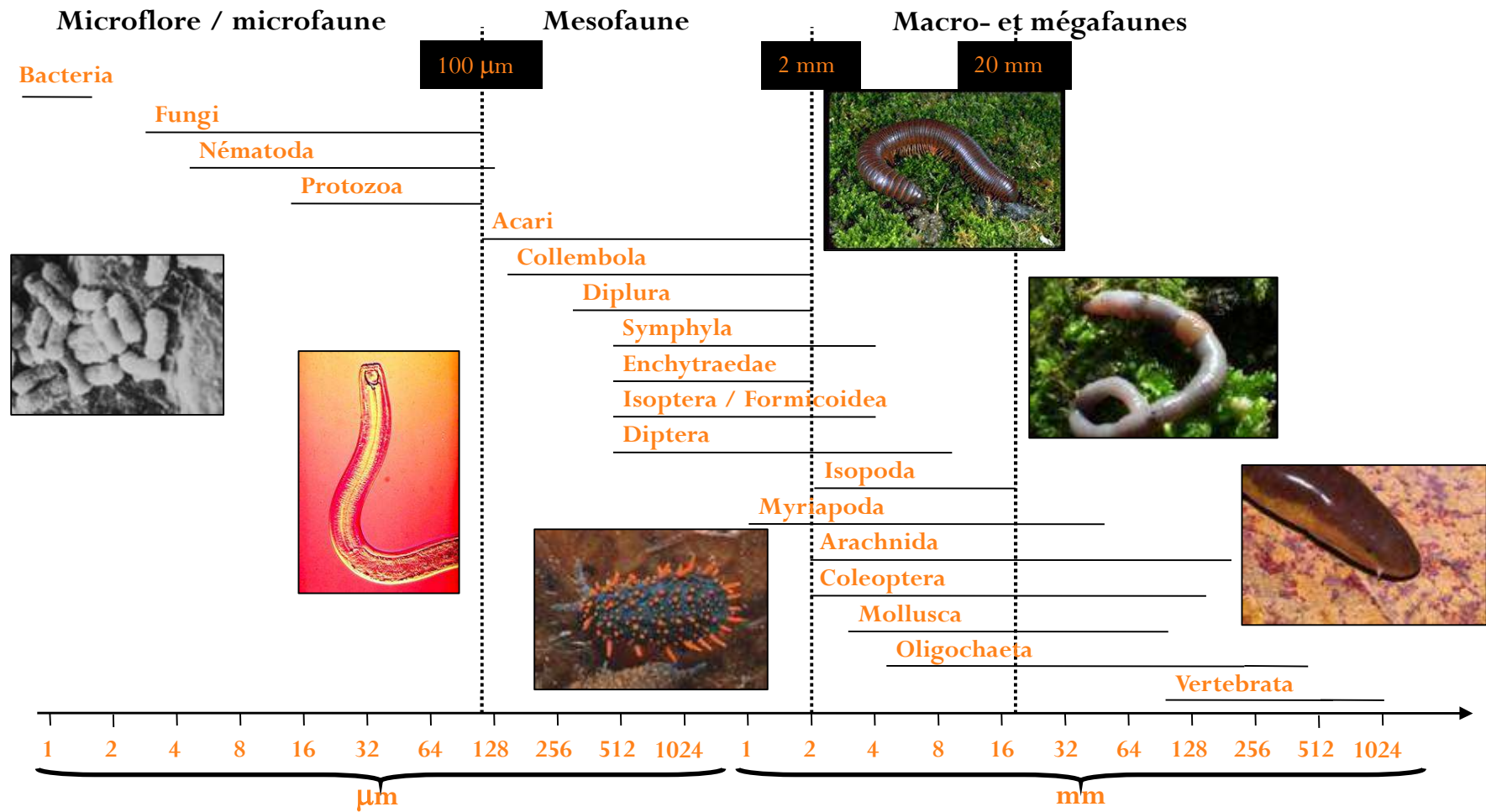
- d'organismes vivants,
- de résidus de végétaux et d'animaux,
- de produits en décomposition.



- Elle ne représente, en général, que quelques pourcents (0,5 à 10 %) de la masse du sol., mais elle est très réactive et joue de nombreux rôles !
- Sous l'action de l'érosion, du défrichage, des microorganismes, de l'oxydation..., la matière organique se transforme en matière minérale.



Les organismes du sol

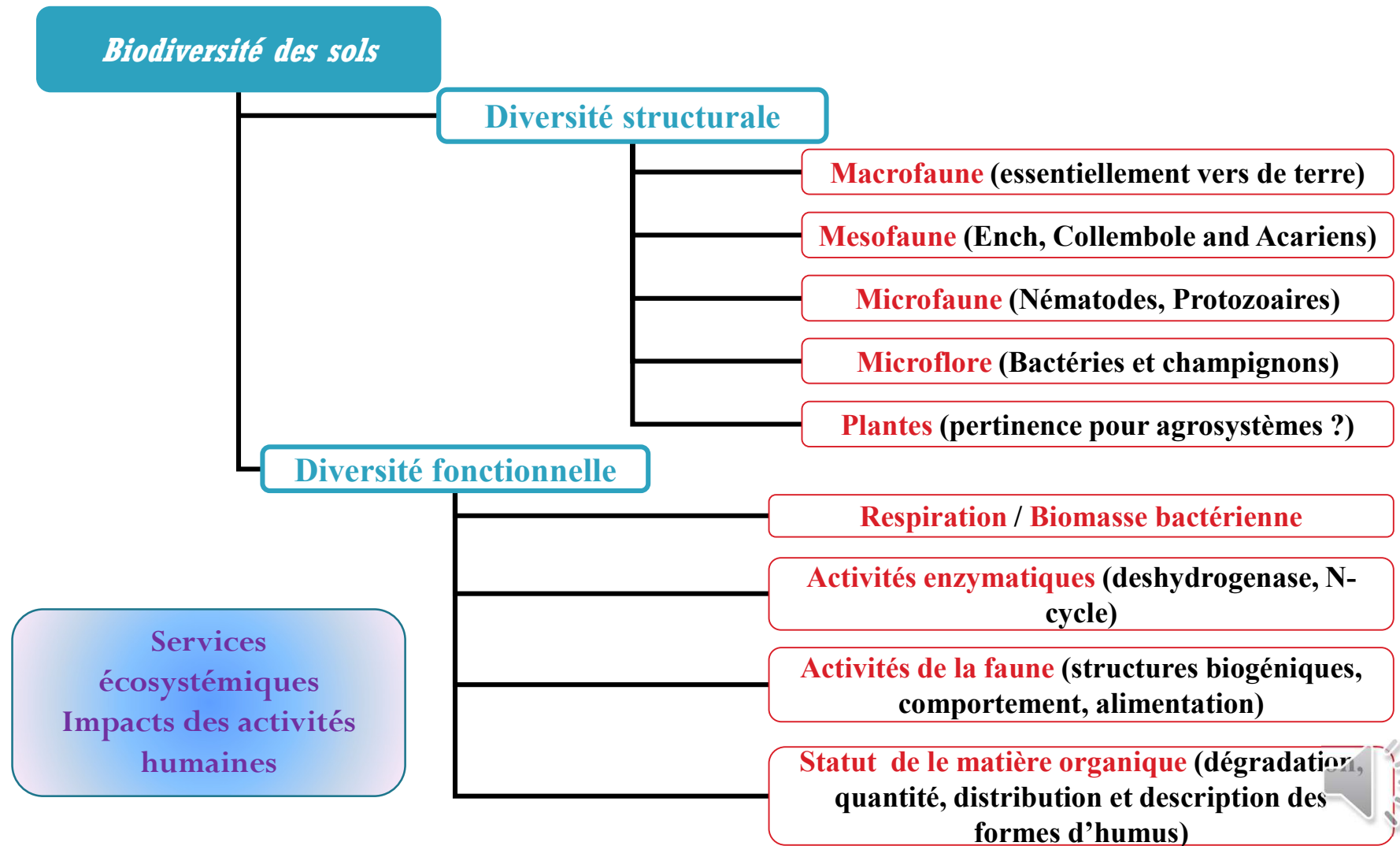


Modifié d'après Swift et al. (1979)



Indicateurs biologiques

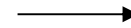
La biodiversité et l'activité biologique des sols sont désormais largement prises en compte dans l'évaluation de la qualité (ex : RMQS, programmes ADEME, ECOGER et ANR, initiative ENVASSO).



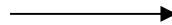
Qualité biologique :

Des outils pour l'échantillonnage

- Sacs de litière ou litterbags



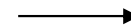
- Carottes de sol



- Piège Barber



- Aspirateur, chasse à vue, formol, électrodes...pour la macrofaune

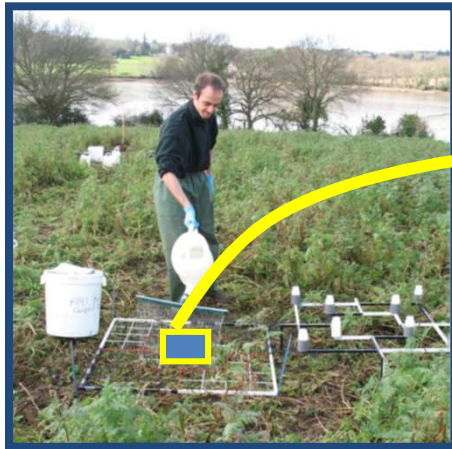


- Collecte et tri manuel pour la macrofaune...



Exemple de prélèvement pour les vers de terre

Extraction à la moutarde
(étape 1)



Trois arrosages – 1 × 1 m

Tri manuel (étape 2)

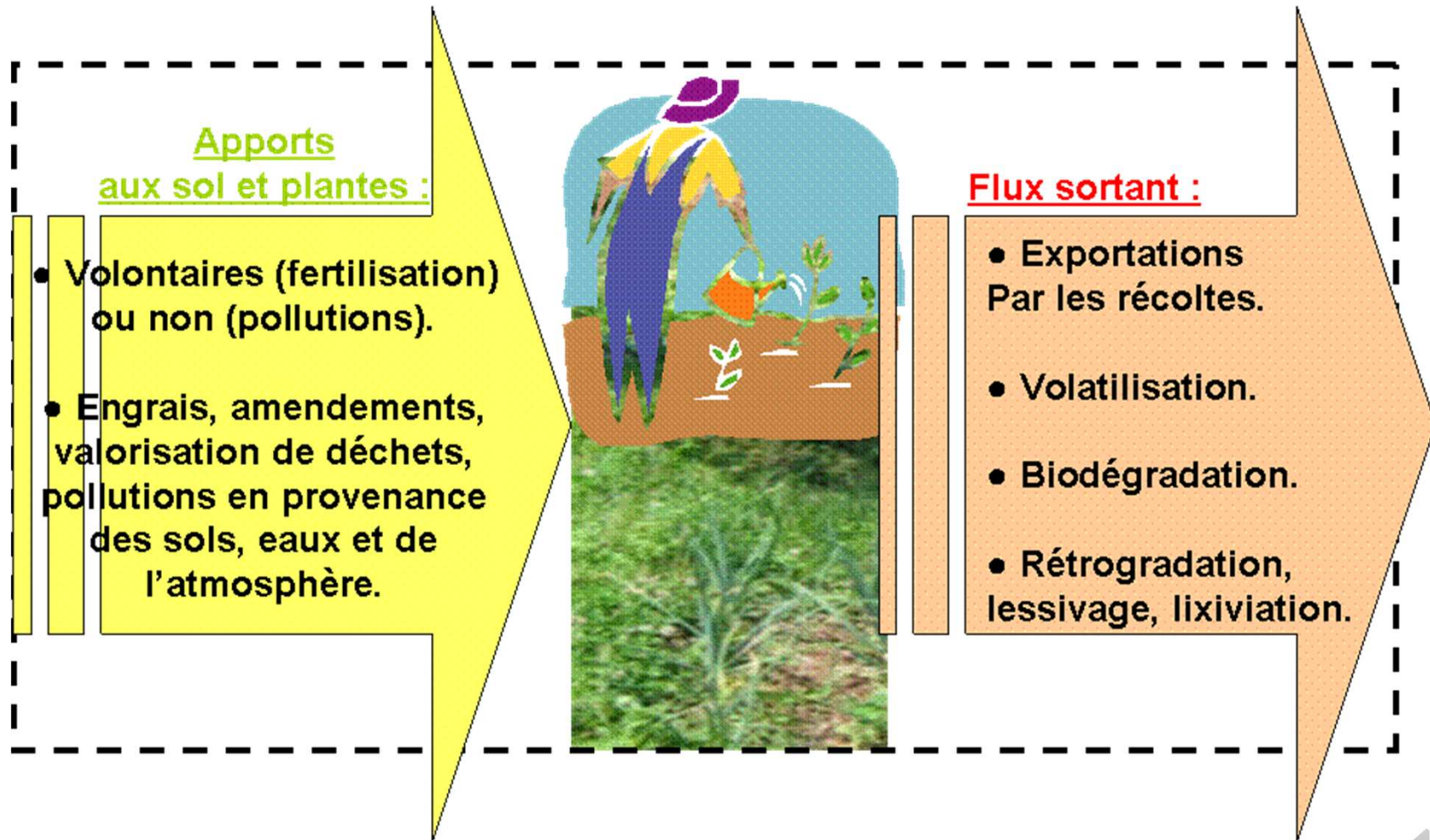


Excavation d'un bloc de sol (25x25x25cm) avec une bêche
et
Recherche minutieuse des vers de terre

(d'après D. Cluzeau et Y. Capowiez)

8) Les teneurs en polluants du sol

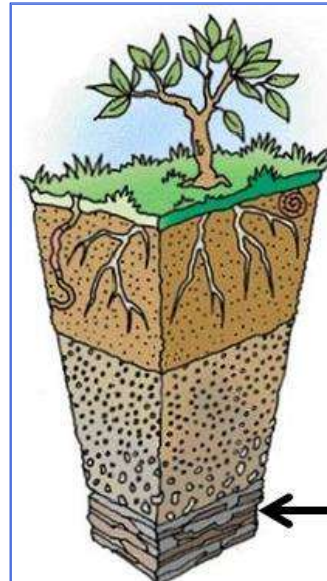
Impact des activités anthropiques sur la qualité des végétaux :



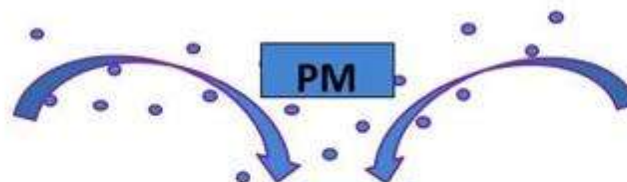
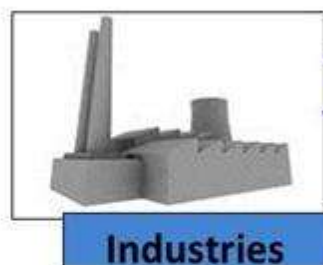
- Intrants/effets voulus (engrais, amendements...)
- Intrants/effets involontaires (produits secondaires, pollutions, tassement)



QUELQUES EXEMPLES DE CONTEXTES de POLLUTIONS



Roche mère
riche en métaux



Qualité des végétaux

- **Règlement européen pour les végétaux commercialisés.**
- **BAPPET, BAPPPOP** : base des métaux dans les plantes potagères.

Conclusions et perspectives

- Le sol peut être caractérisé de façon très précise dans le cadre d'une thèse (de la même façon qu'un humain peut aussi faire l'objet d'analyses très poussées).
- Les études détaillées des sols réalisées dans le cadre des thèses et projets de recherche scientifiques sont sources d'innovation.
- **Au quotidien, il est aussi important de disposer de tests relativement simples, rapides et peu coûteux et dont l'interprétation est robuste...**

- (1) Un pH eau de 5,5 est un minimum pour toutes les cultures.
- (2) Une meilleure activité biologique de certains organismes (bactéries cellulolytiques ou nitrificatrices, lombriciens...) et une meilleure structuration du sol (stabilité structurale plus élevée grâce à l'effet probable du calcium Ca) sont observées entre les pH 6 et 6,5.
Le pH eau de 6 est la limite inférieure pour la luzerne au moment du semis.
- (3) Il y a un risque de carence en magnésium s'il y a un excès de potassium dans le sol.
Entre 50 et 80 mg/kg de MgO éch., des carences en magnésium sont observées.
- (4) **Des sols trop riches en éléments minéraux peuvent entraîner des déséquilibres dans le sol**, voire des toxicités. Des antagonismes peuvent apparaître :
- l'excès de P peut bloquer le Zn, Cu, Fe, Ca ?, K ?
 - l'excès de K peut bloquer le Mg, B ?
- Il faudra donc éviter de dépasser les valeurs suivantes (ces valeurs sont indicatives et restent à vérifier)
- ...
- P_2O_5 Dyer > 400 mg/kg, P_2O_5 Joret-Hébert > 250 mg/kg.
 P_2O_5 Olsen > 100 mg/kg : K_2O échangeable > 300 mg/kg, MgO échangeable > 300 mg/kg.
- Excès de phosphore** : les sols trop riches en phosphore entraînent un risque de pollution des eaux (entraînement du P par ruissellement, érosion hydrique ou lessivage).
- (5) **Exemple de calcul des besoins en chaulage** : soit un sol avec 180 g/kg d'argile et 15 g/kg de matière organique : $BEC = 5,5 (180 + 5 \times 15) = 1\,402,5$ kg eq CaO/ha pour remonter le pH eau de 0,5 unité

Une flore indicatrice

Pour mieux comprendre la nature de votre sol,
observez la flore spontanée poussant à proximité.

Sol lourd
(argileux, limoneux)

Laiteron des champs (*Sonchus arvensis*)
Renouée persicaire (*Polygonum persicaria*)
Agrostis rampant (*Agrostis stolonifera*)
Chardon des champs (*Cirsium arvense*)

Sol léger (sableux)

Anthémis des champs (*Anthémis arvensis*)
Pensée sauvage (*Viola arvensis*)

Sol riche en humus
et en azote

Ortie (*Urtica urens*, *U. dioica*)
Mercuriale annuelle (*Mercurialis annua*)
Sureau noir (*Sambucus nigra*)
Amarantes (*Amarantus spp*)

Sol acide

Petite oseille (*Rumex acetosella*)
Bruyère (*Erica spp*)
Digitale (*Digitalis purpurea*)

Sol calcaire

Chicorée sauvage (*Cichorium intybus*)
Ellébore fétide (*Helleborus foetidus*)
Sainfoin (*Onobrychis sativa*)



QUELQUES PLANTES INDICATRICES AU JARDIN, ET LEURS INDICATIONS SUR L'ÉTAT DE VOTRE SOL

(D'APRÈS « L'ENCYCLOPÉDIE DES PLANTES BIO-INDICATRICES, ALIMENTAIRES ET MÉDICINALES », DE GÉRARD DUCERF)

Plantes	Indications sur l'état du sol	Gestes à éviter
• Chiendent (<i>Elytrigia campestris</i>)	Sol compacté (sol limoneux à pH élevé) ; excès de nitrate et de potasse ; fort contraste hydrique.	Travail du sol inadéquat, passages trop nombreux d'outils rotatifs.
• Liseron des champs (<i>Convolvulus arvensis</i>)	Sol compacté ; excès de matières organiques ou de nitrate.	Apports trop importants d'azote.
• Mouron blanc (<i>Stellaria media</i>)	Sol équilibré ; minéralisation active des matières organiques.	
• Ortie (<i>Urtica dioica</i>)	Excès de matières organiques d'origine animale ou végétale.	Apports trop importants d'azote.



• Grand plantain (<i>Plantago major</i>)	Sol tassé, compacté.	Piétinement en surface, travail du sol en conditions humides.
• Renoncule rampante (<i>Ranunculus repens</i>)	Engorgement en eau et en matières organiques.	Piétinement en surface, travail du sol en conditions humides.
• Rumex à feuilles obtuses (<i>Rumex obtusifolius</i>)	Engorgement en eau et en matières organiques ; blocage des oligo- éléments et du phosphore.	Piétinement en surface, travail du sol en conditions humides.
• Spergule des champs (<i>Spergula arvensis</i>)	Sol acide, pauvre en humus ; lessivage par manque de couverture du sol.	Excès d'irrigation. Laisser le sol nu.
• Véronique à feuille de lierre (<i>Veronica hederifolia</i>)	Carence en azote.	Apports trop importants de matières organiques végétales.

• ATTENTION DANGER POUR LE SOL • ATTENTION DÉGRADATION DU SOL EN COURS • LE SOL EST EN ÉTAT D'ÉQUILIBRE

