

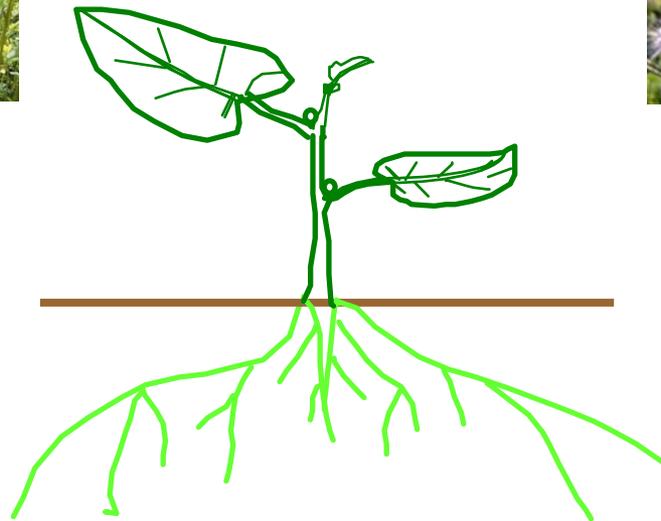


# Plantes engrais verts en agriculture, viticulture *AB, HVE, pratiques agroécologiques*

- A) Les plantes engrais verts: définition, usages...
- B) Alimentation minérale des plantes dans le sol : mécanismes, rhizosphère
- C) Exemples: viticulture et phytoremédiation des sols

[camille.dumat@ensat.fr](mailto:camille.dumat@ensat.fr)

INP-ENSAT, DYNAFOR, CERTOP 2023



Les racines **prélèvent** dans le sol l'**eau** et les **minéraux** nécessaires à la croissance de la plante.



Les racines **excrètent** des substances minérales ou organiques du fait de leur métabolisme.

## **A) Les plantes engrais verts**

## Cultiver selon des pratiques agroécologiques

Faire pousser des légumes, des fruits et des fleurs en respectant le plus possible **les équilibres** naturels.

Définir un compromis harmonieux entre la nature (avec ses « mauvaises herbes ») et un terrain que vous obligerez à accepter la présence de végétaux choisis artificiellement.

Collaborer avec la nature et non plus lui imposer des règles basées sur un emploi souvent inconsidéré de produits chimiques (engrais, phytosanitaires, etc.).

## Les engrais verts améliorent la fertilité des sols:

- ✓ D'une part, leurs parties aériennes offrent une couverture au sol et le protègent contre le dessèchement, l'érosion et la battance.
- ✓ D'autre part, leurs racines drainent le sol, cassent les mottes, et constituent des réserves de potassium, de phosphore et d'azote que les cultures suivantes utiliseront. Amélioration de la structure du sol par l'action de leurs racines et stimulation de sa vie microbienne.
- ✓ De plus, les auxiliaires de culture sont favorisés tandis que les plantes adventices sont limitées.

## Famille de la plante: critère de choix important

- **Les Brassicacées** (ex-Crucifères) sont efficaces pour extraire les éléments nutritifs du sol et lutter contre les adventices.
- **Les Fabacées** (ex-Légumineuses) sont les plus efficaces pour enrichir le sol en azote.
- **Les Poacées** (ex-Graminées) sont particulièrement adaptées pour enrichir le sol en carbone et offrir une très longue couverture végétale;
- Etc.

# 1 – Sarrasin

Semez ce végétal en lignes distantes de 30 cm.

Enfouissez les graines sous 1 cm de terre, tassez et arrosez bien.

La végétation atteindra entre 90 cm et 1 m de hauteur. Attention : cette plante pourra néanmoins faire quelque peu concurrence à vos jeunes légumes proches ! Il ne faudra donc pas attendre son complet développement pour la faucher ou la broyer, par exemple au bout d'une cinquantaine de jours. Vous laisserez le feuillage se dessécher avant de l'enfourir profondément.

## 2 – Phacélie

**Espèce aux belles fleurs mauves, capable de restituer à la terre beaucoup d'humus en se décomposant.**

Semis à la volée et léger enfouissement.

Ne laissez pas cette plante faire de graines, sauf si vous désirez garnir un endroit en friche. Coupez-la en début d'automne et laissez-la sur le sol, jusqu'au printemps, avant de l'enfouir en voie de décomposition.



### 3 – Vesce

**Comme toutes les légumineuses, cette plante a la propriété de fixer N<sub>2</sub> de l'air par ses racines pour la restituer au sol.**

Trempez ses graines dans de l'eau tiède, pendant une heure, puis enterrez-les dans des sillons de 3 à 4 cm de profondeur, espacés de 30 cm. Ce végétal atteindra 1,20 m de hauteur, mais en l'absence de rames, ses tiges se coucheront et s'entremêleront, ce qui ne sera pas gênant. Fauchez-les 3 mois après le semis et laissez-les geler sur place, pendant l'hiver, avant de retourner votre terre au printemps.



## 4 – Moutarde

**C'est une plante particulièrement appréciée pour sa croissance très rapide, capable de concurrencer très favorablement les mauvaises herbes.**

C'est une espèce qui donne des fleurs jaunes, du type colza. Vous pourrez la semer à n'importe quelle période de l'année, mais avec une préférence pour la seconde moitié du mois d'août.

**Attention** : ne vous laissez pas tenter par l'épanouissement de sa floraison car, très vite, des semences pourraient se former et tomber au sol.

Évitez de cultiver de la moutarde sur une parcelle ayant accueilli des plantes de la même famille, celle des crucifères (navets, choux, radis).

## 5 - Le lupin

Le lupin est une autre légumineuse qui donne de ravissantes fleurs.

Enfouissement au tout début de la floraison.

**Ses variétés jaunes conviennent surtout aux terrains légers et acides, tandis que les blanches se plaisent plus en sol lourd.**



## 6 - Espèces moins connues

**La consoude**, dont le feuillage est riche en azote et sels minéraux. Espèce vivace et donc capable de repousser d'une année sur l'autre au même endroit. Pour éviter une telle situation, il vaudra mieux la cultiver en permanence dans un endroit retiré de votre parcelle, la faucher après développement pour l'épandre ensuite sur les parcelles que vous désirez enrichir.

**La féverole** est une plante très résistante au froid, dont les racines s'enfoncent assez loin dans le sol, en lui permettant de s'aérer. Cet engrais vert ne doit pas être enfoui en début d'hiver, comme la plupart des autres espèces citées dans ce chapitre, mais plutôt l'année suivante, dès l'arrivée des premiers beaux jours.

Accordez également une place de choix à des légumineuses (luzerne, trèfle incarnat, trèfle blanc) qui sauront récupérer l'azote de l'air pour en effectuer le stockage dans des nodosités (sortes de petites poches accrochées à leurs racines).



## Enfouissement des engrais verts

Intervenez en début d'automne ou au printemps suivant.

Vous gagnerez à laisser sécher quelque peu vos plantes avant de les mettre en terre.

**Attention** : si vous enfouissez une masse végétale encore trop verte, vous prendrez le risque de voir l'ensemble pourrir assez vite ! Des couches de végétaux se formeront alors en créant une barrière que l'eau et les substances nutritives auront bien du mal à traverser. Dans tous les cas, il sera nécessaire de ne pas enfouir des plantes ayant déjà formé des graines, cela pouvant conduire à une invasion ultérieure.

**Dès qu'une culture se termine et qu'aucune autre n'est prévue après, semez un engrais vert pour occuper la terre et éviter qu'elle ne s'abîme.**

Amateurs de choux, navets, radis et autres brassicacées (crucifères), évitez de semer de la moutarde, du colza ou de la navette, engrais verts de la même famille botanique, et possédant des maladies et des ravageurs en commun.

**De même, évitez la vesce avant une culture de haricot et pois, ou encore d'oignon, ail, échalote qui n'apprécient pas l'azote.**

Plusieurs plantes sont utilisées dans le cadre de l'engrais vert. Le choix dépend de la nature du sol et des besoins des cultures suivantes. Généralement, les semis les plus pratiqués sont réalisés avec des plantes fourragères légumineuses comme le trèfle, la luzerne, ou non légumineuses comme la moutarde, la phacélie ou la vesce. D'autres plantes comme le colza, le sarrasin, le seigle, le chou, le ray grass, le lupin blanc...

### **Le choix de l'engrais vert à semer se fait en fonction du sol :**

La moutarde blanche à la pousse rapide, est connue pour son action insecticide naturelle.

La phacélie est aussi un insecticide naturellement efficace ainsi qu'un excellent fixateur de nitrate du fait de son réseau racinaire dense et fin qui étouffe les mauvaises herbes.

La navette fourragère est riche en azote, mais ses racines puissantes la rendent difficile à enfouir.

Le ray grass (italien ou anglais) est idéal pour les terres en friche puisqu'il protège la terre contre les lessivages, mais il attire les insectes nuisibles.

Le trèfle (violet ou incarnat) est complémentaire aux cultures de crucifères (choux, navets, colza...) puisqu'il est riche en azote.

## Zoom sur trois engrais verts incontournables

### Moutarde

- De mars à août, 200 à 300 grs / 100 m<sup>2</sup>
- Action insecticide naturelle
- Pousse très rapidement

### Phacélie

- Semis d'août à février 100 à 150 grs / 100m<sup>2</sup>
- Fixateur de nitrate et insecticide naturel efficace
- Pousse très rapidement
- Produit de belles fleurs dans le jardin

### Vesce

- Semis de septembre-octobre à mars-avril, 500grs / 100m<sup>2</sup>
- Riche en azote
- Nécessite un tuteur



Plante utilisée	Semis	Enfouissement*	Dose de semis (g/100 m <sup>2</sup> )	Remarques
Épinard	printemps ou automne	printemps, été, automne	500	aussi en culture intercalaire
Vesce + avoine	mars	juin	1 000 + 800	aucune
Pois + avoine	mars	juin	1 200 + 800	aucune
Moutarde	mars à août	juin à novembre	150	supporte les sols calcaires
Phacélie	mars à août	juin à novembre	150	plante très mellifère
Trèfle blanc	avril	automne	40-80	aucune
Trèfle violet	avril	automne	200	aucune
Trèfle d'Alexandrie	été	automne	300	climats chauds
Lupin	été	automne	2 000	sols siliceux et pauvres
Radis chinois	juillet/août	automne	200	aucune
Sarrasin	juillet/août	automne	500	grand pouvoir désherbant
Trèfle incarnat	août	printemps	250	sols siliceux
Seigle	septembre/ octobre	printemps	2 000	étouffe certaines mauvaises herbes (chiendent, etc.)
Vesce d'hiver + seigle	septembre/ octobre	printemps	500 + 600	aucune

## **B) Alimentation minérale des plantes dans le sol**

# ALIMENTATION MINÉRALE DES VÉGÉTAUX DANS LE SOL

**Faibles disponibilité et mobilité des éléments minéraux des sols**  
= contrainte majeure pour les plantes

## Milieus marins

- Éléments minéraux dissous dans le milieu ambiant = immédiatement disponibles, brassés par mouvements convection = continuellement disponibles.
- Les conditions de milieu varient peu au cours du temps.

## Milieus continentaux

- Faibles disponibilité et mobilité des éléments minéraux.
- Importantes variations des condition physiques et chimiques.

**L'alimentation minérale et hydrique des végétaux supérieurs dépend principalement du fonctionnement de leur système racinaire dans le sol.**

Pour subvenir à leur alimentation minérale,  
les végétaux ont développé des stratégies :

- **Système racinaire** puissant → exploitation d'un volume de sol important.
- Différenciation d'un **cortex racinaire lacuneux** et de **poils racinaires** :  
↑ des surfaces d'échange.
- Mise en place au niveau cellulaire de **systèmes de transport** efficaces conférant aux racines de très fortes capacités d'absorption minérale, **excrétion de diverses substances** ayant pour effet de solubiliser certains éléments minéraux.

⇒ Racines des végétaux supérieurs = organes très évolués,  
spécialisés dans le prélèvement de l'eau et des éléments minéraux,  
qui modifient les propriétés physico-chimiques du sol qui les environne,  
voire sa structure et sa composition minéralogique.

# ALIMENTATION MINÉRALE DES VÉGÉTAUX DANS LE SOL

(1) Disponibilité des EM du sol.

Formes des EM (nature et énergie des liaisons avec la phase minérale).

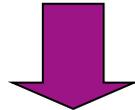
(2) Mobilisation des EM dans la rhizosphère.

Fonctions d'échange racinaire (dynamique des échanges et leurs conséquences sur la dynamique des éléments minéraux).

# DISPONIBILITÉ DES ELEMENTS MINÉRAUX DU SOL

Disponibilité des éléments minéraux  
= leur aptitude à être prélevés par les plantes (phytodisponibilité).

Or, les plantes prélèvent les éléments à l'état dissous dans la solution du sol.



Le concept de disponibilité d'un élément recouvre donc deux aspects :

- l'un est lié à  $[EM]_{\text{solution du sol}}$
- l'autre est lié à son aptitude à passer en solution et à rester à un certain niveau de concentration au voisinage des racines.

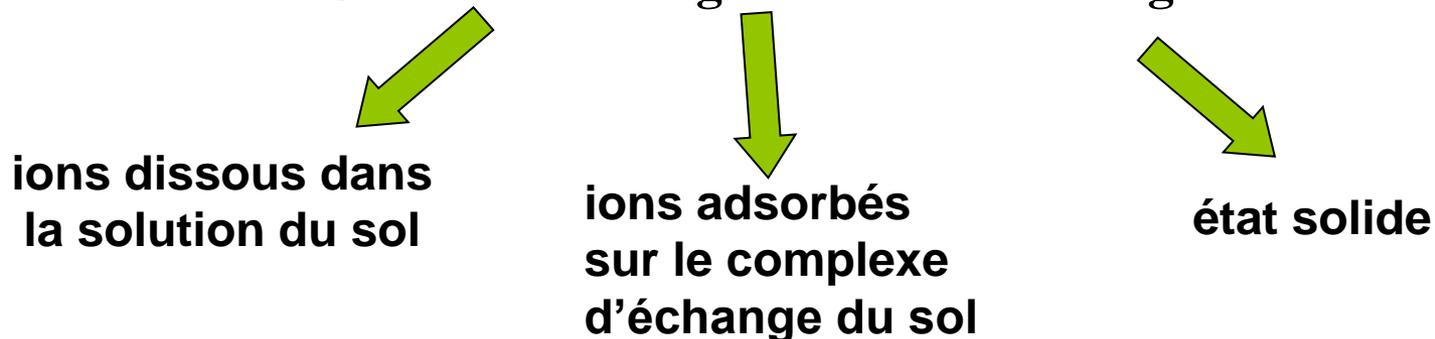


La disponibilité d'un EM dépend moins de sa concentration dans le sol que de la **forme** sous laquelle il s'y trouve, dont dépendent ses possibilités de passage d'un état lié à la phase solide à l'état dissous dans la solution du sol.

## Formes des éléments minéraux dans le sol

- ⊗ Les EM se trouvent dans le sol sous des formes très diverses : particules cristallines ou amorphes, matières organiques, gels colloïdaux, solutés, complexes minéraux ou organiques, etc..
- ⊗ Ces formes correspondent à des liaisons à la phase solide de nature et d'énergie différentes,  
→ aptitudes différentes à passer à l'état dissous.

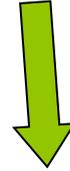
⊗ 3 formes sont généralement distingués :



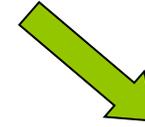
⊗ 3 formes sont généralement distingués :



**ions dissous dans  
la solution du sol**



**ions adsorbés  
sur le complexe  
d'échange du sol**



**état solide**



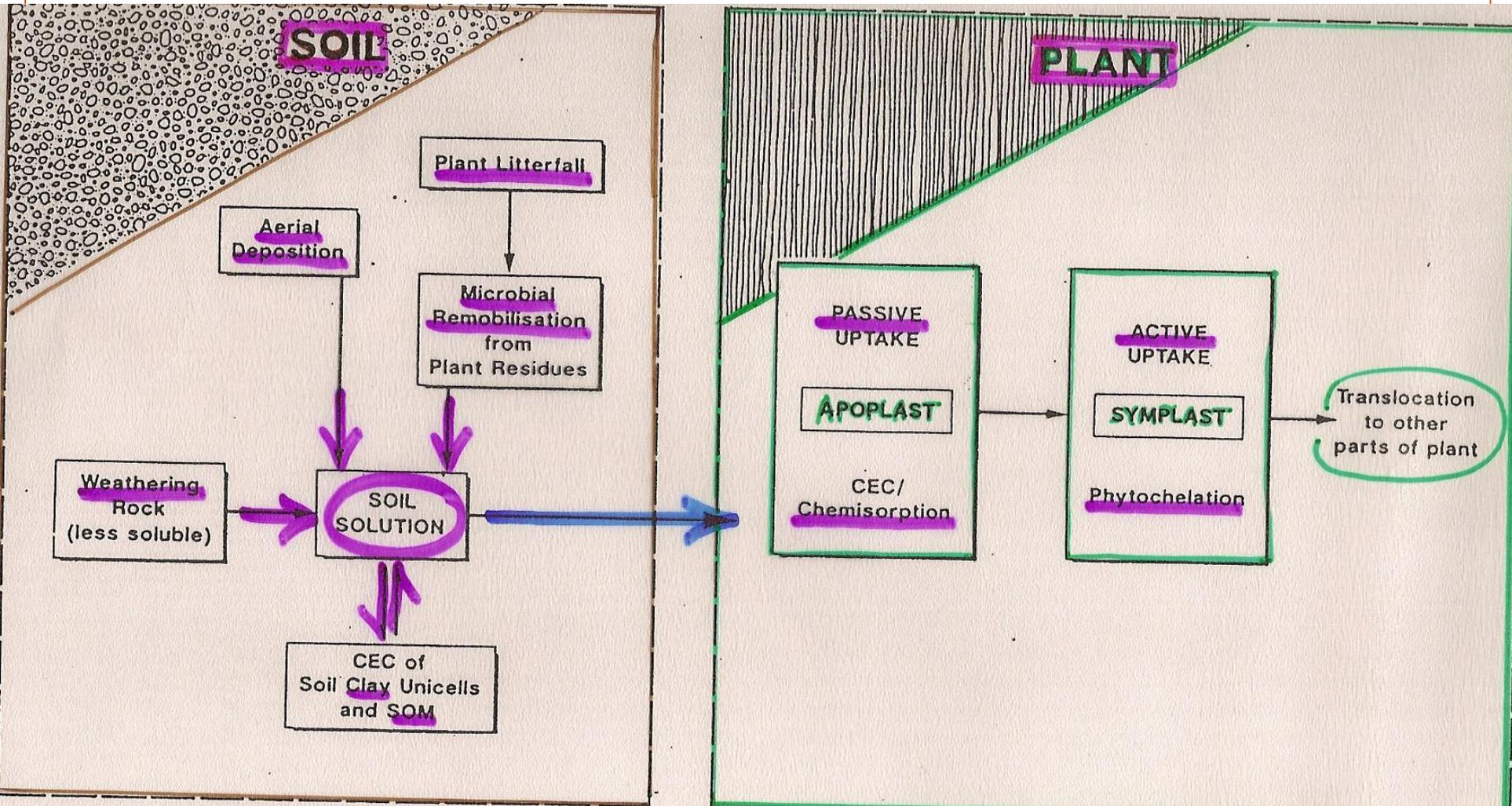
**Phytodisponibilité croissante**

- Absence de liaison avec les constituants solides du sol.
- Les EM sont prélevés par les racines à l'état d'ions : cations ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ), ou anions (nitrate, phosphates, sulfate).

- Liaisons électrostatiques.
- Les cations ( $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ , ..) s'adsorbent sur les surfaces - (argiles, MO) et les anions sur les surfaces + (oxy-hydroxydes Fe, Al) << en climat tempéré.
- L'énergie de rupture de ces liaisons est modérée.

- Eléments qui entrent dans la constitution des phases solides du sol (organiques ou inorganiques).
- Liaisons de nature ionique ou moléculaire.
- Les énergies de rupture de ces liaisons sont > liaisons électrostatiques

# Soil and plant cell processes contributing to bioavailability and uptake of metals by plants.



⇒ L'importance relative de ces différents états varie considérablement d'un élément à l'autre.

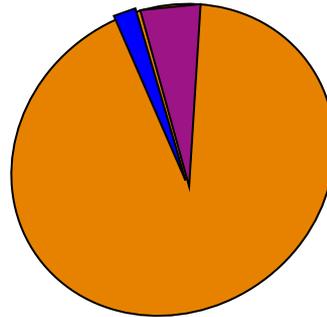
D'une manière générale :

faible solubilité → faible % de l'élément sous forme d'ions en solution et fort % dans des combinaisons ioniques ou moléculaires est forte.

**Exemple du potassium :**

K en solution

bien moins de 1% de la réserve potassique d'un sol



K adsorbé  
de 1 à 10 %

K inclus dans les particules minérales  
> 90 % du total

Le phosphore très peu soluble, se trouve presque exclusivement sous forme de composés organiques et minéraux.

## Energie de liaison et dynamique chimique

Les formes sous lesquelles se trouvent un élément minéral conditionnent sa dynamique dans le sol (passage d'un état à l'autre).

### (1) Ions dissous dans la solution du sol

- Peuvent être absorbés par la plante : **phytodisponibles**.
- **Passage obligé** des éléments pour être prélevés.
- Mais **faible %** de la réserve du sol.

### (2) Eléments à l'état d'ions adsorbés

- Peuvent passer en solution lors **d'échanges ioniques**.  
Les conditions propices à un tel échange sont une faible [ion adsorbé] et une forte [ion échangeur] dans la solution.
- Le complexe d'échange d'un sol joue donc un **rôle de tampon**.  
Les ions adsorbés sur le complexe d'échange constituent donc une **réserve minérale** de première importance.

### (3) EM chimiquement combinés avec les constituants solides du sol

-Peu disponibles, disponibles à long terme ou non disponibles.

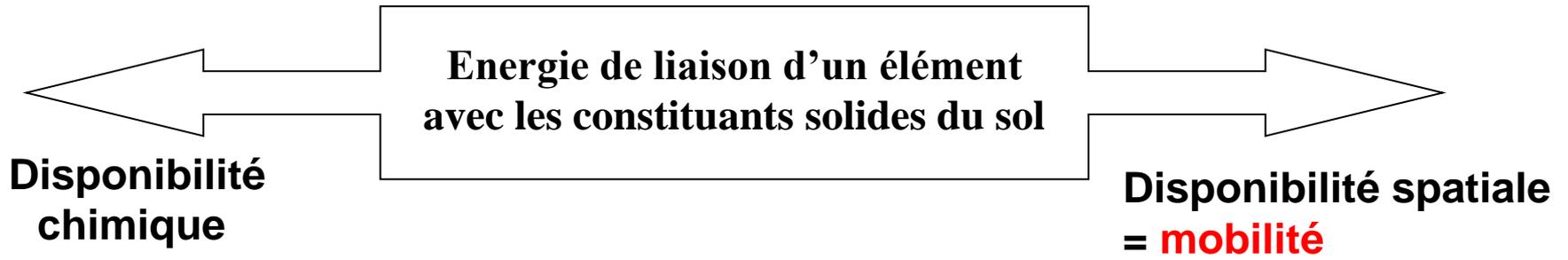
- **Combinaisons minérales** : le passage en solution des éléments constitutifs implique une dissolution, où le **pH** joue souvent un rôle. Dans les sols cultivés des régions tempérées, généralement  $\text{pH} \approx 7$  : faible dissolution → disponibilité des éléments combinés négligeable.
- **Combinaisons organiques** : le passage en solution des éléments implique des **réactions biochimiques** /  $\mu$ flore du sol principalement. Disponibles à  $\pm$  long terme selon la nature des liaisons moléculaires.

Importante fraction du **P** combinée à la MOS sous une forme relativement stable.

La dynamique de cette fraction est liée à l'activité biologique du sol.

**N** réputé très soluble car combiné à la MO sous forme de composés facilement minéralisables par les  $\mu$ organismes du sol. Dynamique rapide : passage facile état combiné  $\leftrightarrow$  ion dissous.

## Energie de liaison et dynamique spatiale



↑ énergie liaison (EM-phase solide) ↔ ↓ mobilité EM dans le sol

**K et phosphates très peu mobiles :**  
interagissent fortement avec les  
constituants solides du sol.

**Nitrate très mobile :**  
Faiblement adsorbé, peut migrer  
à travers la porosité du sol.

Les EM se déplacent dans le sol principalement selon deux processus:

**Convection**



**Diffusion**

## Convection (ou transfert de masse)

Transport des ions dissous dans la solution du sol **en accompagnement des mouvements d'eau** dans le sol.

Vecteur = eau

Différence de **potentiel hydrique** entre 2 régions du sol → énergie motrice

Ce processus intervient lors de l'infiltration d'eau dans le sol (ou la rhizosphère), en accompagnement des mouvements d'eau induits par **l'absorption racinaire d'eau**.

Les mouvements d'eau dans le sol sont importants → EM susceptibles d'être transférés par convection sur de grandes distances.

▽ Ce mode de transfert est important si l'élément interagit peu avec les constituants solides du sol (forte concentration en solution) : principalement le **nitrate**, et dans une moindre mesure **Ca et Mg**.

## Déplacement des EM dans le sol par Diffusion

Déplacement d'ions entre 2 régions du sol  
aux **concs en solution différentes**.

Différence de **potentiel chimique** entre 2 régions du sol  
→ énergie nécessaire

Déplacement par diffusion sur de **courtes distances** (qqes mm).

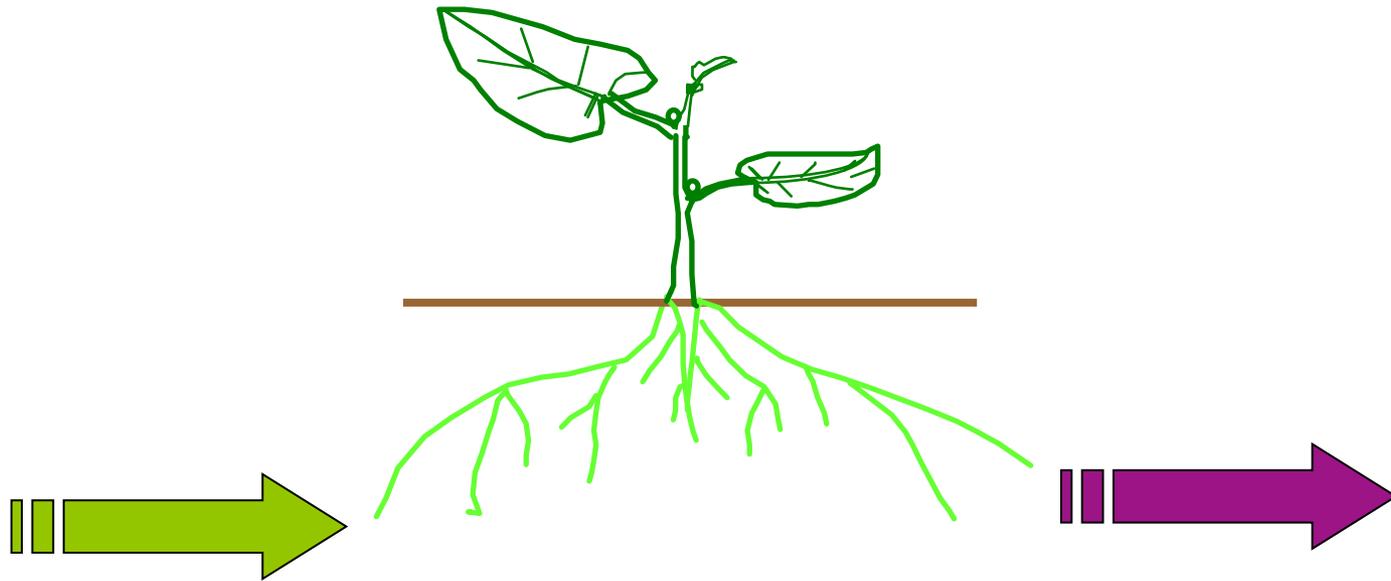
Dans la rhizosphère, lors de la ↓ des  
concentrations au voisinage des racines,  
due au prélèvement des ions par la plante.

apport d'ions  
par un granule d'engrais

Lors des phases d'infiltration d'eau : la solution du sol au sein  
des agrégats est plus concentrée que celle de la macro-porosité  
→ les éléments dissous diffusent vers la périphérie de l'agrégat.

## MOBILISATION DES EM DANS LA RHIZOSPHERE

Processus physiques, chimiques et biologiques liés à l'activité des racines et ayant pour effet de **rendre les éléments disponibles** pour les plantes (les faire passer à l'état d'ions en solution).



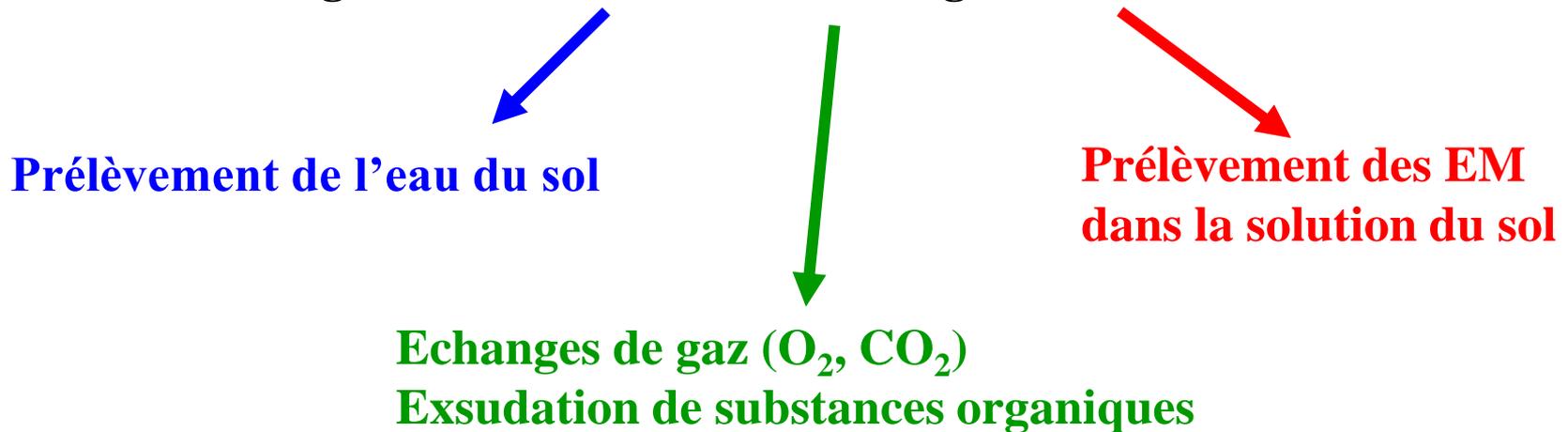
Les racines **prélèvent** dans le sol l'**eau** et les **EM** nécessaires à la croissance de la plante.

Les racines **excrètent** des substances minérales ou organiques du fait de leur métabolisme.

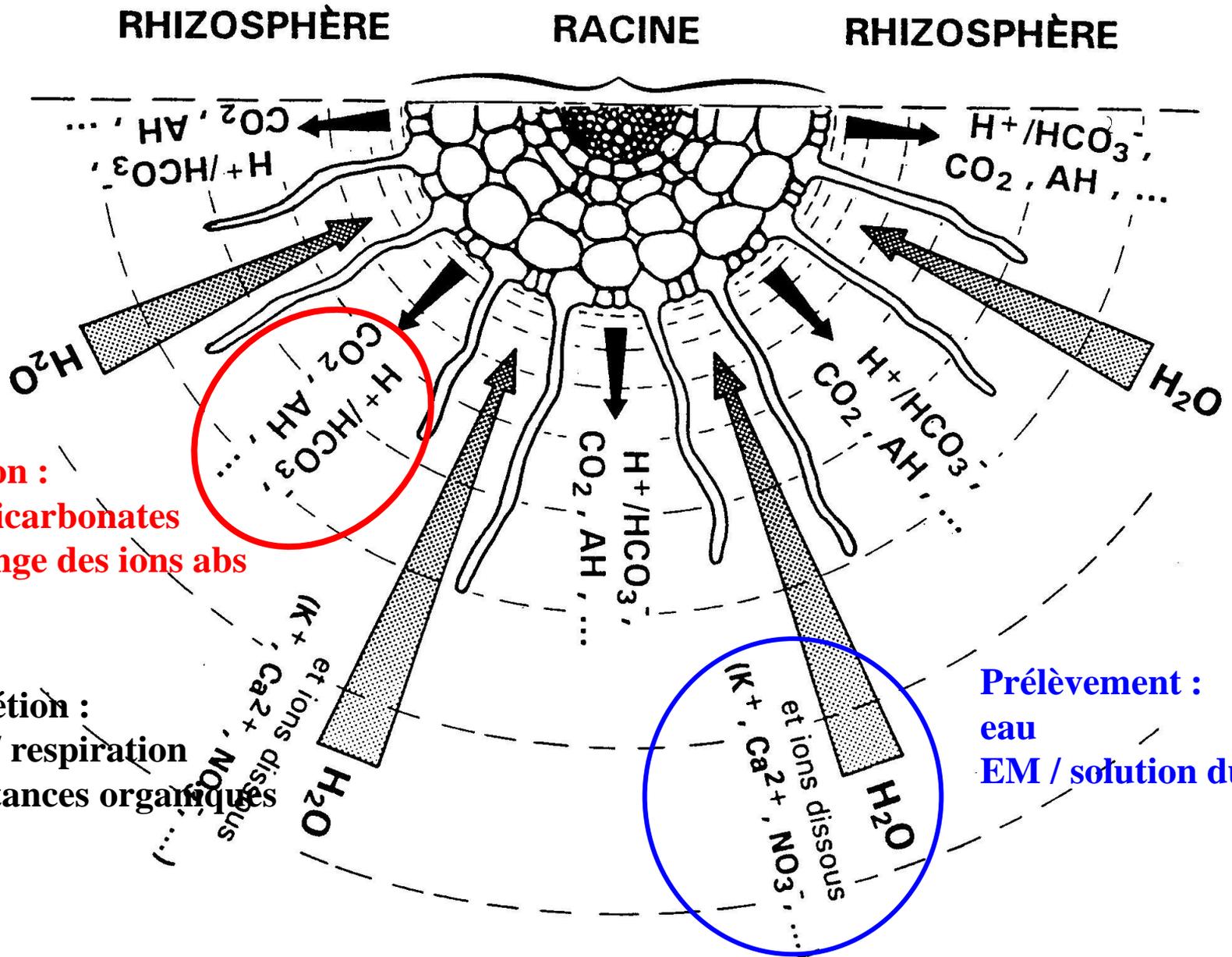
## Echanges de matière entre les racines et le sol

Les différentes fonctions racinaires sont liées entre elles car sous la dépendance de systèmes de régulation qui contrôlent l'ensemble du fonctionnement du végétal.

Toutefois, on peut distinguer 3 groupes de fonctions d'échange de matière entre les racines et le sol sur la base de la nature des matières échangées et de l'effet de ces échanges sur le sol environnant:



# Echanges de matière entre une racine et le sol (colza *Brassica napus*)





## Les racines

### – et la formation des sols



← **en plus de l'apport de  
C  
en surface...**

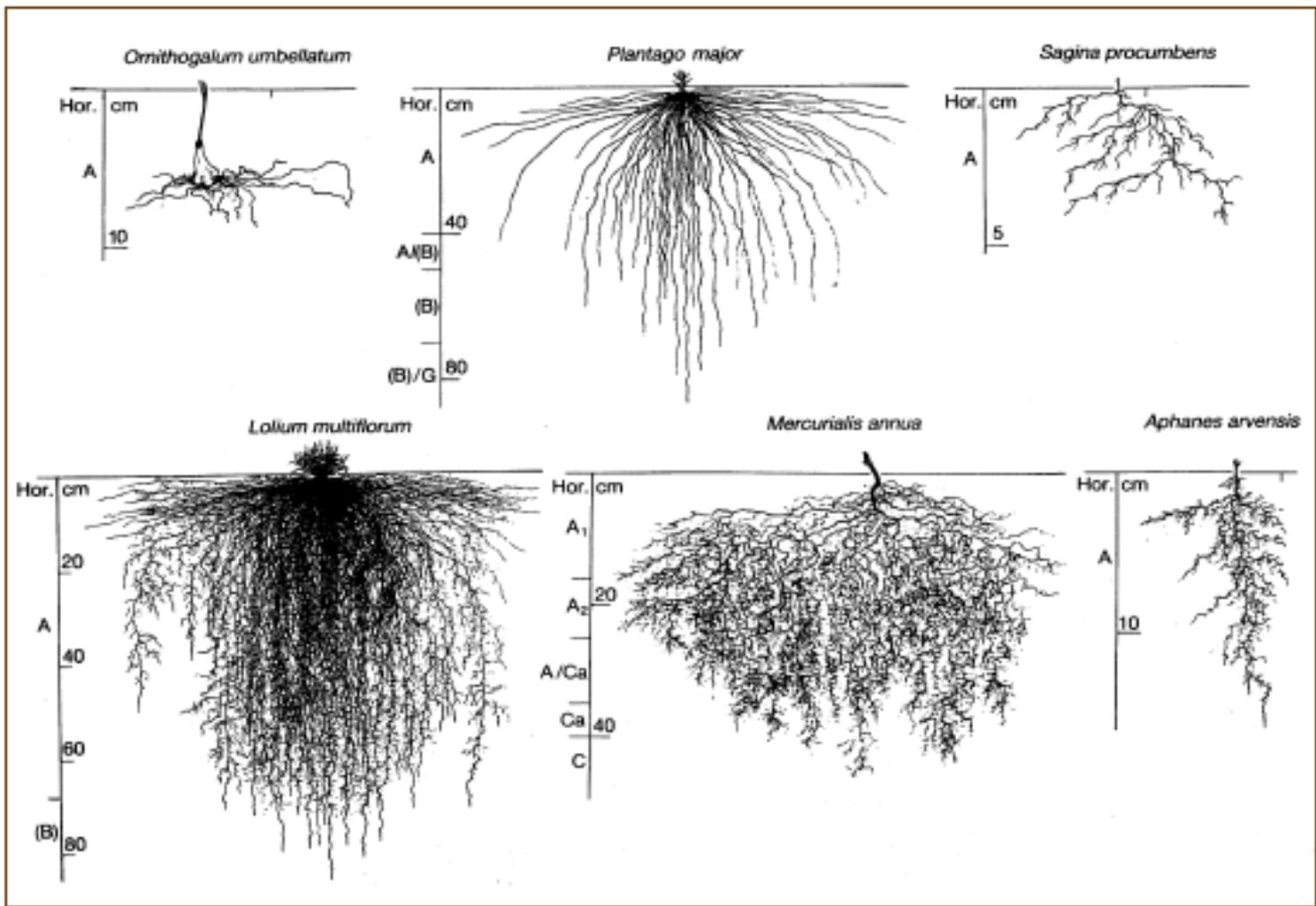
→ **turnover racinaire  
+ rhizodépôts en profondeur**

Les apports de C organique / inorganique dans les horizons profonds  
par **les racines ont contribué à la formation de sols épais**

*(Lambers, Mougel, Jaillard & Hinsinger, 2009 - Plant Soil 321)*

**en modifiant en profondeur** les propriétés biophysiques et biogéochimiques,  
ainsi que **la biodiversité dans les sols**

*(Hinsinger, Bengough, Vetterlein & Young, 2009 - Plant Soil 321)*



**Systèmes racinaires de différentes espèces herbacées (Kutschera, 1960)**



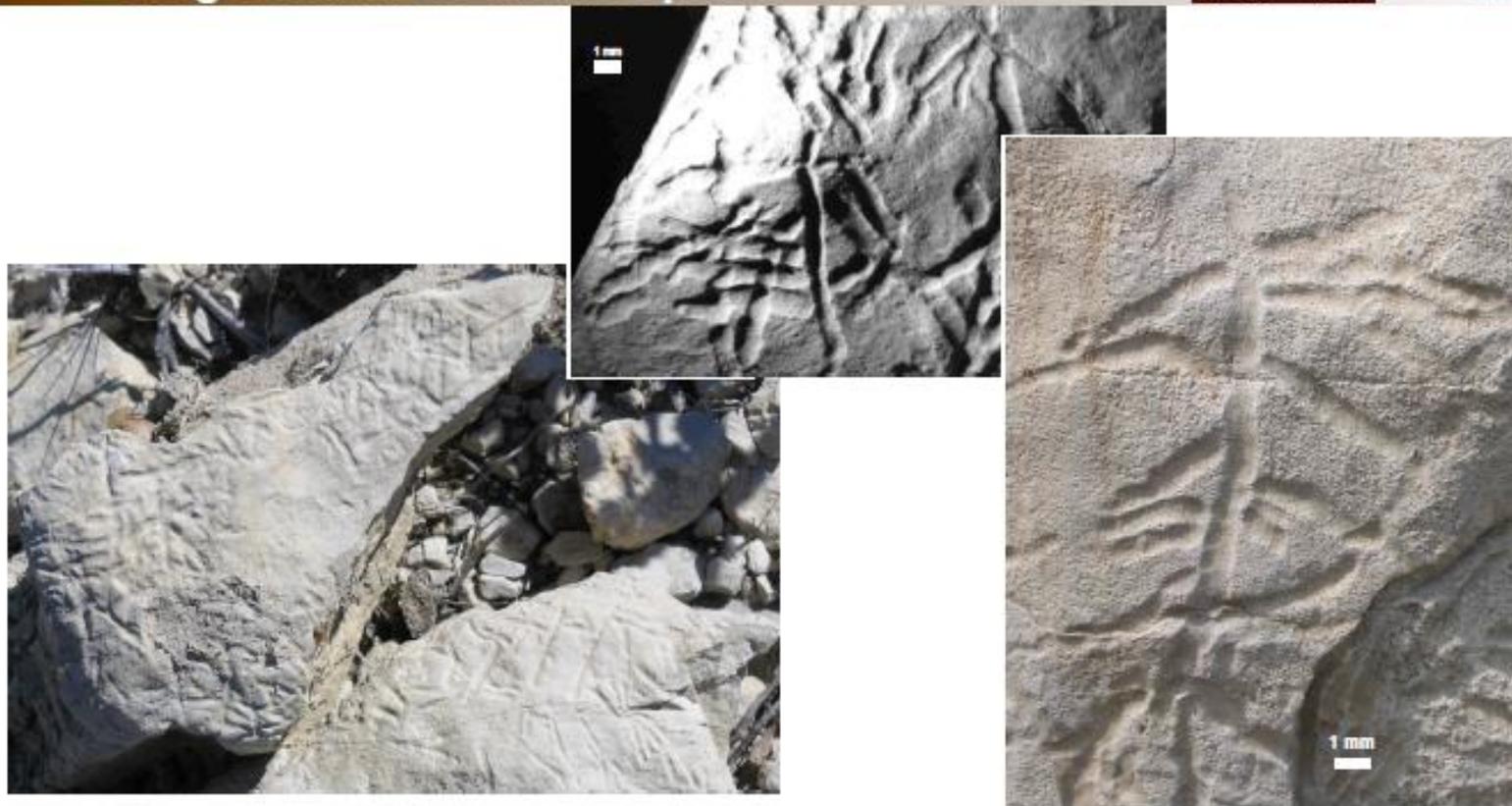
**La rhizosphère : hotspot des processus biophysiques et biogéochimiques du sol**  
(Hinsinger, Bengough, Vetterlein & Young, 2009 – *Plant Soil* 321)

## Agrégation dans la rhizosphère 'rhizosheath' formation





## Stratégies de modification du sol – biogéochimie de la rhizosphère



**Empreintes racinaires sur du calcaire marneux (garrigue de St Gély 34)**  
– en conséquence d'une acidification de la rhizosphère -  
(Jaillard & Hinsinger, 1993 – *Encycl. Tech. Agric.* 1210)

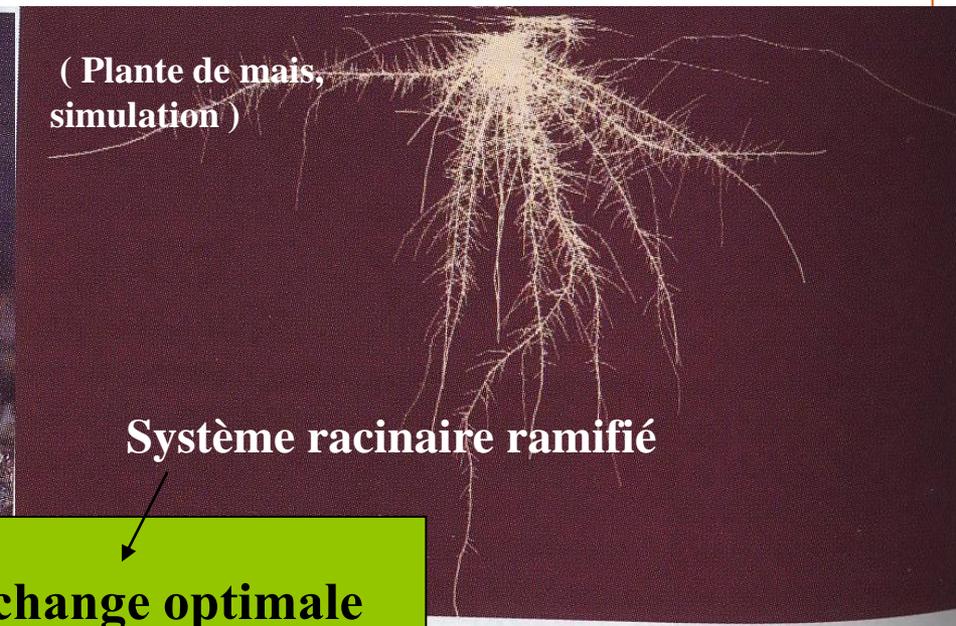
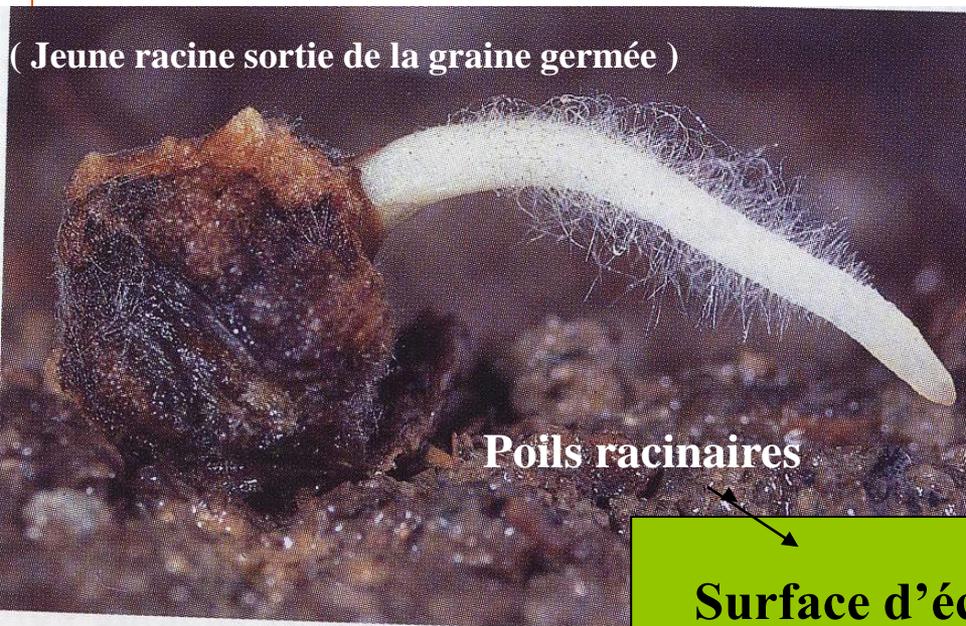
# Absorption de l'eau du sol par les racines

Transpiration par les parties aériennes

→ besoins en eau des plantes sont considérables.

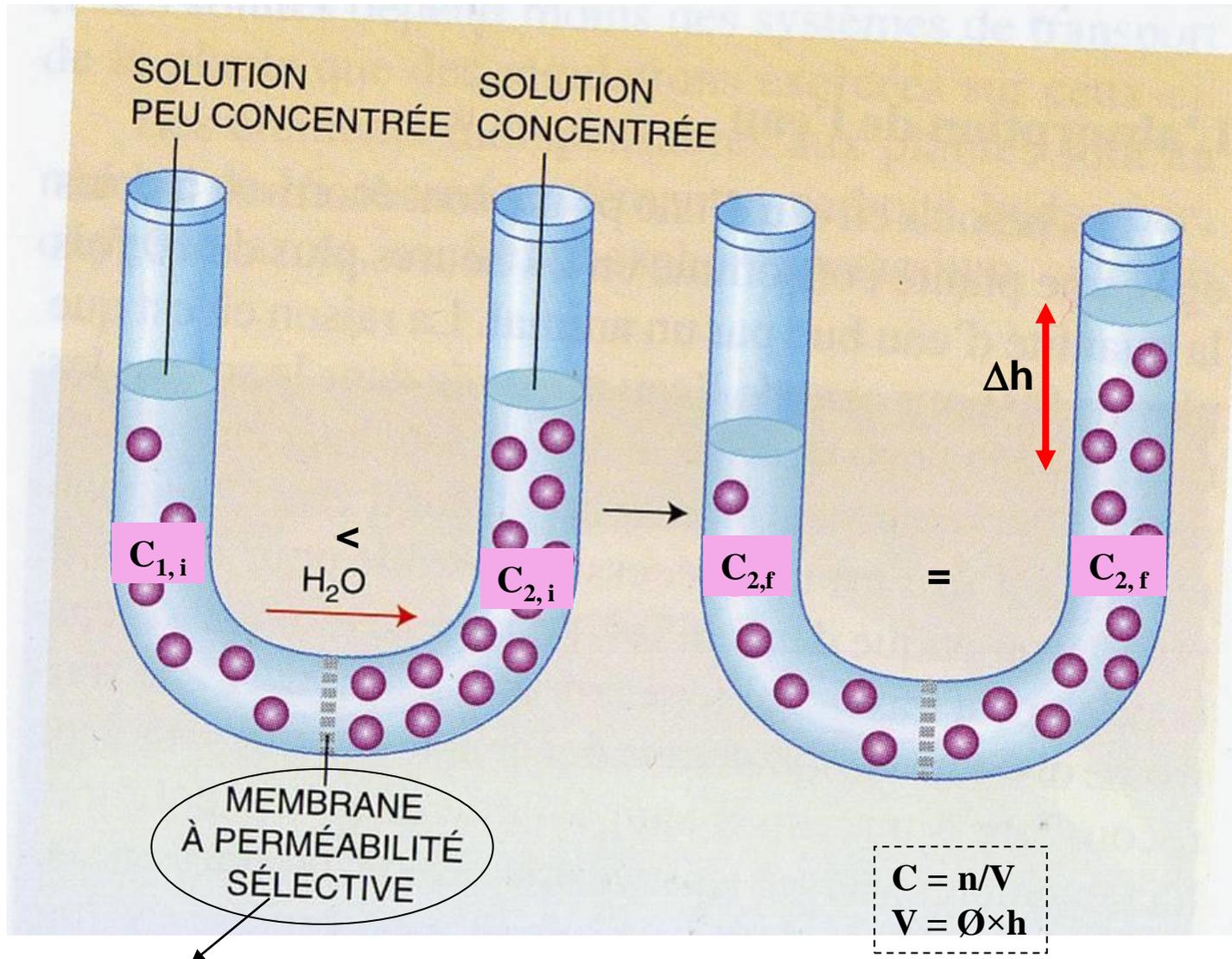
2 à 15 L / m<sup>2</sup> / J pour une culture en période de végétation,  
soit 2 à 15 fois > à l'évaporation sur un sol nu (mêmes conditions).

Flux de plusieurs mm<sup>3</sup> d'eau / mm de racine / J, (équivalent de l'eau  
contenue dans un cylindre de qqes mm de rayon autour de la racine).



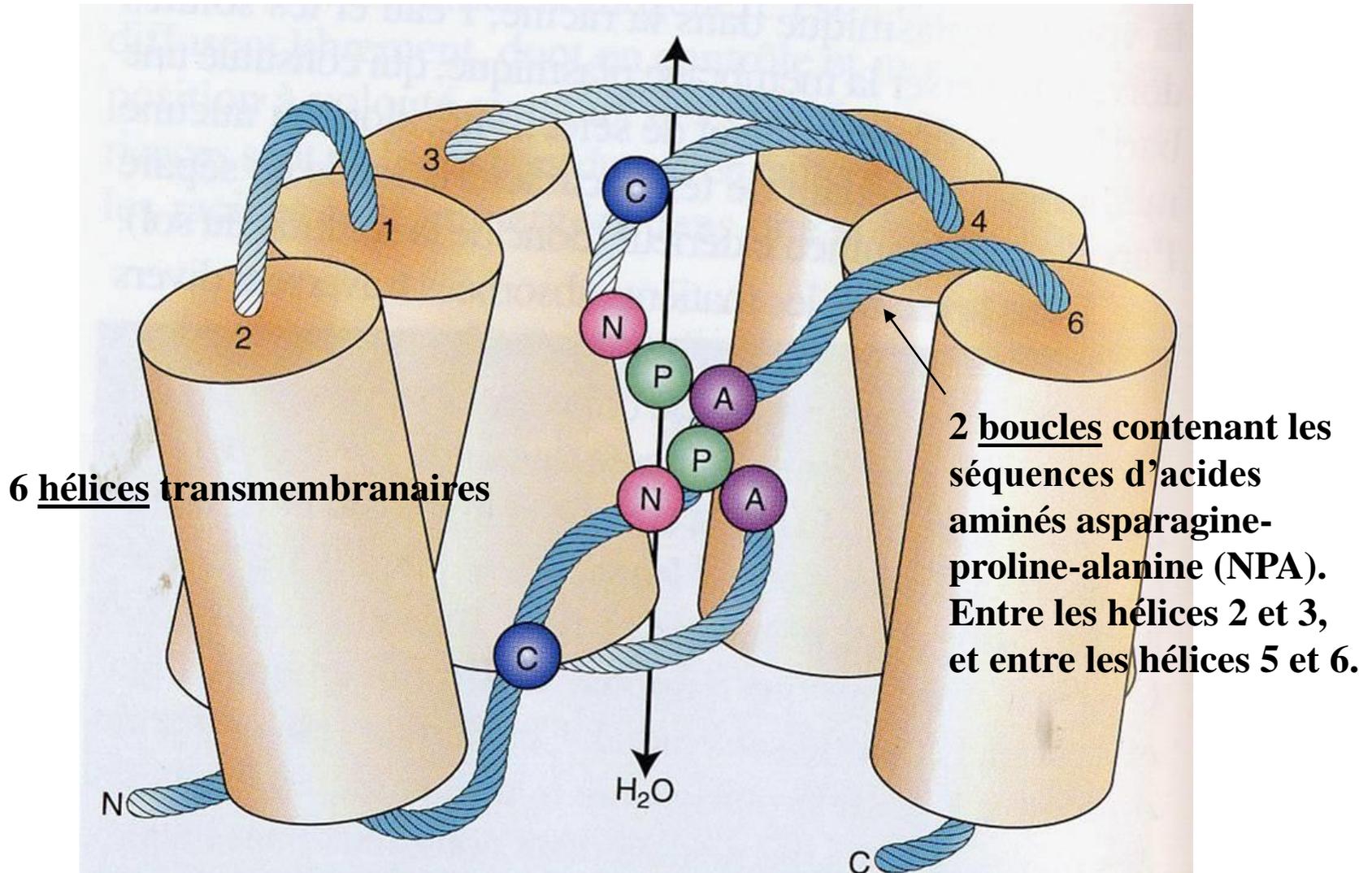
Surface d'échange optimale

# L'Osmose est l'un des modes de transport passif de l'eau



l'eau passe mais pas les solutés

## Aquaporines végétales



**Les 2 boucles NPA contribuent sans doute à la formation d'un pore par lequel les molécules d'eau circulent.**

# Prélèvement des éléments minéraux dans la solution du sol

La composition de la matière végétale permet d'estimer l'importance relative des besoins en EM.

**C, O et H** = plus de 90 % de la matière végétale.

**N, K** et dans une moindre mesure **Ca** = principaux constituants minéraux des végétaux (1 à 5 % de la matière sèche).

Leurs vitesses d'absorption sont de qqes mg / g racine fraîche / J.

**P, Mg et S** représentent généralement moins de 1 % de la matière sèche.

**Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo** indispensables aux végétaux bien que leurs teneurs soient très faibles.

◆ Ces différences de besoin en chacun des éléments minéraux (et de vitesse d'absorption) impliquent des **processus sélectifs**.

## Exsudation de substances organiques

Les **rhizodépôts** sont, selon les espèces et les conditions de milieu, de quelques à 20 % de la production photo-synthétique de la plante :

**Polysaccharides** principalement, **acides organiques** et **aminés, protéines**.

Rôles variables dans les processus de mobilisation des EM :

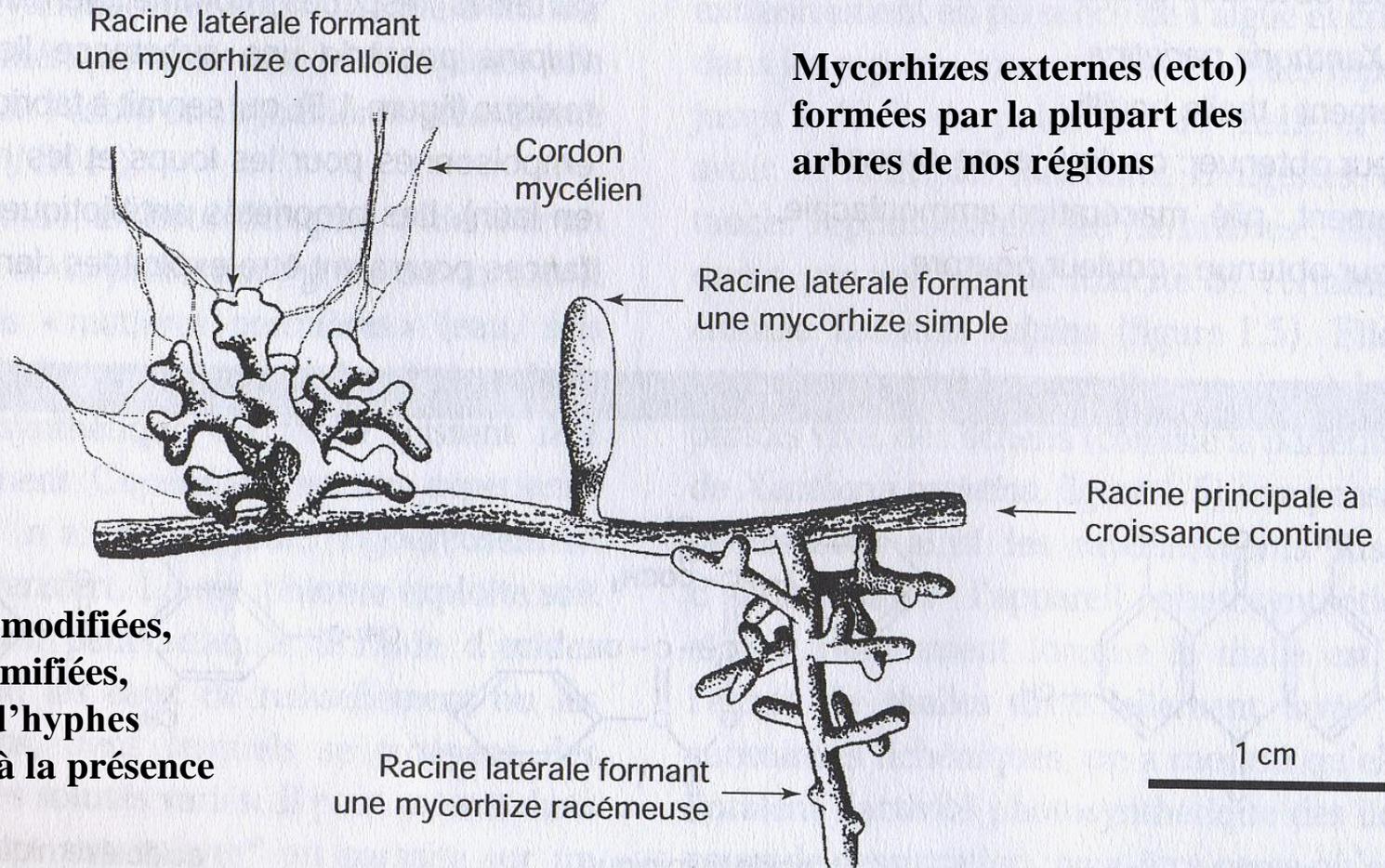
### Action spécifique :

- Phosphatases / composés phosphatés organiques
- Sidérophores / Fe.

### Molécules polyvalentes :

- acides oxalique ou citrique, puissants complexants des cations métalliques.

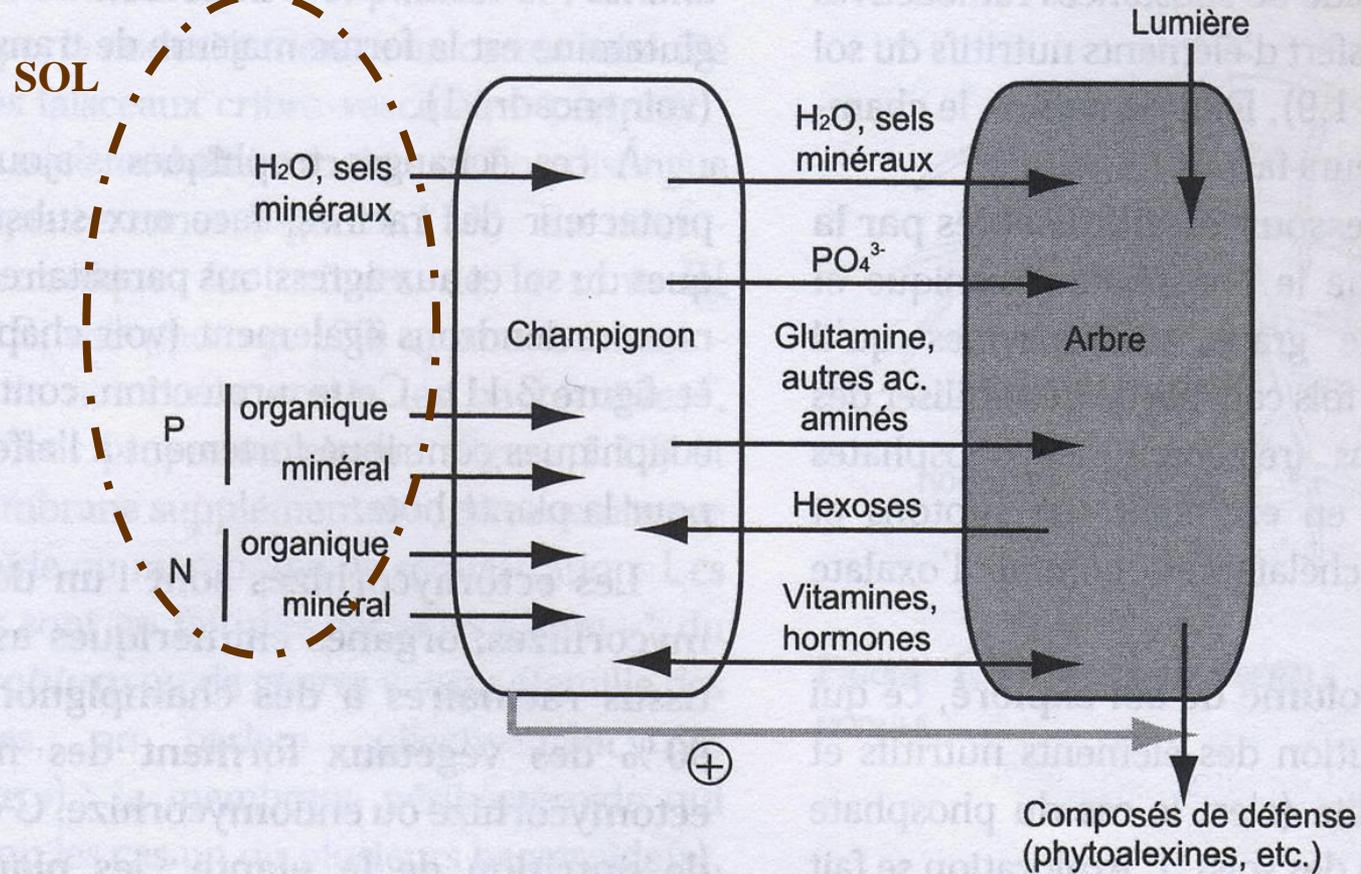
# Allure de différentes ectomycorhizes



**Racines latérales modifiées, anormalement ramifiées, parfois feutrage d'hyphes et coloration liée à la présence du champignon**

**Les mycorhizes sont courantes : la nutrition de la plupart des plantes est réalisée avec l'aide de champignons, dont la présence supprime les poils absorbants.**

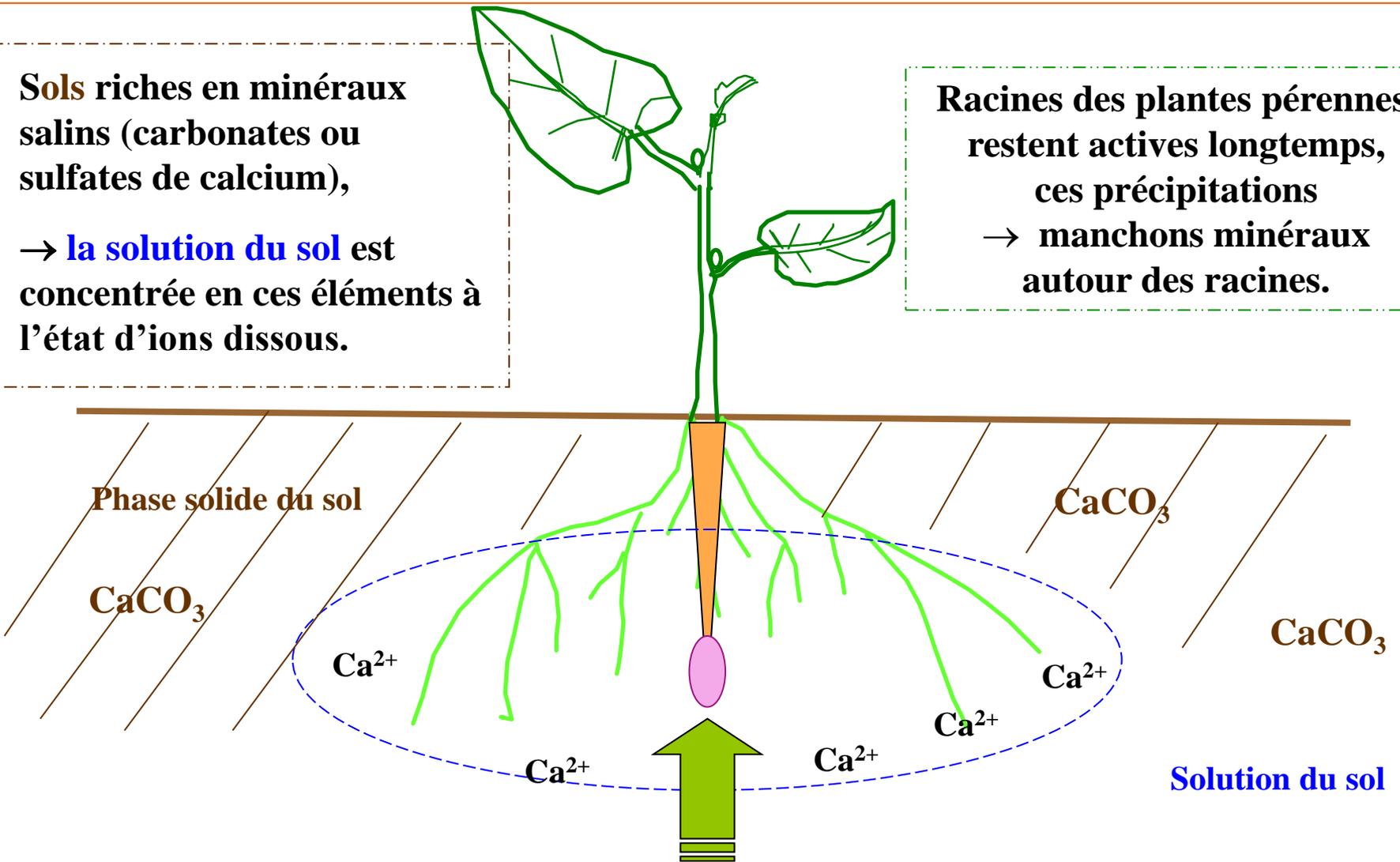
# Echanges entre partenaires d'une ectomycorhize



**On ne sait pas encore obtenir sans arbre,  
de Truffes, de Girolles ou de Cèpes car toutes ces espèces sont ectomycorhiziennes.**

**Sols riches en minéraux salins (carbonates ou sulfates de calcium),**  
→ **la solution du sol** est concentrée en ces éléments à l'état d'ions dissous.

**Racines des plantes pérennes, restent actives longtemps,**  
→ **manchons minéraux autour des racines.**



**Ca<sup>2+</sup> absorbées par les racines < Ca<sup>2+</sup> disponibles :**  
**Ca<sup>2+</sup> entraînés par le flux convectif,**  
**s'accumulent au voisinage des racines**  
→ **immobilisation par précipitation**

Le prélèvement des EM par les racines **modifie le pH** de la solution au voisinage des racines.

Le prélèvement de cations ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ) par les racines, s'accompagne d'un transfert de charges ayant pour effet de compenser le déséquilibre électrique induit.

L'étude physiologique des processus d'absorption racinaire a montré que les racines prélèvent les ions en solution par échange ionique :

- les racines excrètent activement des protons  $H^+$  dans la solution du sol,
- le gradient électrochimique ainsi créé à travers leur membrane plasmique est à l'origine de l'entrée par diffusion des cations dans les cellules.

**Ce mécanisme est appelé « pompe à protons »**

**Le prélèvement de plus d'équivalents cations que d'anions, est compensé par l'excrétion de son équivalent sous forme de protons, il y a acidification de la solution.**

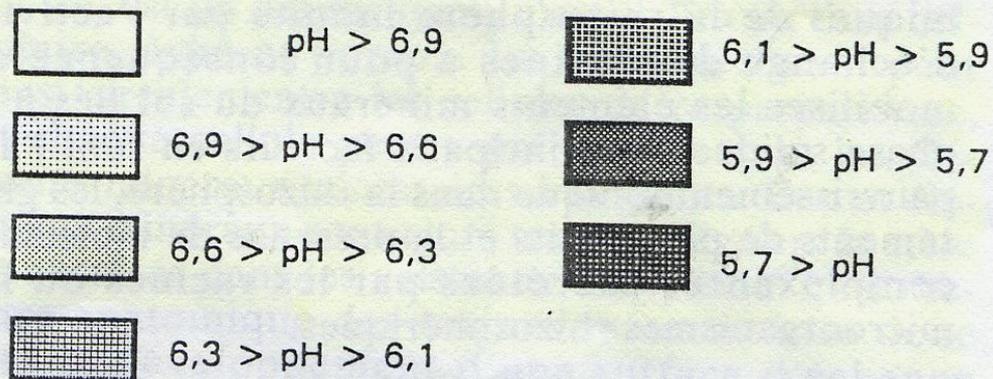
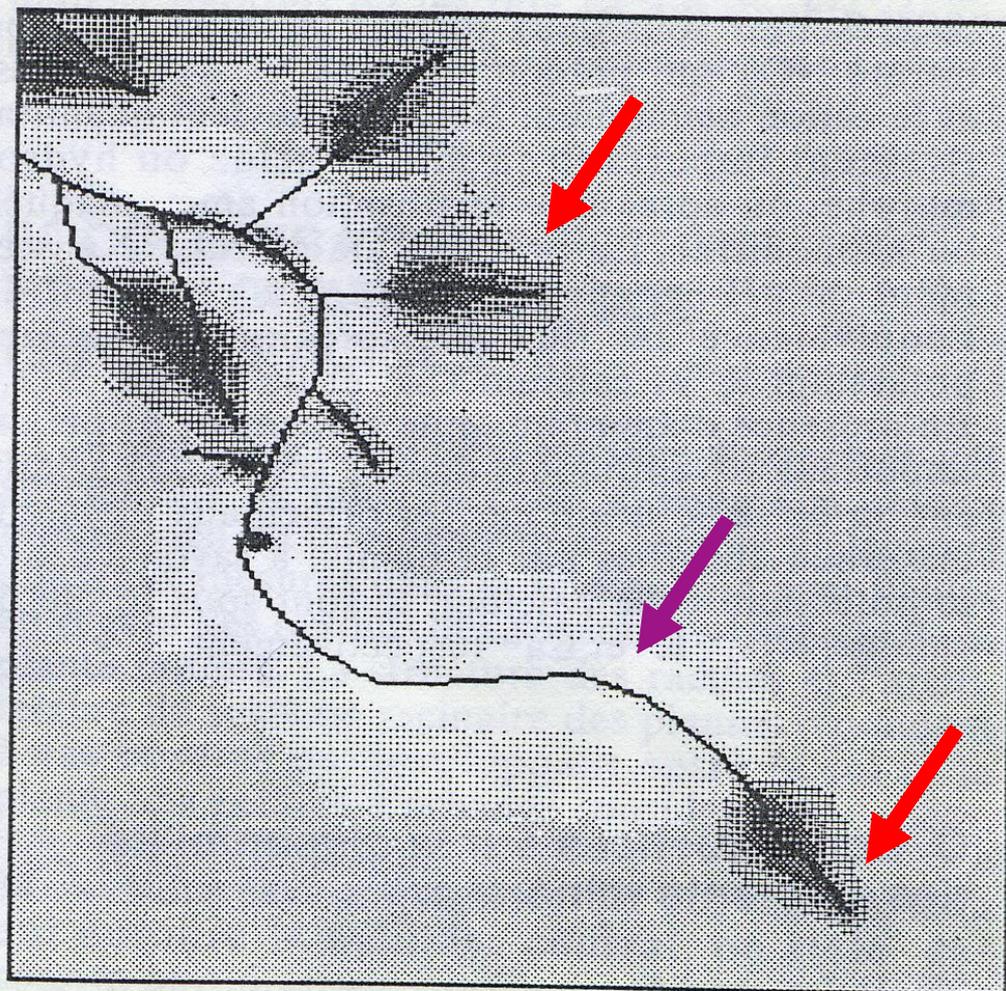
**Dans le cas inverse, il y a alcalinisation de la solution.**

## Carte du pH dans la rhizosphère d'une racine de colza carencée en P.

Dans les conditions de culture,  
les apex **acidifient le milieu**,  
les parties basales l'**alcalinisent**.

(Carte obtenue par analyse  
vidéospectrodensitométrie d'un  
indicateur coloré à pH, inclus dans  
le milieu de culture)

(Ruiz, 1992)



**Photographie des empreintes en creux de racines développées au contact d'une plaque de calcaire.**

**Modifications induites par l'activité d'échange des racines**



**Mobilisation des EM,  
Dissolution de certains constituants.**

**Empreintes en creux :  
acidification du milieu par les racines  
→ dissolution  $\text{CaCO}_3$  rhizosphérique**



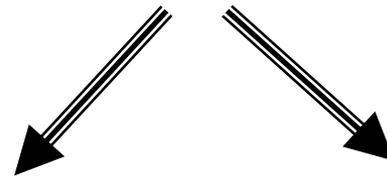
## $\Delta$ pH rhizosphérique :

- conséquence de l'activité d'échange et non fonction déterminée,
- effets sur la dynamique des EM, pas toujours bénéfiques pour la plante.

### Al toxique pour les végétaux

$[Al]_{\text{solution}}$  significative si  $\text{pH} < 4,5$

Résistance du blé à Al  $\leftrightarrow$  faculté d'absorber  $\pm$  de nitrate,  
et donc à induire  $\Delta$ pH.



Cultivars sensibles : absorption  $K^+ > NO_3^-$   
 $\downarrow$  pH rhizosphérique et mobilisation Al

Cultivars résistants :  
alcalinisation,  
immobilisation Al du sol.

La phytodisponibilité des ET est corrélée à la **concentration d'espèces ioniques dans la solution du sol** (Kabata-Pendias & Pendias, 1992).

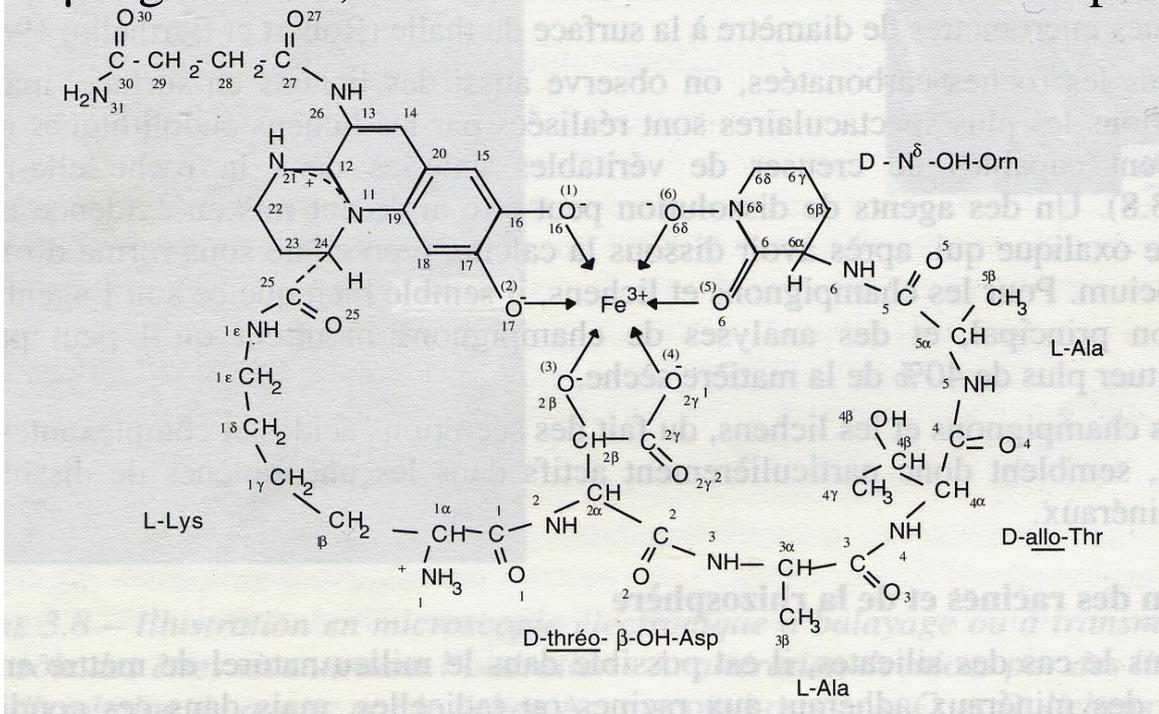
Le transfert de l'ET peut être passif (diffusion) ou actif (faisant appel à des transporteurs comme les enzymes).

Espèces métalliques	Phytodisponibilité
Cations libres ou complexés dans la phase liquide	Facilement disponibles
Cations échangeables dans les complexes organiques ou inorganiques	Moyennement disponibles
Cations chélatés	Peu disponibles
Composés métalliques précipités sur les particules du sol	Disponibles après dissolution
Métaux liés aux substances organiques	Disponibles après décomposition
Métaux liés ou fixés aux particules minérales (dans la structure des minéraux primaires ou secondaires)	Disponibles après altération et/ou décomposition

# Action de la plante sur le sol; zone rhizosphérique

◆ La croissance du végétal induit des flux d'eau et de solutés à la surface des racines, **modifiant la composition de la solution du sol**.

Les racines excrètent des **exsudats** ( $H^+$ , ligands et acides organiques, enzymes,  $CO_2$ , **phytosidérophores**, etc.) qui varient avec l'espèce, variété, association/ $\mu$ organismes, les conditions de croissance de la plante.



◆ **Rhizosphère** : zone du sol qui entoure la racine et qui est influencée par celle-ci. Lieu d'échange sol-racines- $\mu$ organismes (prélèvement racinaire d'eau et minéraux, respiration des racines et libération d'exsudats).

## **C) Exemples: viticulture et phytoremédiation des sols**

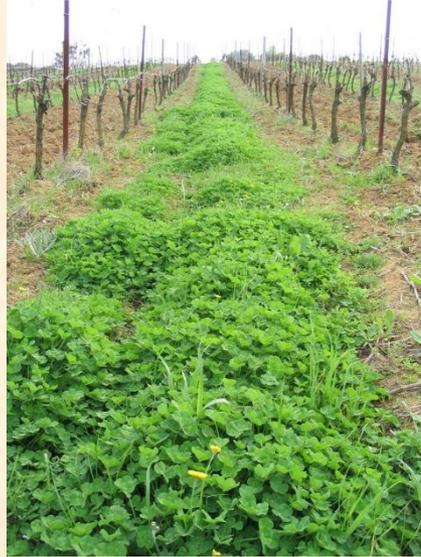


# Les engrais verts en viticulture

TECHN'ITAB  
viticulture

On peut définir un engrais vert comme toute plante cultivée pour augmenter la fertilité du sol et non pour être récoltée. La culture d'engrais verts est une pratique ancestrale et connue de tous ; elle est utilisée dans de nombreux systèmes de culture (rotations à base de céréales, maraîchage, élevage...). Les aspects techniques à mettre en œuvre sont cependant délicats et doivent être réfléchis si on veut bénéficier des effets positifs attendus au niveau du sol. En viticulture, cette pratique encore peu étudiée peut s'avérer intéressante hors de la période végétative de la vigne ou bien pour gérer le repos du sol après un arrachage.

# Action sur la disponibilité des minéraux



- Minimise le lessivage des minéraux
- Légumineuse: fixation de l'azote atmosphérique
- Crucifères: transforment minéraux insoluble en minéraux assimilables.



# Exemple de mélange d'engrais verts: application visite Gaillac

## Situation du vignoble:

- Sol calcaire
- Problème de sécheresse
- Carence en potasse

## Entretien:

- Enherbement 1rang sur 4 (ray grass)
- Engrais foliaire: azote- soufre

**PROPOSITION:** semer un mélange d'engrais verts en automne sur tous les inter-rangs , le broyer au début du printemps.

Graminé  
(Ray grass italien)

- Enracinement profond: effet sur la structure du sol.
- Croissance rapide

Legumineuse  
(Trèfle)

- Besoin d'azote en avril pour la pousse du printemps.

Crucifere  
(Moutarde blanche)

- Apporte l'azote secrété par la légumineuse
- Extrait le potassium des minéraux silicatés du sol.



**ITAB** : 149, rue de Bercy  
75595 PARIS CEDEX 12  
Tél : 01 40 04 50 64 - Fax : 01 40 04 50 66  
eMail : [itab@itab.asso.fr](mailto:itab@itab.asso.fr)  
[www.itab.asso.fr](http://www.itab.asso.fr)

**Rédacteurs principaux** : Florent Boutin (Chambre d'Agriculture de Vaucluse), Eric L'Helgoualch (Chambre d'Agriculture de Vaucluse), Nathalie Goma-Fortin (Chambre d'Agriculture de l'Hérault). **Relecteurs** : Eric Chantelot (ITV), Marc Chauvelon (GRAB), Richard Doughty (Vigneron en Bergeracois), Olivier Durand (Vigneron en Languedoc), Monique Jonis (ITAB), Hervé Joulain (GDDV 49), Alain Réaut (Vigneron en Champagne)

## Structure du sol

L'action mécanique des racines de l'engrais vert permet le décompactage biologique et l'ameublissement du sol de l'inter-rang sur une certaine profondeur (jusqu'à 1,5 m de profondeur). La pénétration de l'eau et de l'air est améliorée. Les exsudats racinaires ainsi que les microorganismes de la rhizosphère contribuent à une stabilité plus importante des particules de terre. A noter aussi le pouvoir agrégeant des substances pré-humiques libérées lors de la décomposition de l'engrais vert.

## **Fertilité minérale : facilitation de la disponibilité en éléments nutritifs**

Certains engrais verts utilisent les éléments minéraux sous forme insoluble alors qu'ils sont inutilisables tel quel par la vigne. C'est le cas par exemple des Crucifères avec la potasse. Lors de la destruction de l'engrais vert, ces éléments accumulés dans la plante sont ainsi restitués à la vigne sous forme assimilable. Cela peut représenter des quantités non négligeables (racines + parties aériennes). Les éléments ainsi stockés, durant l'hiver notamment, ne sont pas lessivés par les pluies et seront restitués ultérieurement lorsque la vigne en végétation sera susceptible de les utiliser.

Les Légumineuses (vesce, trèfle, luzerne, féverole...) peuvent enrichir le sol en azote (fixation symbiotique de l'azote atmosphérique) si le temps de culture est suffisant pour leur permettre de former des nodules fixateurs (50 jours environ).

## **Activité biologique et matière organique**

Pendant leur développement et surtout après enfouissement, les engrais verts stimulent l'activité biologique du sol. Cette stimulation est en général rapide et intense en raison de la fermentescibilité importante de ces végétaux. La formation de composés pré-humiques et humiques est faible mais elle dépend fortement du type d'engrais vert et de son âge lors de la destruction.

L'humus formé est jeune et très actif. Les quantités d'humus ainsi formées permettent d'entretenir le taux de matière organique du sol, mais sont souvent insuffisantes pour le faire remonter.

FAMILLE	NOM	EFFETS ATTENDUS			COMPORTEMENT			
		Restructuration du sol	Piège à nitrate	Lutte contre les adventices	Croissance	Repousses	Sensibilité au gel	Résistance à la sécheresse
POACÉES (= graminées)	Ray-grass italien ( <i>Lolium multiflorum</i> )	++	+	++	++	+++	-	+
	Ray-grass anglais ( <i>Lolium perenne</i> )	++	+	++	+++	++	-	-
	Seigle ( <i>Secale cereale</i> )	+++		+	0	+++	-	+
BRASSICACÉES (= Crucifères)	Moutarde blanche ( <i>Sinapis alba</i> )	++	++	+	+++	0	++ (-5°C)	
	Navette fourragère ( <i>Brassica rapa oleifera</i> )	++	++		+++	+++	+	
	Radis fourrager ( <i>Raphanus sativus</i> )	++	++	++	++	++	--(-10°C)	++
	Colza fourrager ( <i>Brassica napus</i> )	++	++	+	++	++		--
PAPILLONACÉES (fait partie des Légumineuses)	Vesce commune ( <i>Vicia sativa</i> )			++	++	0	+	-
	Trèfle incarnat ( <i>Trifolium incarnatum</i> )	+					++	
	Trèfle violet ( <i>Trifolium pratense</i> )	+			0	+++	++	-
	Féverole ( <i>Vicia faba</i> )	++		- <small>si semée seule</small>	++		++	-
HYDROPHYLLACÉES	Phacélie ( <i>Phacelia tanacetifolia</i> )	++	++	+	++	0	+	++
POLYGONACÉES	Sarrasin ( <i>Polygonum fagopyrum</i> )	++		+++	+++	++	++	-
CHÉNOPODIACÉES	Epinard ( <i>Spinacia oleracea</i> )		++		++		++	

Adapté de "Les engrais verts en cultures légumières (synthèse bibliographique)" - Corinne Vantalou - APREL - Novembre 2000  
Pas d'action : 0 / Action intéressante : + / Action efficace : ++ / Action très efficace : +++

## La végétation en place

La végétation spontanée présente sur la parcelle peut jouer le rôle d'un engrais vert. Selon l'objectif recherché par le vigneron, elle peut être suffisante. Des plantes comme la ravenelle (*Raphanus raphanistrum*) ou la fausse-roquette (*Diplotaxis eruroides*), de la famille des Crucifères, pourront avoir le même effet qu'un semis de moutarde blanche par exemple. Un couvert assez homogène de graminées spontanées telles que le ray-grass (*Lolium sp.*) ou le pâturin (*Poa annua*) se comportera comme les espèces de la même famille.

## Les mélanges d'engrais verts

Certains auteurs (J. POUSSET) classent les familles d'engrais verts selon leur aptitude à fournir du carbone ("lent" ou "rapide") et de l'azote. Le carbone "lent" correspond aux matières riches en cellulose et lignine (ex : paille). Le carbone "rapide" est associé aux sucres, facilement dégradables.

Le fonctionnement microbien est stimulé lors de la restitution d'un engrais vert au sol. Les microorganismes ont alors besoin d'un rapport équilibré entre l'azote et les deux types de carbone.

Lorsqu'une céréale à paille est enfouie, les microorganismes ont parfois du mal à dégrader la cellulose et la lignine et prélèvent donc l'azote présent dans le sol pour y arriver, en privant ainsi la culture ; c'est la "faim d'azote" qui se traduit par un appauvrissement en cet élément. En viticulture, ce peut être préjudiciable principalement lorsque les réserves azotées du sol sont faibles.

Il apparaît donc comme souhaitable de mélanger les familles d'engrais verts : les céréales fournissent le carbone lent (cellulose et lignine) ; les Graminées prairiales et les Crucifères apportent le carbone rapide (les sucres) et les Légumineuses amènent l'azote.

**Diverses associations sont possibles en fonction du sol et du climat :**

trèfle violet/ ray-grass d'Italie, seigle/vesce, seigle/navette fourragère, moutarde blanche/vesce ...

Les dosages sont variables selon les utilisateurs et devront être choisis en fonction des caractéristiques recherchées. Certains semenciers proposent eux-mêmes des mélanges.

## Quelques exemples d'associations

Trèfle incarnat/

Ray-grass d'Italie > 10 et 15 kg/ha

Sarrasin/Moutarde blanche > 20 et 8 kg/ha

Vesce/Ray-grass d'Italie > 60 et 10 kg/ha

Vesce/Radis fourrager > 60 et 10 kg/ha

Mélange commercial (Jouffray-Drillaud) :

Seigle/Vesce > 30 à 35 kg/ha

**Attention : 1 ha de vigne = 50 à 75 ares d'engrais vert semés**