

4. Les amendements organiques

Un sol prend naissance dès lors que la matière issue de la mort des êtres vivants (végétale et animale) vient s'incorporer au sol et se mélangeant aux substances minérales. Ils représentent alors les constituants **organiques** (Soltner, 2000). La matière organique subit dans les sols une série de transformations qui la font se **décomposer**, se **transformer** en humus, puis se **minéraliser**, sous l'action des micro-organismes et sous l'influence du milieu. Apporter ou restituer de la matière organique au sol constitue à la fois un "**amendement**" pour le sol et un apport alimentaire pour la plante. Elle joue également un rôle très important sur l'activité biologique du sol (notamment sur les microorganismes).

4.1. Rôles de la matière organique dans la fertilité du sol

Les matières organiques jouent un rôle important dans le fonctionnement global du sol au travers de ses composantes physiques, biologiques et chimiques, qui ont des conséquences majeures pour la fertilité des sols.

a. Action sur les propriétés physiques du sol

L'humus permet d'obtenir la structure grumeleuse dans les sols légers aussi bien que dans les sols lourds

L'humus permet le maintien de la stabilité structurale. La stabilité structurale est l'aptitude du sol à résister à la dégradation de leurs propriétés structurales lorsqu'agissent les agents destructeurs de cette structure.

L'humus améliore la capacité de rétention de l'eau dans les sols ce qui permet une meilleure alimentation hydrique des plantes.

Amélioration de l'aération par la structuration du sol, ce qui favorise la pénétration de l'eau et limite l'érosion du sol.

Augmentation de la température du sol, par un meilleur drainage et par la coloration foncée de la matière organique en cours d'humification.

b. Action sur les propriétés chimiques du sol

Augmentation de la capacité d'échange des sols. La capacité d'échange de l'humus est plus élevée que celle de l'argile. Ceci assure le stockage et une bonne disponibilité des minéraux.

Contribution à la nutrition des plantes par :

- La décomposition très rapide des matières organiques fraîches peu lignifiées ;
- La minéralisation lente de l'humus stable.

Maintien dans le sol d'un pH légèrement acide favorable à l'assimilation des éléments minéraux.

Maintien du phosphore sous forme assimilable grâce à la formation de complexes phospho-humiques, malgré la présence de calcaire libre ou de fer libre.

Diminution de la rétrogradation du potassium.

Une meilleure utilisation des engrais minéraux grâce à l'amélioration de la pénétration des minéraux à travers la membrane cellulaire des racelles.

c. Action sur les propriétés biologiques

La vie de la faune et de la flore des sols dépend de la présence de matière organique jeune ; l'humus stable est moins favorable à leur prolifération. Par contre l'humus améliore les conditions de vie pour la plante et lui permet de produire davantage, grâce à la libération de différents types d'agents actifs, des substances de croissance, des inhibiteurs de croissance et des substances améliorant la résistance des plantes.

4.2. L'humification, la minéralisation de l'humus et le bilan humique

4.2.1. L'humification

L'humus peut être défini comme un composé organique amorphe, sombre, cohésif et hydrophile, avec un poids moléculaire compris entre 500 et 300 000 daltons (Rosell, 1993). Sans humus, on ne pourrait pas parler de « sol » mais uniquement de « terre ». L'humus est insoluble dans les acides, les alcools et les bases du sol ce qui le rend plus résistant à la biodégradation, il a aussi la faculté de s'assembler avec les argiles par un pont cationique avec un haut potentiel électrique, ce qui favorise la stabilité de l'humus.

La formation de l'humus, ou humification, consiste en des recombinaisons et polymérisations de molécules organiques plus ou moins complexes pour aboutir à des substances nouvelles à très grosses molécules, **l'humus stable**.

La quantité et la nature de l'humus stable formé dépendent des matières premières (débris végétaux...) et des conditions du milieu (aération, humidité, acidité, température,...). L'humification résulte de processus biologiques mais est aussi due à des agents physiques et à des réactions chimiques :

- Fixation d'azote, l'humus contient environ 5% de l'azote total du sol ;
- Oxydations (fixations d'O₂) si l'aération est suffisante ;
- Polymérisations qui amènent à l'humus stable.

4.2.2. La minéralisation de la matière organique

La minéralisation consiste en une dégradation des matières organiques par des simplifications moléculaires successives, conduisant à la formation de composés minéraux simples. Les minéralisations **primaire** et **secondaire** aboutissent à la restitution d'éléments minéraux : azote (NH₄⁺, NO₃⁻), phosphore (PO₄³⁻), soufre (SO₄²⁻), acides (H⁺), bases (OH⁻), cations (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺), eau, CO₂. La majorité des ions nutritifs libérés par la minéralisation dans la solution du sol est adsorbée sur le complexe argilo-humique.

La minéralisation primaire est l'ensemble des réactions transformant la matière organique fraîche et les produits transitoires en éléments minéraux simples. La matière organique est directement minéralisée, il n'y a pas humification.

La minéralisation de l'humus appelée **minéralisation secondaire** est un phénomène très lent qui aboutit à la libération d'éléments minéraux nutritifs utilisables par la plante. C'est un phénomène très lent où environ 1.5 à 2% de l'humus total est minéralisé par an.

La proportion du stock total d'humus minéralisé (détruit), au cours d'une année est donné par un **coefficient de minéralisation**, désigné par **K₂**. Ce coefficient K₂ varie de 1 à 2 % dans les sols normaux des régions tempérées, mais peut être beaucoup plus élevé dans certaines conditions de températures et d'humidité élevées au niveau du sol.

La quantité d'humus minéralisé (Mh) par an : $Mh = k_2 * \text{masse d'azote organique}$

K_2 : coefficient de minéralisation de l'humus (1,5 à 2%).

4.2.3. Le bilan humique

La quantité d'humus fournie varie suivant le type de matières organiques enfouies. On utilise le rapport C/N pour caractériser la quantité potentiel à fournir pour chaque type de matière organique (tableau 11).

Les matières organiques animales (muscle, graisse, sang...) ne contiennent pas de lignine, donc ne produisent pas d'humus, par contre elles produisent de l'azote.

Les matières à **C/N faibles** produisent peu d'humus, mais leur décomposition et la libération de l'azote qu'elles contiennent sont rapides.

Les matières à **C/N fort**, compris entre 15 et 30 par exemple, permettent une bonne humification, les micro-organismes trouvent suffisamment d'azote dans les matières organiques enfouies

Les matières à **C/N très élevé**, supérieur à 30, sont capables de donner de très fortes quantités d'humus, à condition que les micro-organismes puissent trouver ailleurs un complément d'azote minéral (préexistant dans le sol ou apporté par une fumure minérale).

Le **coefficient iso-humique K_1** est l'expression de la quantité d'humus formée en fonction de la quantité de matière sèche du produit organique apportée au sol.

$$K_1 = QH/MS$$

- QH = quantité d'humus générée par le produit par an
- MS = quantité de matière sèche du produit apportée par an

Tableau 11 : Valeurs indicatives de quelques caractéristiques de matières organiques utilisées en agriculture

Matière organique	C/N	Matière sèche	K1	Quantité d'humus
Pailles et chaumes de céréales	80-100	90%		
Sans engrais azotés			0.11	100 kg/t
Avec engrais azotés			0.22	200 kg/t
Luzerne (2 à 3 ans)		24%	0.25	
Engrais verts jeune	10	15%	0.10	15 kg/t
Prairie (vielle)		22%		20 kg/t
Fumier bien décomposé	20-25	20%	0.50	100 kg/t
Fumier pailleux	30	25%	0.30	75 kg/t

(Source : Falisse & Lambert ,1995)

Le bilan humique nous permet de savoir quelle quantité de matière organique apporter pour permettre de renouveler l'humus minéralisé.

La variation de la quantité d'humus dans un sol sur un intervalle de temps est la différence entre la quantité d'humus formé par humification à partir des matières organiques fraîches (k_1 : coefficient isohumique) et celle détruite par minéralisation de l'humus ou déshumification (k_2 : coefficient de minéralisation).

La quantité de matières organiques à apporter au sol est :

La quantité d'humus présente dans le sol x (k_2/k_1)

4.3. Principaux amendements organiques

Dans un sol cultivé, entre 300 et 1000 kg d'humus sont détruits chaque année par la minéralisation. Simultanément, la matière organique jeune disparaît du fait de prélèvements par les plantes ou de formation d'humus stable. Afin de maintenir le "statut" organique et humique du sol, l'agriculteur dispose essentiellement des ressources suivantes :

4.3.1. Le fumier de ferme

Le fumier est constitué par un mélange de litière et de déjections animales ayant subi des fermentations plus ou moins poussées en étable et en tas. La composition des fumiers est très variable puisqu'elle dépend du type d'élevage, de la durée d'élevage...etc.

Le coefficient isohumique k_1 du fumier est compris entre 25 et 50% de matière sèche. Une tonne de fumier frais donne 65 kg d'humus s'il s'agit de fumier pailleux ($k_1=25\%$) et 100 kg s'il s'agit de fumier bien décomposé ($k_2=50\%$).

4.3.2. Les pailles de céréales enfouies

Leur rapport C/N est très élevé, compris entre 80 et 120. Elles permettent de limiter les pertes hivernales d'azote minéral en excès par lessivage. Leur dégradation est lente et nécessite une quantité importante d'azote. Elles donnent peu d'humus : 1 ha de pailles enfouies donne 300 à 350 kg d'humus. Le coefficient isohumique k_1 en % de matière sèche enfouie est compris entre 15 et 30%

4.3.3. Les engrais verts

Les engrais verts sont mis en place pour produire une masse de matière végétale à enfouir sur place (légumineuses, crucifères ou graminées telles que le ray-grass). Les engrais verts sont riches en sucres solubles et en azote. Leur décomposition rapide donne beaucoup de produits transitoires et de corps microbiens qui disparaissent rapidement. Leur action sur la stabilité structurale est brève car ils apportent peu d'humus stable au sol : 200 à 600 kg/ha. Le coefficient isohumique k_1 des engrais verts enfouis jeunes est compris entre 5 et 10%.

5. Les amendements minéraux

L'amendement, a pour rôle d'améliorer les propriétés physico-chimiques du sol, en particulier l'état ionique de la solution du sol et du complexe argilo-humique. Il provoque comme modification principale l'augmentation du pH ainsi que celle des teneurs en calcium et en magnésium des sols. Le produit amendement doit libérer des ions capables :

- de s'échanger avec les protons H^+ trop nombreux sur le complexe adsorbant ;
- de neutraliser une partie des protons H^+ libres dans la solution ;
- d'assurer la floculation des argiles.

Seuls les cations Ca^{2+} et Mg^{2+} sont capables de remplir ces fonctions.

5.1. Amélioration des propriétés physiques des sols

En se fixant sur les colloïdes électronégatifs argileux, les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} augmentent la floculation des colloïdes (argile et humus). Le calcium rend les sols plus meubles et plus stables en favorisant l'humification et la formation du complexe argilo-humique. La structure devient grumeleuse, perméable à l'air et à l'eau, et la stabilité structurale augmente ; il favorise par conséquent la porosité, donc l'économie en eau et l'aération ; le travail du sol et sa colonisation par les racines deviennent faciles.

5.2. Amélioration des propriétés chimiques des sols

Le pH est étroitement lié avec le nombre d'ions calcium adsorbés sur le complexe argilo-humique. Ainsi, un apport d'ions calcium modifie le pH du sol en l'augmentant. Les ions Ca^{2+} prennent la place des ions H^+ sur le complexe argilo-humique, le calcium neutralise l'acidité potentielle du sol et le pH s'élève. L'absorption racinaire est alors améliorée. Le calcium a la faculté de maintenir le pH du sol dans des limites favorables à l'activité biologique, à la vie et à la croissance de la plante, à l'assimilabilité des ions nutritifs. En effet, les éléments nutritifs sont difficilement absorbables, voire inassimilables pour certains pH. Par exemple :

En dessous de pH 5 : P, K, N, Ca, Mg, S, Mo sont difficilement absorbés ;

Au-dessus de pH 7 : P cristallise ; Fe, Mn et Bo sont bloqués.

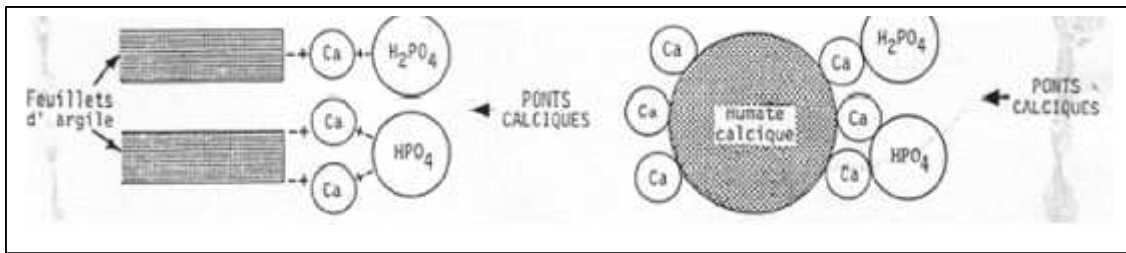


Figure 7 : Fixation des ions phosphoriques sur l'argile et l'humus par l'intermédiaire du calcium

Les ions calcium adsorbés sur le complexe argilo-humique peuvent être échangés (après fertilisation) contre d'autres cations en particulier (K^+ , NH_4^+) qui sont alors facilement adsorbés. Le calcium permet aussi la fixation réversible du phosphore. Les ions $H_2PO_4^-$ et HPO_4^{2-} sont retenus sur le complexe par l'intermédiaire du calcium fixe sur les particules du sol (pont calcique), puis rendus disponibles facilement pour les plantes.

5.3. Effets sur les propriétés biologiques

En assurant le maintien du pH proche de la neutralité et la bonne aération du sol grâce au maintien d'une structure favorable, Le calcium et le magnésium rendent le milieu favorable aux micro-organismes du sol, agents de la décomposition des matières organiques, de l'humification, de la minéralisation, de la fixation symbiotique, utilisation de l'azote atmosphérique par les bactéries symbiotiques ou libres.

5.4. Description des amendements

Chimiquement on peut classer ces produits en deux grandes catégories :

- Les chaux vives (CaO et MgO) : Il s'agit essentiellement de chaux vive (CaO) avec plus de 80 % de CaO ; de chaux éteinte ($Ca(OH)_2$) avec de 50 à 70 % de CaO ; de cendres de chaux ; de chaux magnésienne (dolomies) avec au moins 10 % de MgO .
- Les chaux hydratées ($Ca(OH)_2$, $Mg(OH)_2$) et les carbonates ou produits crus ($CaCO_3$ et $MgCO_3$) ; Il s'agit essentiellement des calcaires broyés (58 % de CaO), des craies (environ 50 % CaO)

5.5. Conditions d'application

a. Epandage - Enfouissement

Il est possible d'épandre un amendement à toute époque de l'année

- Après une coupe
- En couverture sur une culture
- Sur toute terre libérée par la récolte en sol nu

b. Modalités d'épandage

Selon le type d'amendement et la dose, il sera possible de l'épandre avec un épandeur à fumier ou un épandeur à engrais ou à la main.

L'enfouissement Il n'est pas nécessaire immédiatement et on préférera une façon superficielle à un labour profond : l'amendement sera mieux réparti dans la couche supérieure. Il migrera doucement dans la partie la plus profonde.

c. Calcul des doses à épandre

Avec un simple pH mètre, on peut réaliser des tests simples et rapides (méthodes FAO). On pèse des quantités connues de sol (homogénéisé et tamisé) auxquelles on ajoute de la chaux en quantité croissante (courbe de réponse) : correspondant par exemple à 1 - 2 - 4 - 6 - 8 t de CaO /ha. On trace la courbe de pH en fonction des dose

