

DÉCEMBRE 2020

Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

FERTISOLS.FR

POUR UNE GESTION OPTIMISÉE DE LA FERTILITÉ DES SOLS



Avec l'appui financier de :



SOMMAIRE

GÉNÉRALITÉS SUR LA FERTILITÉ

Le sol, de nombreux enjeux à préserver

Le sol, savoir le caractériser

La matière organique dans les sols

LA FERTILITÉ PHYSIQUE

L'eau dans le sol

Observer et qualifier la structure de son sol

Les leviers pour améliorer la structure de son sol

L'érosion hydrique des sols agricoles

LA FERTILITÉ BIOLOGIQUE

La vie biologique dans le sol

Les indicateurs de vie dans le sol

Les plantes bio-indicatrices

Couverts : choix et impacts sur la fertilité du sol

LA FERTILITÉ CHIMIQUE

Les leviers pour augmenter la matière organique

Analyses de terre, principales analyses

La gestion de l'acidité des sols

La fertilisation en Phosphore, Potasse et Magnésium

La fertilisation azotée, principe et pilotage

La fertilisation des prairies et cultures fourragères

Les produits résiduels organiques

La capacité d'échange cationique

GÉNÉRALITÉS SUR LA FERTILITÉ





Fertisols
 DIAGNOSTIQUER
 AMÉLIORER
 FORMER
 Auvergne-Rhône-Alpes

LE SOL, DE NOMBREUX ENJEUX À PRÉSERVER

Le sol est beaucoup plus que la surface sur laquelle nous évoluons : c'est un volume aux dimensions plus grandes que la couche de terre travaillée par le jardinier ou l'agriculteur. Pour le pédologue, le sol s'étend en profondeur de la surface jusqu'à la roche altérée. Sous nos climats tempérés, son épaisseur varie généralement de quelques décimètres à quelques mètres. Il recouvre de façon presque continue la surface des continents, seulement interrompu par les affleurements rocheux ou encore les cours d'eau. Il s'agit d'un milieu complexe qui organise entre elles des phases solides, liquides et gazeuses.

LE SOL, UN MILIEU D'AIR, D'EAU, DE MINÉRAUX ET D'ORGANIQUES

SOLIDES		LIQUIDES	GAZ
Minéraux	Organiques		
Désagrégation physique et altération biochimique des roches + transports (colluvions, alluvions, éolien...)	<ul style="list-style-type: none"> • Êtres vivants • Excréments • Exudats • Décomposition d'êtres vivants végétaux ou animaux 	Précipitations Ruissellements Nappes	Air atmosphérique Respiration biologique Décomposition de la matière organique Réactions chimiques

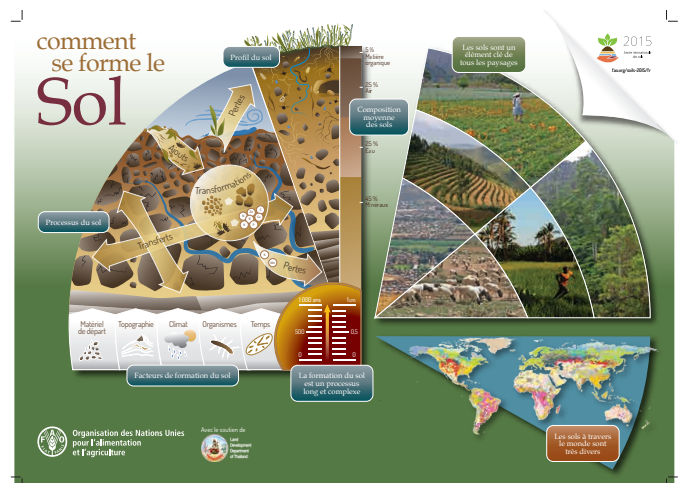


LE SOL, SA FORMATION

Un sol se forme à partir d'une roche mère, ou matériau parental, à partir de laquelle il se développe sous l'influence de **3 facteurs principaux** : la végétation, le climat et sa position topographique dans le paysage.

Sa formation, appelée **pédogenèse**, est longue : la plupart des sols cultivés se sont constitués sur une à plusieurs dizaines de milliers d'années et ils demeurent toujours en évolution.

L'infographie suivante réalisée par la FAO (Food and Agriculture Organization) permet d'avoir un bon aperçu des processus mis en jeu dans leur formation.



Source du schéma: FAO

Une multitude de types de sols



Sol caillouteux du Diluvium alpin



Colluviosol sur Molasse sableuse



Sol profond calcaire sur dépôt de loess récent



Vertisol organique plaine de Limagne

- sol profond et sain de limons développé sur dépôt de loess,
- sol fersiallitique (rouge) très profond sur cailloutis de galets roulés altérés (Hautes Terrasses de la Vallée du Rhône),
- sol caillouteux hydromorphe sur cailloutis (Plaine alluviale),
- sol de colluvion, très sableux, sur molasse sableuse (Drôme des Collines),
- sol vertique sur dépôts volcaniques (Plaine la Limagne),
- sol argilo-calcaire caillouteux sur roche calcaire,
- sol d'Arène granitique (massifs cristallins).

La diversité des climats, des roches et des végétations naturelles ont conduit à la formation de très nombreux types de sols.

Le sol est un milieu organisé en couches, ou horizons, plus ou moins faciles à distinguer à l'œil, dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à quelques décimètres.

Pour les observer, il est nécessaire de creuser des fosses communément appelées profils de sols.

Les horizons se distinguent principalement selon :

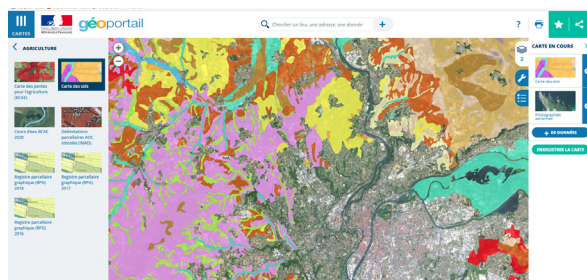
- **la couleur**, qui est influencée par les éléments constitutifs et la matière organique,
- **la texture**, qui caractérise le comportement physique d'un sol et qui peut être appréciée par un test tactile,
- **la structure**, qui est l'organisation en volume des constituants minéraux et organiques (mottes ou agrégats),
- **la teneur en éléments grossiers** : graviers, cailloux, pierres...,
- **la présence de calcaire et le pH**.

Ce sont les caractéristiques de ces horizons et leurs relations qui vont définir le type de sols. Ceux-ci peuvent être classés selon un référentiel qui rend compte de leurs principales propriétés et de leur stade d'évolution. Pour aider à identifier le bon type de sol, des méthodes plus ou moins simple existent.

La fiche « **I.02 caractériser son sol** » va nous permettre d'identifier les grandes caractéristiques de son sol.

● **Pour observer les sols à l'échelle du territoire : rien de plus simple que d'utiliser une carte.**

Depuis le début d'année 2020, les fonds cartographiques issus des Référentiels Régionaux Pédologique (RRP) terminés sont disponibles sur la plateforme [Géoportail.fr](https://geoportail.fr). A partir de l'onglet « agriculture » il suffit alors de sélectionner la couche « cartes des sols » et ensuite de cliquer sur l'unité cartographique de sol pour en avoir les détails.



Dans la poursuite des RRP, le projet Typterre a vu le jour afin d'établir des typologies de sols partagées par tous (organismes de développement, organismes économiques, chambres d'agriculture, instituts techniques, laboratoires...) sur l'ensemble du territoire national.

Ces typologies ont pour but :

- de rendre les outils de conseil et d'aide à la décision (OAD) en agronomie plus pertinents,
- de réaliser des synthèses territoriales et de produire des indicateurs de suivi et d'évaluation dans le domaine de la durabilité en valorisant des données de différentes origines,
- de permettre des échanges à des échelles très diverses dépassant des limites d'organismes ou de territoires.

LES FONCTIONS DU SOL

Le sol n'est pas qu'un support au déplacement et à la mise en culture. Il rend aussi de nombreux services à l'agriculture mais pas seulement. On parle de **fonctions du sol** ou de **services écosystémiques**.

Des fonctions comme la **purification et de stockage de l'eau** ou encore la **régulation du climat** concernent les sociétés dans leur ensemble. La préservation des sols est donc un enjeu essentiel et à grande échelle.



● Une action directe

Au total, **le sol stocke plus de carbone sur terre que la végétation qui le recouvre et l'atmosphère réunies**. Le stock est estimé à un minimum de 1500 milliards de tonnes dans la matière organique des sols mondiaux, soit plus de deux fois le carbone du CO₂ atmosphérique.

Sous certaines conditions, les sols sont en capacité de stocker davantage de carbone qu'ils n'en émettent et peuvent ainsi **réduire la teneur en CO₂ atmosphérique**.

Référence bibliographique : Rapport INRAe 4/1000 de juillet 2019.

● Une action indirecte

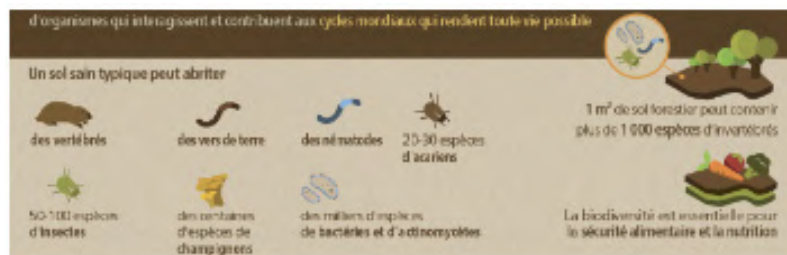
Améliorer les caractéristiques d'un sol peut permettre d'augmenter la résilience des systèmes agricoles par l'effet tampon vis-à-vis des conséquences du réchauffement climatique :

- moindre sensibilité aux épisodes de sécheresse par une meilleure porosité, une meilleure teneur en matières organique et donc une augmentation de la réserve utile en eau,
- diminution des écarts thermiques, températures élevées et des ETP par une couverture permanente du sol,
- moindre sensibilité aux pluies intenses (érosion, battance) par l'amélioration de la stabilité structurale et de la capacité d'infiltration.

LE SOL, RÉSERVOIR DE BIODIVERSITÉ

Le sol est un formidable réservoir de biodiversité à l'échelle du globe. En effet, ce sont près d'un quart de la biodiversité de notre planète qui se retrouve dans le sol, et ce sous différentes formes.

Les sols constituent l'un des écosystèmes les plus complexes de la nature, ils abritent une myriade d'organismes qui interagissent et contribuent aux cycles mondiaux qui rendent toute vie possible.



Source du schéma: FAO

A titre d'exemple, on dénombre dans notre région environ 25 espèces de vers de terre, et dans 1 g de sol, il y a 1 million d'espèces de bactéries et 10 000 espèces de champignons dont la plupart ne sont pas identifiées.

La vie dans le sol est aussi un acteur majeur de la fertilité des sols :

- action sur la fertilité physique : amélioration de la porosité et de la stabilité structurale,
- action sur la fertilité chimique : rôles majeurs dans le cycle des principaux éléments (C, N, P...),
- interaction entre organismes vivants : symbiose, prédation, régulation...

Pour plus de détails, voir la **fiche IV.01 la vie biologique dans le sol**

LE SOL, UN CAPITAL À PRÉSERVER

Du fait des nombreux services rendus par le sol et la lenteur de sa formation, **sa préservation est un enjeu majeur**. En effet, à l'échelle humaine, **le sol est une ressource non renouvelable**.

**Il faut environ 100 ans pour former 1 cm de sol en région tempérée
mais 1 an suffit à l'emporter par érosion.**

Or, les sols sont soumis à une pression accrue en raison de l'intensification de leur utilisation et de la concurrence entre les divers usages des terres – agriculture, foresterie, pâturages et urbanisation.

La croissance mondiale de la population devrait entraîner une augmentation de 60 pour 100 de la demande de denrées destinées à l'alimentation humaine et animale, et de fibres à l'horizon 2050. La dégradation des terres résulte de ces pressions, associées à des usages et des pratiques de gestion des terres non durables et des phénomènes climatiques extrêmes. Il est donc impératif de préserver les sols et d'encourager une gestion durable des terres pour inverser la tendance à leur dégradation et ainsi assurer la sécurité alimentaire et œuvrer en faveur d'un avenir durable.



Pour aller plus loin :

[*Rapport sur l'état des sols en France, GISSOL*](#)

[*Projet TYPTERRE*](#)

[*FAO, Portail sur les sols*](#)

[*ADEME Brochure « Les sols portent notre avenir »*](#)

[*Terre, tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sol*](#)

[*Fertilité des sols : la gérer pour maintenant et pour demain*](#)

[*Gestion de la fertilité des sols pour une meilleure efficacité des systèmes de cultures*](#)

[*D. Baize, 2008. Référentiel pédologique 2008*](#)

[*Site français sur les sols*](#)

FERTISOLS.FR



Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

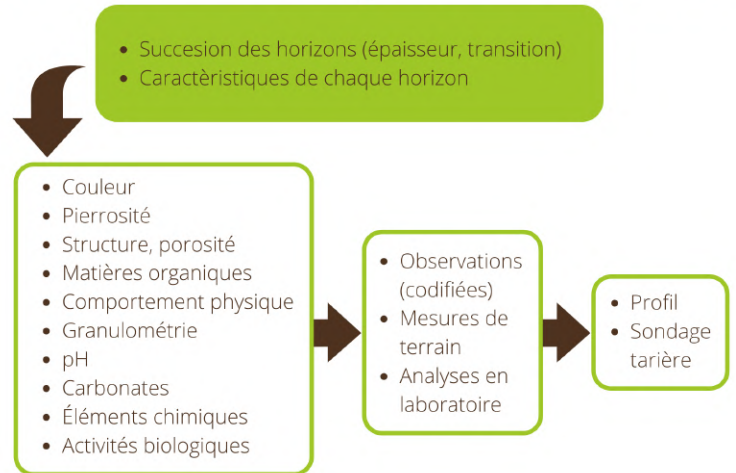
LE SOL, SAVOIR LE CARACTÉRISER

La pédogénèse, formation du sol, fait intervenir **différents facteurs** (roche mère, climat, topographie, végétation...) qui vont **influencer** de manière importante les **caractéristiques de sols**.

Certaines de ces **caractéristiques** évoluent peu au cours du temps, mais d'autres **peuvent évoluer rapidement avec des conséquences importantes**. Pour les cultures en place, elles peuvent impacter sur le travail du sol, le fonctionnement de l'activité biologique du sol, la taille du réservoir utile...

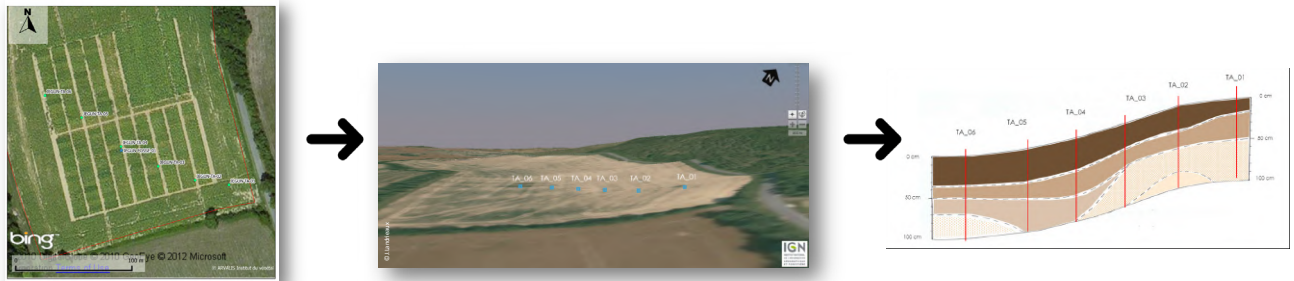
Voilà pourquoi **des observations simples peuvent nous aider à comprendre** « qui » est notre sol et comment faire pour qu'il soit « en bonne santé ».

Caractéristiques d'un sol



QUELLES OBSERVATIONS POUR QUELS OBJECTIFS ?

Le sondage tarière



Source Arvalis Institut du végétal

Non destructrice et peu coûteuse, elle ne permet cependant pas d'observer toutes les caractéristiques du sol.

Elle permet de repérer les différents horizons, couches, de sol et permet la spatialisation des zones de sols dans la parcelle.

Attention cette technique est fastidieuse voire impossible en sols très caillouteux.

L'observation du profil

Plus longue et plus coûteuse, **elle aura toutefois l'avantage d'être exhaustive quant à la description du sol.** Les caractérisations des horizons, ainsi que les estimations (charges en éléments grossiers, distinction d'horizons, prospection des racines, calculs de Réserve Utile) seront bien plus précises. Cette technique perturbe fortement le sol à l'endroit de l'observation. C'est pourquoi, le nombre de fosses réalisables sur une parcelle est restreint (en générale 1 à 2 fosses). **Il est donc nécessaire de compléter les observations du profil par d'autres techniques** pour avoir des informations spatialisées en cas de sols hétérogènes.

Le tableau ci-dessous permet de comparer les niveaux d'observations des caractéristiques de sols selon le type de méthode.

Observations	Profil	Sondage tarière	Type de prélèvement	Profil	Sondage tarière
Découpage des Hz	■	■	Granulométrie	■	■
Hétérogénéité interne des Hz	■	■	Chimie	■	■
État d'humidité	■	■	Densité apparente	■	■
Couleurs	■	■	Mottes pour pF	■	■
Tâches/Signes d'hydromorphie	■	■			
Texture	■	■			
Éléments grossiers	■	■			
Structure	■	■			
Porosité/vides	■	■			
Propriétés mécanique	■	■			
Racines	■	■			
Effervescence	■	■			
Matière organique	■	■			
Traces d'activités	■	■			
Eau directement observable	■	■			
Etat de la roche sous-jacente	■	■			

■ Possible sans difficultés
 ■ Difficile/incomplet
 ■ Impossible



Source Arvalis Institut du végétal

D'après Guide pour la description des sols, D.Baize, B.Jablou. INRA. 1995

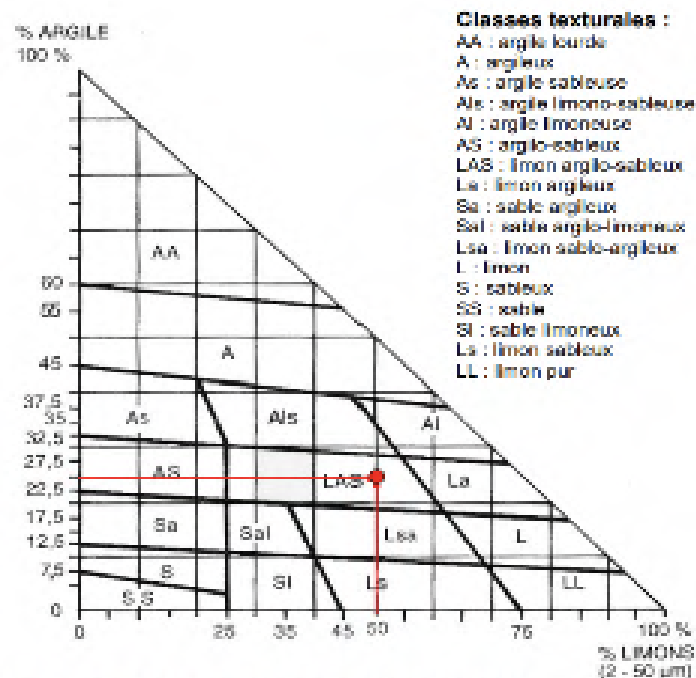
QUELLES CARACTÉRISTIQUES OBSERVER ET COMMENT LES INTERPRÉTER ?

● La couleur

POURQUOI ?	COMMENT ?
<ul style="list-style-type: none"> - Distinction des horizons - Traduit une modification significative d'un ou plusieurs constituants 	<ul style="list-style-type: none"> - Brun foncé : présence de MO Brun : brunification Rouge : oxyde de fer (ferrique), pédogénèse sous climat chaud Beige clair : lessivage, départs d'éléments Beige blanc : sols sur craie Gris, bleuté : réduction, anoxie

● La texture

POURQUOI ?	COMMENT ?
<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer la composition granulométrique du sol 	<ul style="list-style-type: none"> - Malaxer le sol légèrement humide : <ul style="list-style-type: none"> • Boudin = argile • Doux, talqueux = limons • Grains, crissements = sables



* GERPA - Groupe d'Etude pour les Problèmes de Pédologie Appliquée

Source : ■ BUIFFI, 1985. Guide pour la description des sols, INRA, Editeur.









Les signes d'hydromorphie

POURQUOI ?	COMMENT ?
<ul style="list-style-type: none"> Évaluer la circulation hydrique dans le sol drainage/engorgement Taches : signes d'engorgement temporaire et d'asphyxie 	<ul style="list-style-type: none"> Observation des taches : Nature des taches Abondance des taches Couleur des taches Dimensions Formes Nodules, concrétions <p>Difficile, voire impossible de dater les signes d'hydromorphie</p>



La structure

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 partiel 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.

POURQUOI ?	COMMENT ?
<ul style="list-style-type: none"> Rend compte de la taille et de l'agencement des agrégats Pénétration des racines, circulation de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> Observation sur le profil

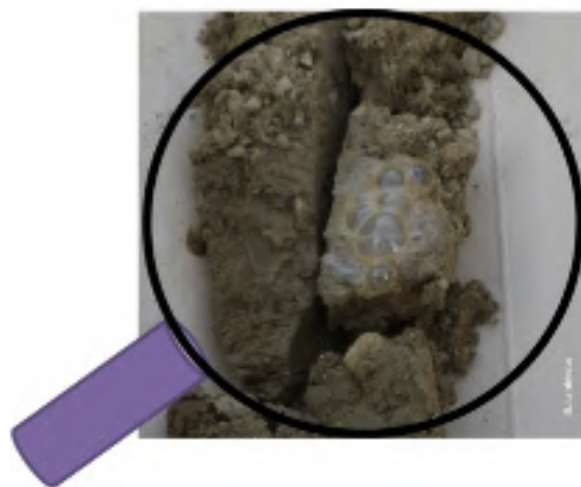
Principaux types de structure
(d'après Baize, Jabiol - 1995, Soil Survey Manual - 1951, ...)



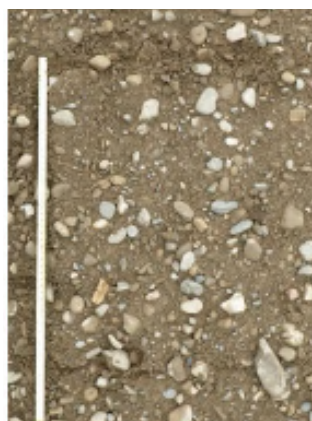
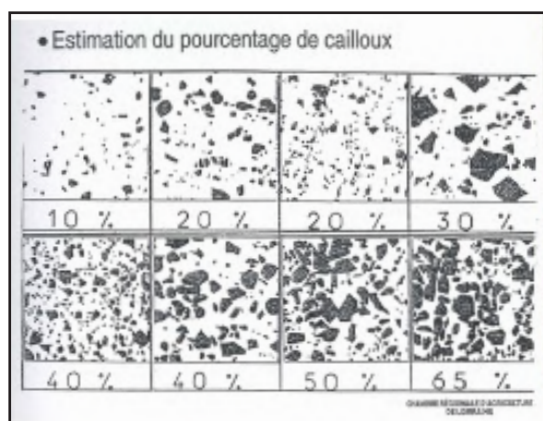
Le test d'effervescence

POURQUOI ?	COMMENT ?
- Évaluer l'abondance de CaCo ₃ (identifier et différencier les sols calcaires)	- Test HCl (10 %) : observation de l'effervescence

POURQUOI ?	COMMENT ?
- Évaluer l'abondance de cailloux sur la parcelle	- Estimation visuelle (surfacique)



Les éléments grossiers, charge en cailloux



L'estimation de la charge en éléments grossiers et cailloux reste approximative.

Cependant des outils existent et permettent d'en faire une estimation la plus précise possible.

Identifier la taille des cailloux



0.2 à 2 cm	2 à 5 cm	5 à 20 cm	> 20 cm
Graviers	Cailloux	Pierres	bloc



Pour aider à la saisie et la reconnaissance de ces critères, des guides, fiches de saisies existent :

- [Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols](#)
- [Fiche STIPA \(INRAe\)](#)

● **L'analyse des activités biologiques visible du sol**

Elle donne des indications sur la porosité et la compacité du milieu :

- **Les galeries de vers de terre** (notamment celles des anéciques) : nombre et profondeur, actives ou non,
- **Les racines** : zones sans racine , profondeur d'enracinement, forme et aspect des racines (coudées, en arête de poisson, phénomènes de lignification, nécroses).

Pour aller plus loin :

[Guide pour la description des sols, de Denis Baize, Bernard Jabiol](#)

[Fiches typterres sur la description des sols](#)

[Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols, CA Tarn, 2013](#)

[Guide simplifié pour la description des sols, A.Delaunois, 2006](#)

FERTISOLS.FR



Fertisols
DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER
Auvergne-Rhône-Alpes

LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES SOLS

LA MATIÈRE ORGANIQUE DES SOLS, UN PILIER DE LA FERTILITÉ

Composante essentielle de la fertilité chimique du sol, la teneur en matière organique **est un indicateur essentiel de la qualité des sols** et influe sur les trois composantes de sa fertilité. En effet, le stock de carbone **joue un rôle** dans les fonctions du sol comme les cycles géochimiques des nutriments, la rétention de l'eau ou **la stabilité structurale**.

En France métropolitaine, les stocks dans la couche superficielle (0-30 cm) des sols sont évalués à environ 3,2 milliards de tonnes (Source Gis Sol).

Chercher à la préserver ou à la renforcer ne doit s'envisager que sur le long terme en jouant sur les pratiques culturales, les rotations et les apports de produits résiduaux organiques.




AGRICULTURES
& TERRITOIRES
CHAMBRES D'AGRICULTURE
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES


isaralyon
Une école d'ingénieurs au cœur de la vie


ARVALIS
Institut du végétal


VetAgro Sup
Campus Agronomique de Clermont


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION
avec la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
«Développement agricole et
rural»

LE RÔLE DES MATIÈRES ORGANIQUES DANS LES SOLS

● Rôles sur la fertilité chimique des sols

- Réservoir d'eau et de nutriments (NP Oligoéléments...)
- Amélioration de la CEC (capacité d'échange cationique)
- Complexe Argilo-Humique
- Effet tampon sur le pH
- Rétention, dégradation des micropolluants.



● Sur la fertilité biologique des sols

- Substrat pour la vie microbienne
- Stimulation de la vie biologique
- Recyclage des matières organiques
- Source d'éléments nutritifs majeurs (minéralisation) et biodisponibilité de certains éléments
- Stockage du carbone dans le sol.

● Sur la fertilité physique des sols

- Rôle structurant important
- Agrégats (formation, cohésion), « effet élastique »
- Porosité, meilleure résistance aux compactages
- Rôle stabilisant et protecteur des sols
- Résistance à l'érosion et la battance
- Amélioration de la rétention en eau (2 fois son poids en eau) et de son infiltration
- Un plus, sa couleur agit sur le réchauffement du sol.

CARACTÉRISER LA MATIÈRE ORGANIQUE DES SOLS

● Pourquoi s'intéresser au taux de matière organique d'un sol ?

C'est l'indicateur qui permet d'évaluer les ressources globales du sol en carbone et azote et d'observer un enrichissement ou un appauvrissement quantitatif dans le temps pour un horizon donné. L'analyse des stocks de carbone donne des indications sur la dynamique temporelle et spatiale de plusieurs fonctions du sol.

La teneur en matière organique s'exprime en % ou g/kg d'une masse de sol. Elle est très variable car elle dépend de nombreux facteurs (type de sol, contexte géographique, pratiques agricoles...).

On peut ensuite en déduire le stock de carbone, d'azote ou de matière organique du sol, en tonnes (ou kg) de C ou N par unité de surface (ha ou m²) pour une profondeur donnée.

Une analyse chimique permet de mesurer la teneur en matière organique sur l'horizon prélevé (Voir Fiche n°II.2 - Analyses de terre).

Cependant il serait plus juste de parler « des » matières organiques dans les sols. En effet, il existe plusieurs types de matières organiques aux comportements et caractéristiques bien différents.

● La matière organique des sols est composée :

- **D'organismes vivants** (animaux ou végétaux) qui sont à l'origine de la transformation des matières organiques du sol. Leur activité de dégradation et réorganisation de la matière organique a, en plus, un effet sur la structure et la stabilité d'un sol.

Schéma de la dégradation des matières organiques dans les sols



Source : svtbelrose.info

- **De matières organiques dites « fraîches »**. Il s'agit de matières végétales, d'exsudats racinaires ou microbiens ou de cadavres d'animaux et de matières organiques peu décomposées. Elles sont facilement décomposables. On les appelle également des matières organiques « labiles » ou « libres ».
- **De matières organiques déjà plus ou moins stabilisées**. Elles sont en cours de décomposition et plus ou moins liées aux fractions minérales du sol. Elles représentent plus de 70% de la matière organique d'un sol. On les appelle également les matières organiques « liées » ou « humus ». Elles auront un effet physique important mais beaucoup moins d'effet chimique ou de stimulation de la vie du sol.

Bien sûr des intermédiaires existent entre ces deux dernières catégories, la transformation et la liaison avec les fractions minérales s'effectuant lentement dans les sols.

Les stocks de matière organique **varient très peu sur le moyen terme (5 à 10 ans)**. Sur le court et moyen terme, il est donc plus pertinent de suivre l'évolution des différentes fractions de matières organiques pour approcher **l'évolution probable des stocks à plus long terme**.

Pour approcher les deux grands types de matières organiques, libres et liées, il est possible de réaliser une analyse du fractionnement granulométrique de la matière organique d'un sol et de mesurer les valeurs de C/N (rapport carbone sur azote) de chacune des deux fractions.

● Des analyses complémentaires peuvent donner des indications sur la dégradation de la matière organique :

- Le C/N global de la matière organique, cependant cet indicateur reste grossier. Il permet de repérer un sol qui fonctionne « trop vite », C/N bas ou un sol qui fonctionne « trop lentement » C/N élevé. Il s'agit d'un paramètre classique des analyses agronomiques physico-chimiques.
- Des analyses beaucoup plus ciblées de l'activité des micro-organismes du sol : minéralisation du carbone ou de l'azote, activités enzymatiques. Ces analyses sont effectuées par des laboratoires spécifiques et sont assez coûteuses.

LA MATIÈRE ORGANIQUE DES SOLS, UN CAPITAL À PRÉSERVER

● Agir à long terme

Quel taux de matière organique faut-il viser dans son sol pour optimiser sa fertilité chimique ? **La réponse à cette question dépend de nombreux facteurs.** Les flux de carbone sont permanents **du fait du type de sol, des conditions** de minéralisation, de la présence ou non de résidus de cultures, de la nature des pratiques agricoles des apports de produits résiduels organiques.

Sur le moyen terme, soit 30 à 50 ans, et à régime constant de restitutions organiques sur une parcelle, la teneur en MO du sol tend vers un équilibre où les apports et restitutions organiques compensent les pertes dues à la minéralisation.

● Une influence des pratiques agricoles

Pour un même type de sol, les pratiques culturales font varier les teneurs à l'équilibre. L'évolution sera **lente dans un sens comme dans l'autre (diminution ou augmentation)** et difficile à déceler sur **un pas de temps inférieur à 5 ans.**

Le suivi de données effectué par le GIS SOL montre qu'il existe une variation des stocks de matière organique sur les 30 premiers centimètres des sols en France en fonction du type de sol, du climat et de l'occupation de terre :

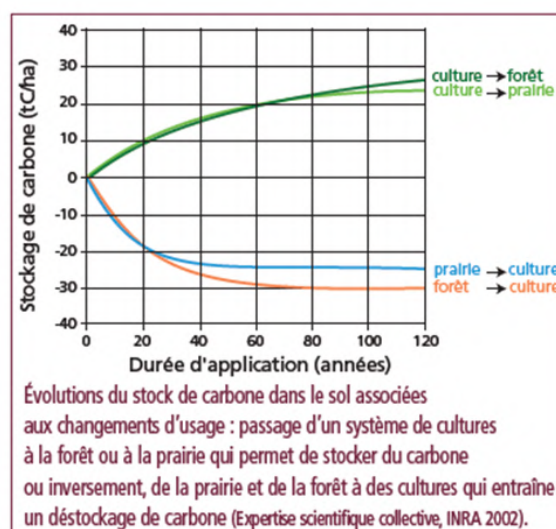
- Les stocks sont très élevés en altitude et dans les sols volcaniques (Alpes et Massif Central en Auvergne-Rhône-Alpes). Ils sont > 100 TC/ha.
- Les stocks sont moyens en zones forestières ou herbagères (cas du Massif Central). Ils se situent entre 75 et 100 TC/ha.
- Les stocks sont assez faibles dans les grandes plaines cultivées (cas de la vallée du Rhône). Ils sont de l'ordre de 25 à 50 TC/ha
- Les stocks les plus faibles se rencontrent en vigne, notamment dans le Sud de la France. La vigne restitue généralement peu de carbone au sol.


● Le rôle des rotations

Par ailleurs, un changement de destination modifie le nouvel équilibre de la matière organique dans les sols.

Les pratiques culturales influent également sur le taux de matière organique dans les sols (Cf. Fiche n°1.05 -). On citera notamment :

- Les rotations,
- La gestion des résidus de culture (restitution/exportation des pailles),
- L'apport de produits résiduels organiques,
- Le chaulage en terre acide,
- Le travail ou non du sol.





Dans les contextes de polyculture élevage, on observe **une tendance à la baisse des taux de matière organique** dans des rotations où la part de prairie temporaire a diminué au profit de cultures annuelles. Celle-ci est d'autant plus forte que la totalité des parties aériennes (céréales avec pailles exportées, maïs fourrage) est exportée. Les apports de produits organiques permettent **de maintenir ou de limiter la baisse des teneurs qui restent généralement bien plus élevés qu'en système céréalier pur.**

En grandes cultures, des suivis ont été réalisés sur plusieurs essais de longue durée avec des rotations variées. Les résultats obtenus sur le site de Boigneville (91), - 40 ans de dispositif expérimental en rotation (maïs, blé) - avec pailles restituées et labour montrent une tendance à une légère hausse de la teneur en matière organique. En revanche, lorsque les pailles de blé sont exportées comme ce fut le cas entre 1983 et 1998, la teneur ne fait que se stabiliser.

Le labour aura un effet de dilution de la matière organique sur l'horizon travaillé et comme tout travail du sol, il aura tendance, en créant un milieu très aéré, à favoriser les processus de minéralisation.

Pour aller plus loin :

[ADEME - Carbone organique des sols – l'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat - Connaître et agir -](#)

[INRA - STOCKER DU CARBONE DANS LES SOLS FRANÇAIS - QUEL POTENTIEL AU REGARD DE L'OBJECTIF 4 POUR 1000 ET À QUEL COÛT ? – juillet 2019](#)

[Guide utilisation SIMEOS-AMG](#)

[PA 398: MO, un capital à préserver.pdf](#)

[Tour d'horizon des indicateurs relatifs à l'état organique et biologique des sols](#)

[Quelques avancées sur la dynamique des matières organiques dans les sols](#)

[Stockage du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France](#)

[Gestion de l'état organique des sols avec SIMEOS-AMG](#)

[SIMEOS-AMG est un outil de simulation de l'évolution des teneurs et stocks en C organique du sol fondé sur le modèle AMG](#)

[La matière organique des sols, une richesse à cultiver](#)

FERTISOLS.FR

LA FERTILITÉ PHYSIQUE



Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

L'EAU DANS LE SOL

Le sol assure de nombreux services vis-à-vis de l'eau : **filtration, épuration, rétention, fourniture en eau et transfert de nutriments** pour les besoins de croissance et de développement des végétaux. A l'interface avec l'atmosphère, il participe au grand cycle terrestre de l'eau.

Pour l'agriculture, **le régime hydrique du sol**, c'est-à-dire les variations de teneur en eau au cours de l'année, **est déterminant pour la conduite des systèmes de culture et l'élaboration du rendement.**

Il dépend directement du rôle de trois propriétés d'un sol (Gobat et al) :

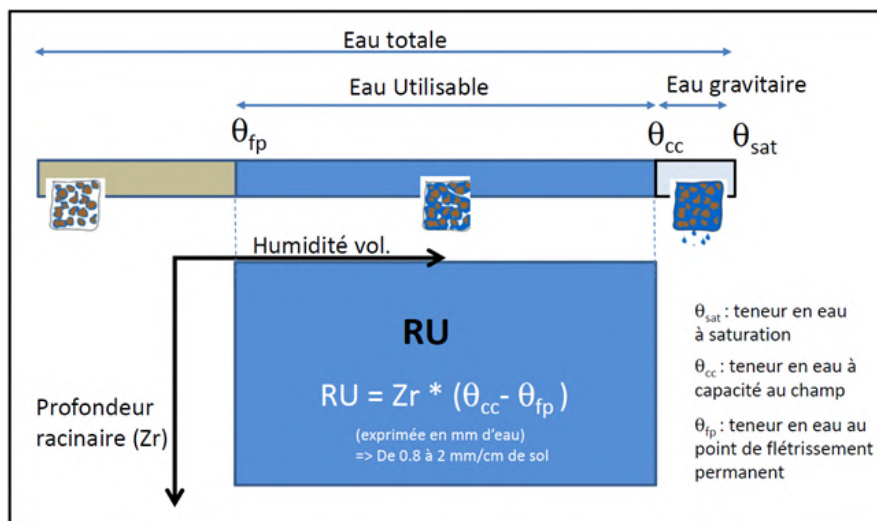
- **la texture**, déterminant les forces de rétention de l'eau
- **la structure**, qui influence la circulation de l'eau
- **la porosité**, définissant le volume du réservoir hydrique du sol.

Pour les plantes, le sol constitue **un réservoir d'eau**, plus ou moins accessible selon son degré d'humidité. Les agronomes ont défini depuis longtemps le concept de **réservoir utile (RU)** pour évaluer le volume d'eau d'un sol mobilisable par les cultures. Celui-ci dépend des propriétés du sol, des capacités de succion des espèces et de leur dynamique d'exploration racinaire, mais aussi des systèmes de culture.



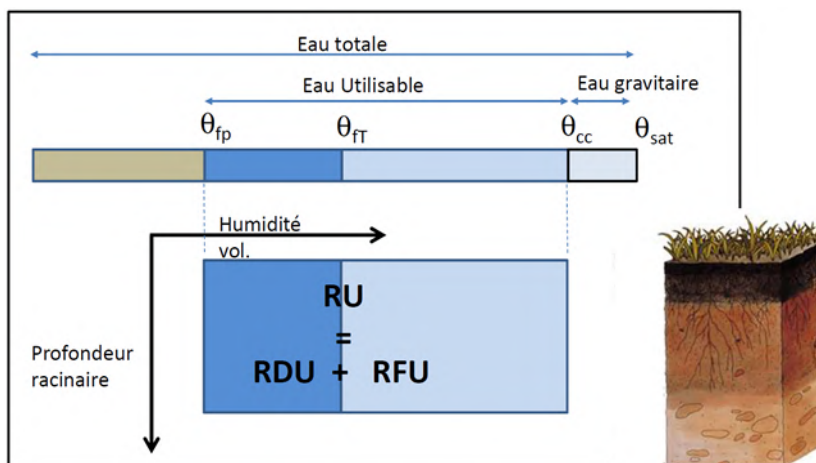
LE RÉSERVOIR UTILE EN EAU DU SOL

Le réservoir utile en eau du sol est la quantité d'eau maximale que le sol peut contenir, mobilisable par les plantes pour leur alimentation hydrique et leur transpiration sur un long terme et dans lequel puisent les racines. **Le RU s'exprime généralement en mm** d'eau sur une épaisseur de sol donnée, sur la profondeur maximale d'enracinement d'un sol : on parle alors de **Réservoir Utile Maximum (RUM)**, ou par cm de sol. Il correspond pour une profondeur racinaire à l'humidité à la **capacité au champ (θ_{cc})**, soit la teneur en eau du sol après drainage de l'eau excédentaire à la suite d'une saturation (θ_{sat}), à laquelle on soustrait la teneur en eau du sol dite au point de flétrissement permanent (θ_{fp}) qui est théoriquement celle à partir de laquelle une plante ne peut plus récupérer du flétrissement.



In Doussan et al, RueDesSols 2019

Mais la disponibilité de l'eau dans le RU répond à une dynamique. On estime en agronomie qu'une partie seulement du RU est facilement utilisable (**RFU**), correspondant à une humidité du sol pour laquelle le flétrissement des plantes est temporaire (**θ_{ft}**), l'eau restant étant difficilement utilisable (**RDU**) :



In Doussan et al, 2019



Le RFU est utilisé en agronomie pour réaliser des bilans hydrique et gérer les pratiques d'irrigation.

ÉVALUER LE RÉSERVOIR UTILE EN EAU DU SOL

● Le réservoir utile en eau d'un sol est fonction de la structure qui conditionne au premier ordre la teneur en eau à la capacité au champ, de la texture qui détermine fortement la teneur en eau au point de flétrissement permanent, et de la teneur en matières organiques (voir les fiches : **Le sol : savoir le caractériser, Observer et qualifier la structure de son sol et Matières organiques**). De nombreuses fonctions ont été établies pour évaluer le RU à partir des taux d'argile, de limons de sables et/ou de matières organiques.

Le tableau ci-dessous indique des ordres de grandeur du RU des horizons de surface (mm/cm) en fonction de plusieurs classes de texture.

Classes de textures *	RU (mm/cm)
ARGILE	1,3
ARGILE LIMONEUSE	1,41
ARGILE SABLEUSE	1,58
LIMON ARGILEUX	1,73
LIMON ARGILO- SABLEUX	1,6 (1,48 - 1,72)
LIMON	2,22
LIMON SABLO-ARGILEUX à SABLE ARGILO-LIMONEUX	1,82 (1,72 - 1,92)
SABLE ARGILEUX	1,34

* Diagramme des textures du Geppa (1963)

D'après Bruand et al., 2004

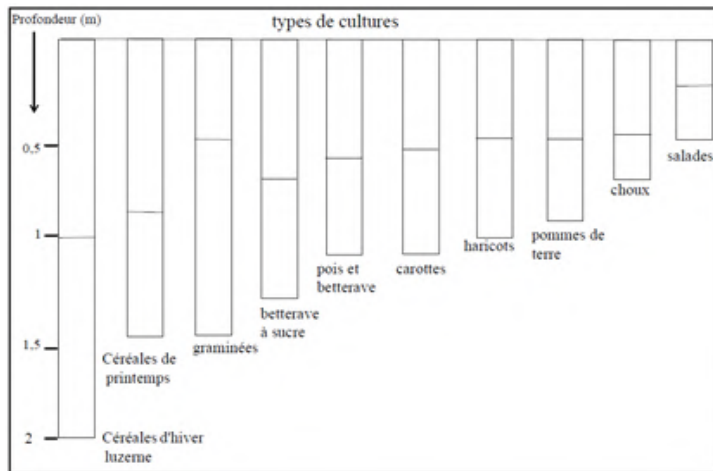
Dans les sols caillouteux, le taux d'éléments grossiers **diminue le volume de sol exploitable par les racines** et par conséquent d'autant le RU.

Mais des roches sédimentaires (calcaires, grès, molasses ...) qui sont saturées à l'humidité à la capacité au champ peuvent contribuer au RU (Cousin et al, 2017).

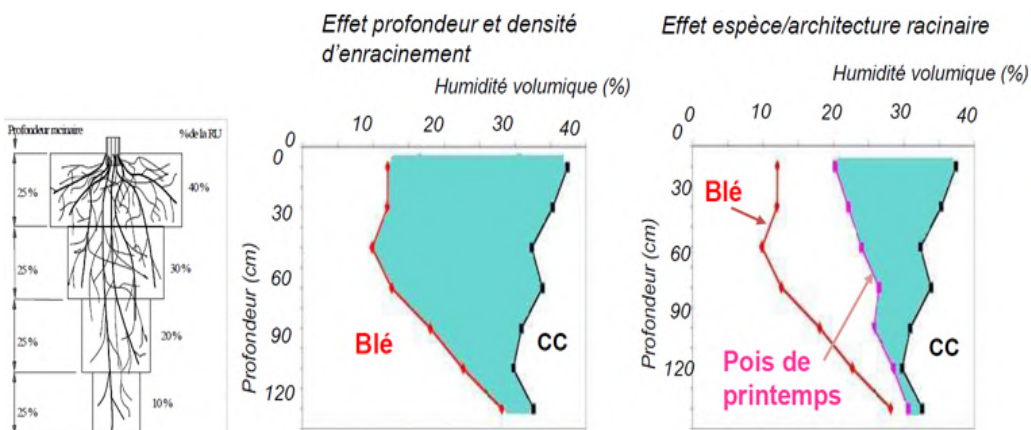
Pour évaluer le RUM d'un sol généralement constitué d'horizons aux caractéristiques différentes, **il faut sommer le RU de chaque horizon jusqu'à la profondeur racinaire maximale estimée.**

PLANTES CULTIVÉES ET ACCÈS AU RÉSERVOIR UTILE

La prospection racinaire des plantes cultivées varie avec les espèces et leurs stades de développement, une croissance maximale étant généralement atteinte à partir de la floraison. Le graphique suivant présente les profondeurs d'enracinement potentielles de plusieurs cultures. Les céréales d'hiver ont le système racinaire capable de la meilleure exploration, contrairement aux cultures légumières.



Le RU en eau du sol diffère ainsi selon les cultures et les périodes de développement végétatif, et le réservoir utile mobilisable devient maximum (**RUM**) à partir de du stade floraison des espèces. Les illustrations suivantes montrent l'effet de la profondeur et de la densité racinaire et l'effet de l'espèce sur l'accès à l'eau du RU du sol entre les humidités à la capacité au champ (courbe en noir) et les humidités au point de flétrissement permanent (courbes en rouge et violet) pour les cultures de blé d'hiver et de pois de printemps.



Donnée: ARVALIS (le magneraud)



Les valeurs du RUM peuvent ainsi varier du simple au double selon les cultures comme le montrent les estimations pour différentes cultures et un même type de sol.

Espèce	Réserve utilisable (mm)
Blé (semis 17 Octobre)	200
Orge de printemps (semis 4 Février)	170
Maïs grain (semis 6 Avril)	150
Pois de printemps (semis 9 Février)	95
Féverole de printemps (semis 9 Février)	95

In Doussan et al, RueDesSols 2019

AMÉLIORER LE RÉSERVOIR UTILE DU SOL

Le Réservoir Utile du sol est optimisé par des états structuraux favorables et lorsque le statut organique et les activités biologiques sont élevées. Les pratiques de travail du sol et de gestion des matières organiques représentent des leviers pour améliorer le RU d'un sol (voir la fiche leviers d'amélioration de la structure d'un sol).

La restauration de la structure des sols peut régénérer une continuité structurale favorable à l'exploration racinaire au sein du profil et créer une porosité des mottes favorable à la densité racinaire et à la rétention de l'eau dans le sol comme le montre le résultat expérimental suivant :

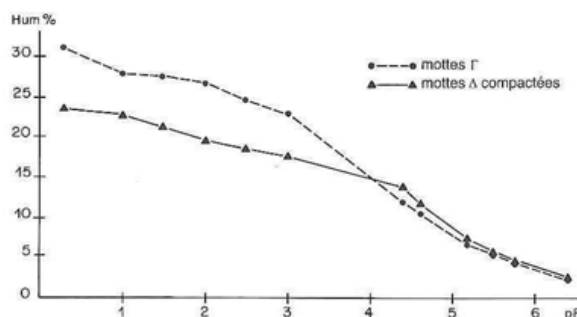
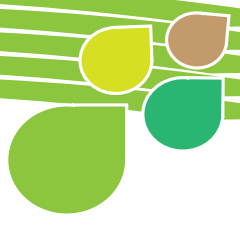
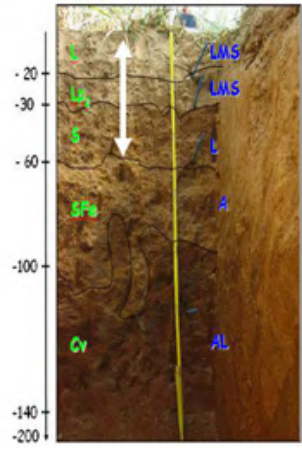
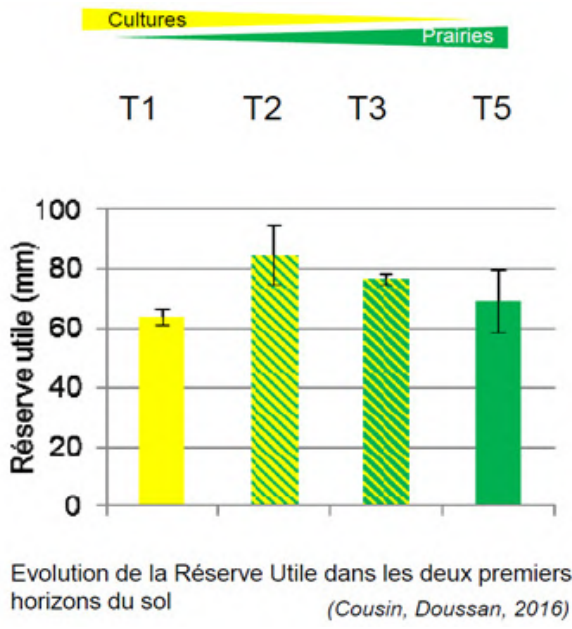


Figure 39. – Relation humidité pondérale/pF pour deux types de mottes d'un horizon labouré (Papy [140]). Pour le domaine de pF inférieur à 4, les mottes gamma présentent un volume de pores relativement grossiers (> 0,15 μm) beaucoup plus important que les mottes delta. Pour les pF supérieurs à 4, les deux courbes se confondent : il n'y a pas de différence, pour l'espace poral correspondant, entre les deux types de mottes.

Guide des analyses en pédologie, INRA, D.Baize



De même, les matières organiques et les activités biologiques permettent l'entretien et la création de porosité, ce qui favorise les capacités de drainage comme de rétention en eau dans le sol. On a aussi montré que les successions de culture modifient à moyen terme le RU (Cousin et Doussan, 2016).



Pour aller plus loin :

[Séminaire Rue Des Sols](#)
[Guide des analyses en pédologie, Denis Baize. Quae ed.](#)

FERTISOLS.FR

Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

OBSERVER ET QUALIFIER LA STRUCTURE DE SON SOL

Observer et qualifier la structure de son sol est nécessaire pour raisonner le travail du sol.

Quelques notions agronomiques de bases et plusieurs outils de diagnostics de terrain peuvent être mobilisés :

- test bêche
- profil cultural
- ...

C'est ce que nous allons aborder dans cette fiche.




AGRICULTURES
& TERRITOIRES
CHAMBRES D'AGRICULTURE
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES


isaralyon
Une école d'ingénieurs au cœur de la vie


ARVALIS
Institut du végétal

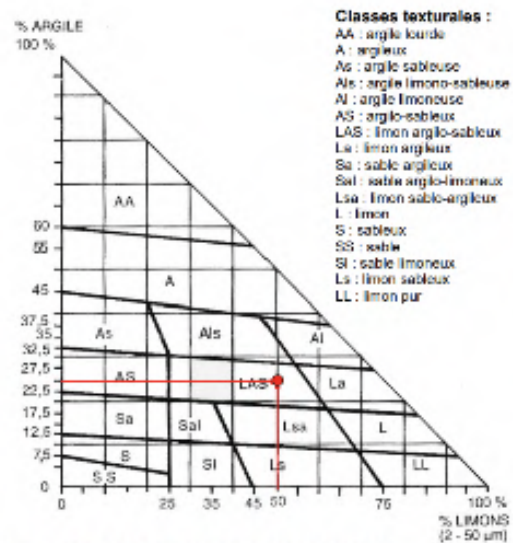

VetAgro Sup
Campus Agronomique de Clermont


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION
avec la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
« Développement agricole et
rural »

CONNAÎTRE LES BASES

● Déterminer la texture de son sol

La texture est une appréciation globale de propriétés de son sol, notamment celles liées à son comportement physique (stabilité structurale, aptitude à la fissuration, sensibilité à la battance...) et à ses possibilités d'évolution sous l'action du climat ou du travail mécanique. Elle s'apprécie de manière tactile ou par analyse de terre et est liée à la composition granulométrique en argiles, limons et sables. Le triangle des textures regroupe les terres aux propriétés physiques proches en classes granulométriques.

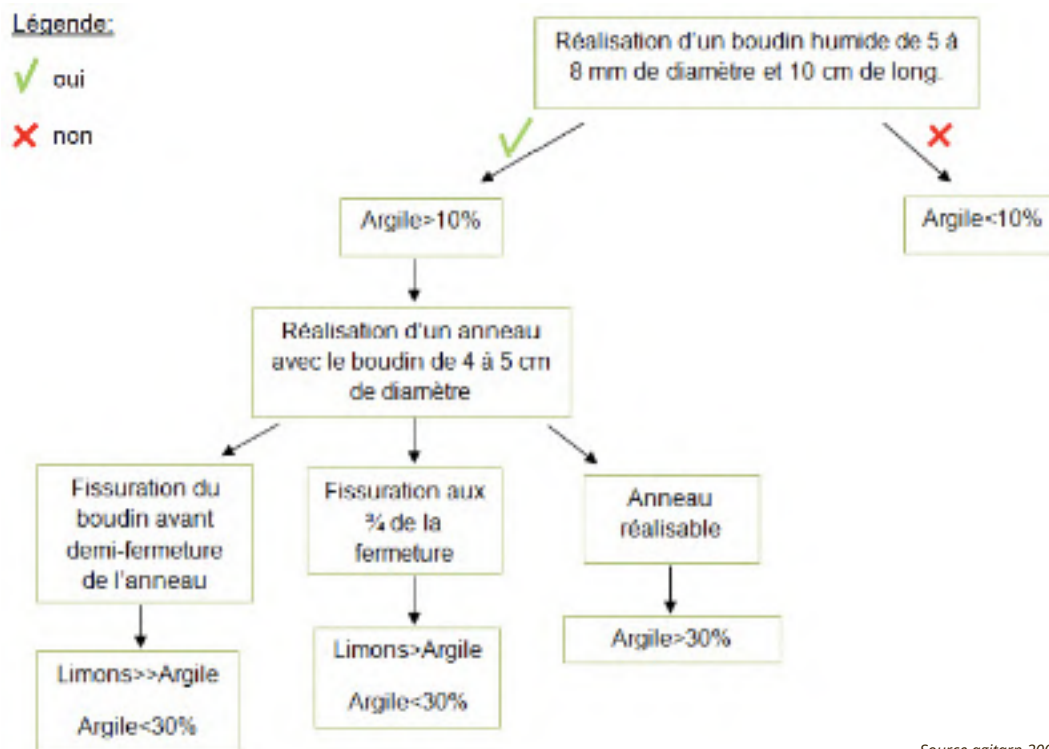


* GEPFA : Groupe d'Etude pour les Problèmes de Pédologie Appliquée
 Source : BAUFE D., 1995. Guide pour la description des sols, INRA Editions.

L'analyse de terre est généralement utilisée pour déterminer la granulométrie du sol, toutefois pour une première approximation, une observation de terrain peut également être réalisée sans frais.

- Les limons ont un toucher soyeux et salissent les mains,
- Les sables crissent sous les doigts et à l'oreille,
- L'argile résiste sous les doigts et nettoie les mains quand sa teneur est suffisante

L'arbre de décision ci-dessous permet d'approcher le % d'argile sur le terrain :



Source agitari 2006



● Savoir caractériser un état structural

La structure d'un sol est le mode d'arrangement des particules élémentaires de terre en agrégats, qui résulte des actions anthropiques, du climat et des activités biologiques. Dans les terres agricoles et en particulier dans les horizons de sols affectés par les interventions culturales, **la méthode du profil cultural propose une façon de caractériser l'état structural d'un sol par l'observation.** Sa mise en œuvre permet d'apprécier un niveau de dégradation de la structure et les possibilités de circulation des fluides et d'exploration racinaire.

Le profil cultural repose sur l'observation de 2 niveaux d'organisation de la structure : le mode d'agencement des mottes et leur état interne

On distingue 4 types de mode d'assemblage des mottes :



Modes d'assemblage de gauche à droite : O puis C2R puis C

Source : Guide test bêche ISARA

- **Structure ouverte = O** (les éléments structuraux du sol sont dissociés). Des éléments structuraux, terre fine ou mottes, dissociés formant une structure dite ouverte (O)
- **Structure continue = C** (les éléments structuraux ne sont pas dissociés). Des éléments structuraux non dissociés constituant une structure dite continue (C)
- **Une organisation structurale intermédiaire** : ouverte à tendance continue C2R
- **Structure bloc = B** (bande de labour mal émietté) Des mottes peu émiettées créant des blocs et des creux pour former une structure dite en blocs (B)

Les états internes des mottes sont ensuite observés en distinguant 4 types de mottes selon les possibilités d'explorations racinaires :



Motte Γ

Motte Δb

Motte Δ

Mottes Γ (gamma) : de forme quelconque et présentant une surface rugueuse/grumeleuse avec une porosité importante visible à l'œil ; il s'agit de terre fine agglomérée.

Mottes Δ (delta) : brisées, elles montrent une surface lisse, plane et sans porosité visible à l'œil.



Mottes Δb : mêmes caractéristiques que Δ mais avec quelques macropores et/ou bioturbations d'origine biologique. L'indice b représente l'activité biologique présente au sein des mottes delta. Les macropores et les éléments de bioturbation sont créés par l'activité des organismes du sol, et notamment des vers de terre.

Mottes Φ (phi) : présentes de nombreuses fissurations, et des agrégats anguleux provenant des activités des argiles lors de l'alternance d'humectation et de dessiccation du sol. Il est aussi important de repérer les ruptures d'horizons : semelles de labour, changement brutal de texture entre horizons etc. car ces paramètres sont importants pour apprécier la circulation de l'eau dans le sol.

Ces observations de base permettent de réaliser un diagnostic sur les états structuraux présents et d'engager une procédure d'amélioration si besoin.

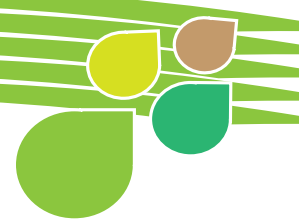
RÉALISER LE DIAGNOSTIC

Quels diagnostics disponibles et lequel choisir ?

Plusieurs diagnostics d'évaluation de la structure sont disponibles, plus ou moins destructif, rapide, facile à mettre en œuvre.

Le tableau ci-dessous issu du guide « complémentarité des méthodes de diagnostic » réalisé dans le cadre du projet Sol D'Phy donne un aperçu des limites et intérêts de ces méthodes.

	Méthodes de diagnostic simplifiées			Profil cultural
	Tige pénétrométrique	Méthode bêche	Mini-profil 3D	
Profondeur diagnostiquée	80 cm	25 cm	60 cm	120 cm
Période d'observation	Période restreinte, de décembre à début avril	Dès que l'humidité du sol permet d'enfoncer la bêche	Toute l'année, périodes privilégiées : automne et sortie d'hiver	Toute l'année, périodes privilégiées : automne et sortie d'hiver
Matériel nécessaire	Tige métallique	Bêche	Télescopique ou chargeur frontal	Pelle mécanique
Informations obtenues	Détection des problèmes de tassement en surface et en profondeur	Diagnostic de la structure sur les 25 premiers cm du sol	Diagnostic approfondi de la structure du sol en surface et en profondeur	Diagnostic approfondi de la structure du sol en surface et en profondeur
Facilité de mise en œuvre et d'interprétation	Très facile après une courte formation	Prise en main rapide après une courte formation	Demande un peu d'entraînement au début après une courte formation	Nécessite une expertise approfondie après 1 formation poussée
Rapidité de mise en œuvre	15 min / parcelle	30-45 min pour 6 prélèvements / parcelle	20 min pour 2 mini-profil / parcelle	2-3h / profil
Surface de la parcelle explorée	Toute la parcelle via des transects	Zone limitée dans la parcelle	Zone restreinte du fait du faible nombre de prélèvements possibles	Zone restreinte (3 m de large)
	Légende : ■ Intérêts ■ Intérêts +/- ■ Limites			



● Où et quand observer ?

Dans tous les cas, **l'endroit où doit être réalisé le prélèvement doit se faire en fonction de la problématique rencontrée.**

- En plein champ (représentatif du travail dominant) vs bordure (voir influence de la répétition des passages)
- Entre vs dans le passage de roue (évaluer la profondeur d'un tassement sous un passage de roue).

Dans tous les cas, préférer faire l'observation en perpendiculaire du sens de travail du sol.

Le moment d'observation sera lui aussi fonctions des attentes. Pour planifier une intervention (travail du sol ou non avant un semis), observer l'enracinement (hétérogénéité dans le développement des cultures, prendre une décision concernant une intervention (décompactage ou pas).

● Quelles autres observations ?

Elles se font directement au champ, dans un ordre précis (faire les observations avant destruction de l'échantillon) et peuvent être compilées dans des fiches de notations. Vous pourrez trouver des exemples dans la section « Aller plus loin ».

Les observations :

- Estimer le pourcentage de cailloux sur le sol et dans les différents horizons étudiés
- Observer les racines
- Observer la structure générale, les mottes et leur mode d'assemblage
- Évaluer la proportion terre fine/mottes dans le cas du test bêche, les zones compactées dans le profil
- Évaluer la présence de vers de terre.

Pour aller plus loin :

[*ISARA Lyon : guide profil cultural*](#)

[*ISARA Lyon : guide test de bêche*](#)

[*Fiches terrain test bêche vers de terre ISARA-Lyon 2018*](#)

[*Sol D'phy : Guide méthodique teste bêche structure et action vers de terre*](#)

[*Sol D'Phy : Guide méthodique du mini profil 3D*](#)

[*Sol D'phy : diagnostic de la structure du sol avec le mini-profil 3D*](#)

[*Sol D'Phy : Fiche de notation terrain mini profil 3D*](#)

[*Sol D-Phy : Guide méthodique de la tige pénétromètre*](#)

[*Sol D'Phy : Fiche notation terrain pénétromètre*](#)

[*Sol D'Phy : Guide complémentarité des méthodes de diagnostic*](#)

[*INRA : Comparaisons des méthodes d'observation de la structure de sol \(en\)*](#)

[*ARVALIS : guide sur les outils de travail du sol*](#)

[*Test de stabilité à l'eau : fiche Tech et Bio*](#)

[*Fiche Prosenzol : test de stabilité USDA*](#)

[*Objectifs n°67 – AGR'EAU 26 – Chambre d'agriculture de la Drôme : préserver la structure de son sol*](#)

[*Guide pratique Visual Soil Assessment - Food and Agriculture Organization of the United Nations - Rome, 2008*](#)

[*Objectifs n°67 : Préserver la structure de ses sols - CA26 - programme AGR'EAU26*](#)

[*Fiche Prosenzol : test de stabilité USDA*](#)

FERTISOLS.FR



Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

LES LEVIERS POUR AMÉLIORER LA STRUCTURE DE SON SOL

Une fois le diagnostic sur la structure de son sol réalisé via les différents outils mis à disposition (Cf fiche : Évaluer la structure de son sol), il reste à savoir comment faire pour maintenir un état structurel correct ou comment l'améliorer lorsqu'il y a un problème de tassement.



Améliorer la structure de son sol

Il existe plusieurs leviers pour améliorer l'état physique de son sol mais qui commencent toujours par de la prévention. Certains sols sont plus sensibles que d'autres aux phénomènes de tassement. Les sols limoneux sont les plus sensibles au tassement. Les sols sableux sont plutôt sensibles à de la prise en masse. Les sols argileux présentent le désavantage d'être souvent trop humides au moment des interventions de printemps et/ou d'automne, ce qui les rend plastiques et donc sensibles à des tassements profonds.

La prévention des tassements

Différents leviers peuvent être appliqués afin d'avoir un réel impact sur le tassement du sol :

- Faire attention aux conditions d'intervention (type de sol, humidité du sol)
- Limiter le poids total des matériels : la diminution des charges par l'utilisation de matériels légers ainsi que la limitation des charges inutiles dans le champ (ex : épandage de lisier sans tonne) permettent d'éviter sensiblement les tassements.

isaralyon
Une école d'ingénieurs au cœur de la vie

**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRES D'AGRICULTURE
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

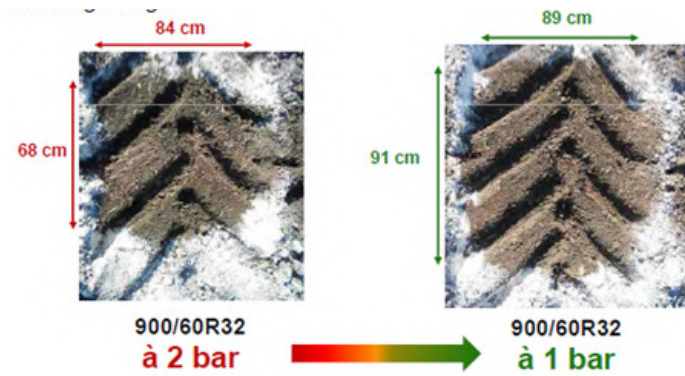
ARVALIS
Institut du végétal

VetAgro Sup
Campus Agronomique de Clermont

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION
avec la contribution
financière du comité
d'affectation spéciale
« Développement agricole et
rural »



- Envisager l'adaptation des pneumatiques / chenilles : préférer les pneus basses pression pour une meilleure surface de contact au sol. Certaines marques de pneumatique ont développé des sites ou applications qui permettent de régler la bonne pression en fonction du type de machine.



Source Sol D'Phy

- Améliorer la répartition / décomposition des charges pour diminuer le poids / essieu : Pour certains chantiers, notamment récolte, la décomposition des matériels est parfois possible.



*Exemple d'un chantier d'épandage de lisier.
Seul le tracteur et la rampe d'épandage
sont à l'intérieur du champ.
La rampe est alimentée en lisier via
un tuyau souple depuis la citerne
restée en bordure du champ.*

Source de la photo : Arvalis Instiut du végétal

- CTF : Controlled Traffic Farming : Concentrer des passages privilégier dans le champ pour préserver le reste du champ.

● Importance de l'état organique et biologique du sol

- **La gestion de l'état organique du sol** a également une grande importance car en effet le comportement du sol sera très différent en fonction de :
- **La Gestion des produits organiques** : l'état structural est influencé par la teneur en MO du sol, qui améliore la structure du sol et procure une protection contre la battance et l'érosion.
- **La succession culturale** : dans le cas de sols sensibles aux tassements (limon, argile hydromorphe), la succession de cultures se récoltant à l'automne peut provoquer des dégâts sur la structure du sol. L'alternance de culture d'hiver et de printemps peut permettre au sol d'être moins sollicité en mauvaises conditions ou de procéder à des interventions mécaniques en bonnes conditions.
- **La gestion des résidus de récolte** : l'export systématique des pailles peut provoquer à long terme une diminution de la teneur en MO qui aura un effet négatif sur la structure du sol.
- **La mise en place de cultures intermédiaires** : dans le cas où leur développement est significatif et qu'elles sont restituées au sol, elles permettent de maintenir le taux de MO. Dans le cas où elles sont exportées (récoltes, mise en pâturage), elles permettent au sol de ne pas rester nu et ainsi d'éviter les phénomènes d'érosion. Les systèmes racinaires des couverts végétaux participent également à l'amélioration de la structure.
- **La gestion du travail du sol**
 - Alternance Labour/non labourNB : un sol en semis direct est souvent plus compact qu'un sol labouré mais il n'en est pas moins poreux et drainant (micro-porosité biologique).
 - Profondeur de travail : les labours profonds peuvent occasionner des semelles de labours difficiles à reprendre même avec un outil de décompactage.



● Gestion de l'irrigation

- Des irrigations trop fréquentes peuvent « battre » et tasser le sol en surface surtout en cas de texture sensible et de matériel agressif (ex : enrouleurs)
- Des successions de cultures exclusivement irriguées ne permettent pas aux sols argileux de se structurer en profondeur grâce au sec.

● Dans certains cas, le recours à des outils de décompactage peut être nécessaire

Les sols limoneux, très sensibles aux tassements et sans capacité de restructuration en propre (autre que biologique = long terme) peuvent nécessiter des interventions mécaniques de décompactage en cas de tassements sévères.

Mais attention au choix des outils et à leurs conditions d'utilisation :

- N'intervenir qu'en situation de sol frais à sec : le sol doit être friable sur toute la profondeur travaillée,
- Bien déterminer la profondeur de travail à l'aide d'un mini-profil 3D, d'un profil de sol ou du pénétromètre (dans ce cas, multiplier les mesures pour une bonne fiabilité).

En matière de tassement des sols, il vaut toujours mieux prévenir que guérir.

Réduction de croissance dans la zone tassée



Source de la photo : Arvalis Institut du végétal



Pour aller plus loin :

[Prévenir les tassements de sol sur pomme de terre](#)

[Impact chantier betterave et conseil](#)

[Liste des matériels pour les TCS](#)

[Des règles simples pour décompacter](#)

[Semis direct de maïs sous couvert CA Aveyron](#)

[Réussir le semis direct tout en réduisant l'IFT](#)

[Fiche trajectoire Didier Manlhiot](#)

[Le rôle essentiel des pneus pour réaliser les économies](#)

[Gestion de la fertilité des sols](#)

[Poster gestion durable de la fertilité physique du sol](#)

[Impact chantier betterave et conseil \(poster\)](#)

[Accompagner chgt en agriculture, du non labour à l'ACS](#)

[Agr'Eau- Objectif No67 Structure des sols](#)

[SolAB Comment observer la structure du sol on Vimeo.mp5](#)

*[Terranimo : outil danois et suisse d'évaluation des tassements par les matériels agricoles :
<https://terranimo.world/CH/light/>](#)*

FERTISOLS.FR



Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

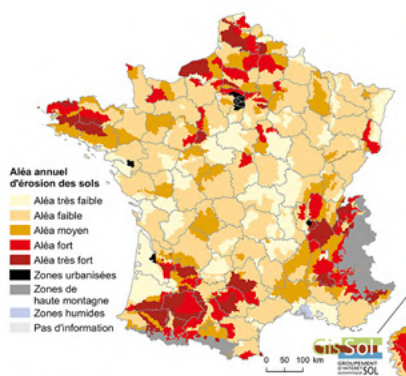
DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

L'ÉROSION HYDRIQUE DES SOLS AGRICOLES

L'érosion hydrique est une cause majeure de dégradation des sols dans le monde. C'est un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau. Elle provoque une perte de potentiel de production, une gêne pour les opérations culturales lorsque des ravines parcourent les parcelles et des dégâts envers des tiers peuvent être occasionnés en aval. La France présente une grande diversité de situations érosives sur son territoire du fait de la variété des sols, des systèmes de culture, des reliefs et des parcelles et paysages agricoles (Le Bissonnais et al, 1998).

C'est un phénomène préoccupant car le sol est une ressource non renouvelable à l'échelle humaine, et près de 18 % des sols de métropole présentent un aléa érosif moyen à très fort. D'après les travaux du Gis-Sol, plusieurs régions agricoles en AURA présente un aléa d'érosion fort à très fort compte tenu des caractéristiques des sols, du climat, de l'occupation et de la géomorphologie :

L'aléa d'érosion des sols par petite région agricole



Source : Gis Sol-Inra-SOeS, 2011.

Note : L'aléa d'érosion des sols par petite région agricole est estimé à l'aide du modèle Mesales (Modèle d'évaluation spatiale de l'aléa d'érosion des sols), développé par l'Inra. Il combine plusieurs caractéristiques du sol (sensibilité à la battance et à l'érodabilité), du terrain (type d'occupation du sol, pente) et climatiques (intensité et hauteur des précipitations). L'aléa est caractérisé par cinq classes représentant la probabilité qu'une érosion se produise.



Pour limiter l'érosion hydrique des sols, il est possible d'associer au sein des parcelles agricoles des interventions de nature paysagère et l'adoption de pratiques innovantes.

FACTEURS ET PROCESSUS DE L'ÉROSION HYDRIQUE

L'érosion hydrique des sols dépend de plusieurs facteurs : le climat, le sol, le taux de couverture, le relief et la mosaïque paysagère.

La pluie est l'agent essentiel de l'érosion hydrique. Son aptitude à provoquer de l'érosion dans les terres cultivées, l'érosivité, est fonction de l'intensité (mm/h) et de l'énergie qui en résulte mais aussi de l'histoire hydrique de la parcelle depuis le dernier travail du sol. Au cours de la saison culturale, les pluies cumulées et leur périodicité dégradent les états de surface du sol en formant une croûte dite de battance qui diminue ses capacités d'infiltration et augmente les risques de ruissellement et d'érosion (voir la série de photos ci-après).



État fragmentaire du semis



1^{er} stade de dégradation



Croûte de battance

Évolution des états de surface du sol après 135 (photo n°2) et 215 mm (photo n°3) de précipitation depuis un semis de tournesol sur limon battant de la vallée du Rhône (illustrations Chambre d'Agriculture de l'Isère – Jean-Pascal Mure)

Dans les sols limoneux du pays de Caux par exemple (Eimbeck, 1990), les capacités d'infiltration de l'ordre de 50 mm/h lorsque l'état de surface est fragmentaire s'abaissent progressivement jusqu'à des valeurs très faibles de quelques mm/h au fur et à mesure de la fermeture de la surface par la battance. La sensibilité des sols à l'érosion, l'érodibilité, dépend toutefois des propriétés qui ont un rôle sur leur stabilité structurale : texture (voir l'interprétation du triangle des textures ci-dessous), pierrosité, teneurs en matières organiques et pH des horizons de surface.



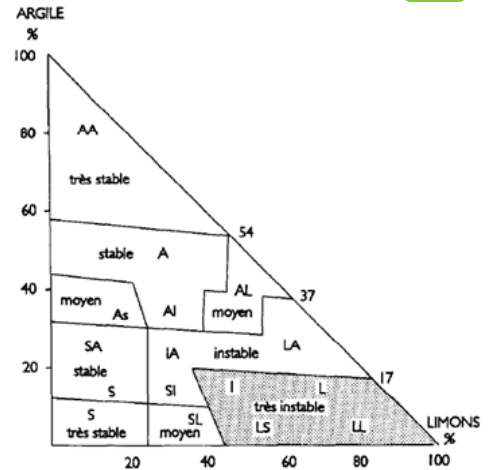
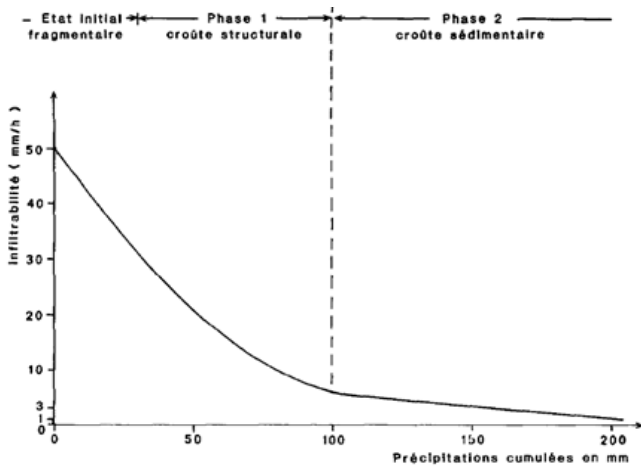


FIG. 3. — Triangle textural du GEPPA renseigné en classes de stabilité (d'après MONNIER et STENGEL, 1982).

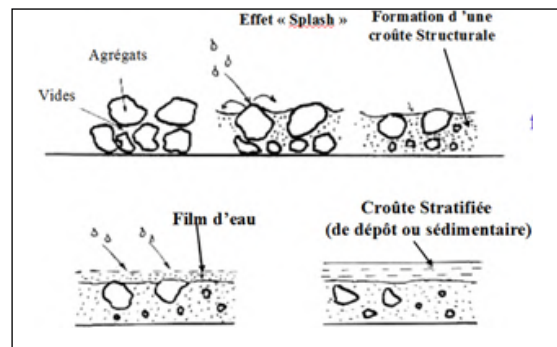
Cinétique de l'infiltration en sol limoneux (pays de Caux) en fonction de l'extension du phénomène de battance

Enfin les taux de couverture végétale, notamment ceux inférieurs à 20 %, les pentes, surtout supérieures à 5 %, et les longueurs de pentes sans obstacle de plus de 50 m constituent des facteurs de risque de ruissellement et d'érosion supplémentaires.

Selon les combinaisons de ces facteurs, le ruissellement peut se déclencher selon deux processus distincts :

- Les capacités d'infiltration de l'eau de pluie dans le sol sont inférieures à l'intensité des précipitations que le sol ne peut pas absorber en totalité : c'est le ruissellement Hortonien.
- Les capacités de stockage de l'eau dans le sol sont inférieures au cumul de la pluie : un ruissellement par saturation se déclenche alors.

Dans notre région, le risque d'érosion principal provient d'un ruissellement Hortonien qui peut se produire lors de pluies de fortes intensités de nature orageuse. L'action des gouttes de pluie sur la structure superficielle du sol provoque une désagrégation des mottes et le rejaillissement des particules fines et agrégats : c'est l'effet splash et le début du phénomène de battance :



Le processus de battance peut se développer avec la poursuite des précipitations et former une croûte structurale, voire une croûte de dépôt qui vont limiter très fortement les capacités d'infiltration de l'eau dans le sol et favoriser le ruissellement superficiel. Celui-ci peut générer le déplacement des particules de terre et l'installation d'un processus d'érosion d'abord diffus puis concentré. Orientées par le microrelief et la topographie de surface, les eaux ruissellent jusqu'à pouvoir provoquer l'incision du sol en formant griffures, rigoles puis ravines.

MAÎTRISE DU RUISSELLEMENT ET DE L'ÉROSION HYDRIQUE PAR DES OUVRAGES D'HYDRAULIQUE DOUCE

Les bandes enherbées, les haies, les fascines voire les fossés à seuils sont des installations naturelles et simples à mettre en œuvre seuls ou en combinaison.



Bande enherbée



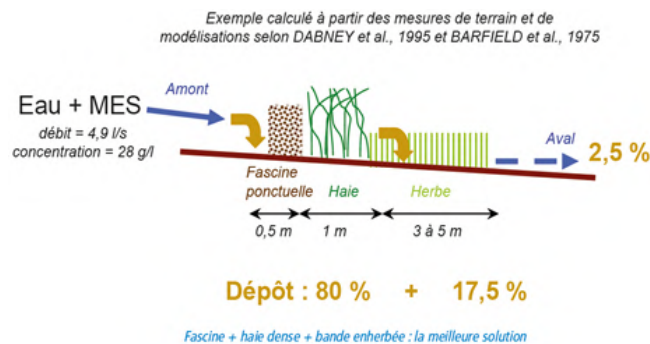
Fascine



Haies basses devant fascine

Illustrations : Chambre d'Agriculture de l'Isère – Jean-Pascal Mure

L'INRA (Bourg-Dun, 1997-1998) a montré par exemple une réduction de 80 % des transferts de sables et limons après une bande enherbée de 3 m de large, et de 98 % à la sortie d'une bande de 6 m. Dabney et al. et Barfield ont obtenu des résultats similaires en associant fascine, haie et bande enherbée.

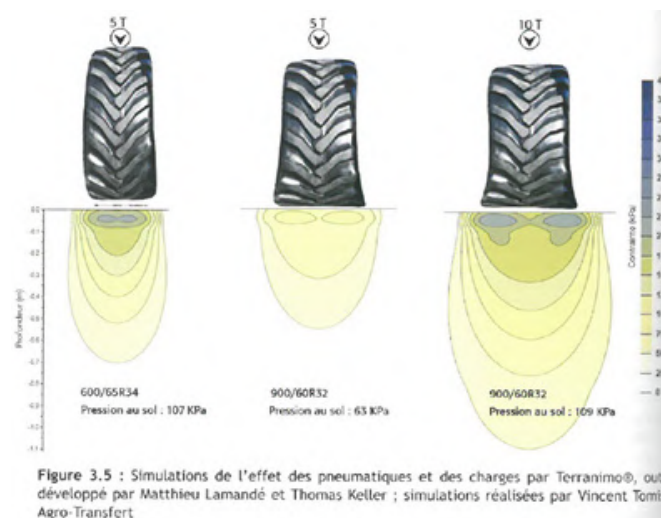


LEVIERS AGRONOMIQUES POUR UNE MEILLEURE MAÎTRISE DU RUISSELLEMENT ET DE L'ÉROSION :

L'adoption de pratiques agricoles innovantes peut permettre une meilleure maîtrise de l'érosion hydrique au sein de la parcelle cultivée, en favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol par une meilleure couverture, un travail du sol favorable aux états structuraux et une gestion des matières organiques améliorant la stabilité structurale du sol.

L'implantation de cultures intermédiaires procure un taux de couverture durant des périodes où le sol est le plus souvent nu. De même, les cultures associées améliorent le taux de couverture en particulier en début de cycle. Un taux de couverture élevé peut aussi être obtenu par la création d'un mulch avec les résidus de culture précédente. Les choix sont fonctions des successions de culture au sein de chaque parcelle. A l'échelle d'un versant, une organisation concertée des assolements pour assurer un damier alternant cultures d'hiver et cultures de printemps peut aussi être une solution de limitation des risques.

Pour limiter le phénomène de battance à la surface des sols, on peut aussi chercher à améliorer la stabilité structurale des sols sensibles par des pratiques d'amendements organique et/ou basique, comme par l'installation de couverts, et privilégier les outils de préparation des lits de semence qui n'affinent pas trop le terrain. Au sein du profil, les états structuraux pourront être préservés par des interventions culturales en conditions de sol suffisamment ressuyé, avec des pneumatiques si possible basses pressions afin de limiter les tassements (voir le schéma ci-dessous). Ils peuvent aussi être améliorés par toutes les pratiques favorables aux activités biologiques.



Les labours profonds sont à éviter au profit de labours « agronomiques » ou d'un travail du sol superficiel voire très superficiel.

Toutes ces pratiques peuvent être combinées et sont à adapter en fonction des systèmes de culture et des systèmes d'exploitation.



Pour aller plus loin :

[Girard et al., 2011. L'érosion des sols. In sols et environnement, dunod, 708-728.](#)

[Ducommun et Lucot, 2017. Identifier et quantifier les risques d'érosion. In les cartes et les données pédologiques : des outils au service des territoires, educagri, 112-121.](#)

<http://www.areas-asso.fr/>

[Le slake test: évaluer la cohésion des agrégats du sol](#)

[CA_Cultivons le potentiel de nos sols, limitons l'érosion](#)

[Maitrise de l'érosion hydrique des sols cultivés](#)

[La maitrise collective du ruissellement érosif](#)

[Test de stabilité à l'eau : fiche Tech et Bio](#)

[Test de stabilité structurale - méthode USDA](#)

FERTISOLS.FR

LA FERTILITÉ BIOLOGIQUE



Fertisols
DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER
Auvergne-Rhône-Alpes

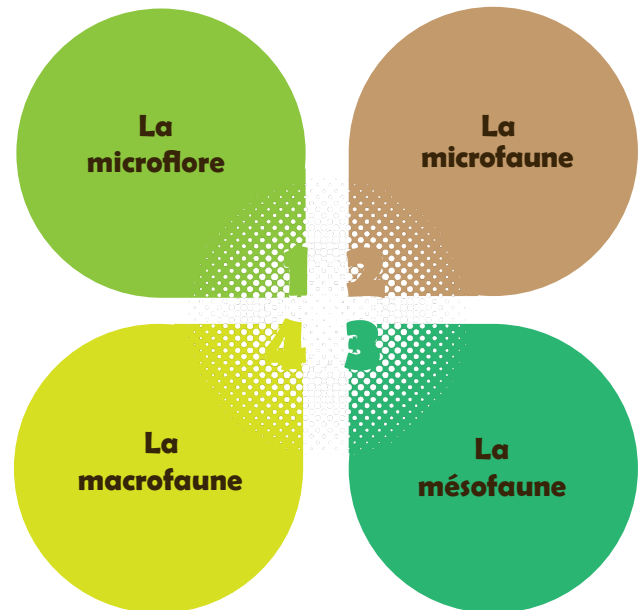
LA VIE BIOLOGIQUE DANS LE SOL

Les sols hébergent **un quart de la biodiversité de notre planète** et constituent l'un des écosystèmes les plus complexes de la nature.

Ils **abritent une myriade d'organismes** qui interagissent et contribuent aux cycles mondiaux qui rendent toute vie possible.

Cette fiche est un outil qui **permettra d'identifier les habitants du sol** ainsi que leurs rôles.

LES HABITANTS DU SOL



LES HABITANTS DU SOL

De la flore à la faune, ils peuvent être classés par taille :

● La microflore (<0,2mm)

Micro-organismes du sol composés principalement des archées, bactéries dont actinomycètes, algues et champignons. Espèces pionnières de la décomposition des matières organiques. **C'est la diversité et les complémentarités de chaque espèce qui assurent une meilleure efficacité du cycle de la MO.** Plus la microflore est riche et complète, plus les éléments nutritifs seront disponibles rapidement et en quantité suffisante.



● La microfaune (<0,2mm)

Espèces pour la plupart microphages ou phytophages, comprenant les familles des protozoaires, tardigrades, rotifères et nématodes notamment. **Cette microfaune va être le prédateur principal de la microflore** et participe ainsi à l'activité biologique du sol en assurant un cycle « prédateurs-proies ». **Elle va également être le précurseur de la remise en route de l'activité biologique** après des phases de perturbations (ex : sécheresse). Certains organismes (ex : les nématodes phytophages,...) s'attaquent aux racines des plantes et peuvent être des ravageurs des cultures.

● La macrofaune (>4mm)

Composée principalement des vers de terre (lombriciens), millepattes, insectes (coléoptères, diptères, hyménoptères...), araignées, crustacées terrestres (cloportes), mollusques (limaces, escargots). Ces organismes ont tous des rôles variés et complémentaires :

- Ils participent à la fragmentation et à la digestion de la matière organique aboutissant à la fourniture d'éléments nutritifs pour les plantes,
- Ils modifient la structure du sol en creusant celui-ci (galeries, cavités, chambres d'estivation) et en déposant leurs déjections dans le sol ou à la surface (turricules). Ces actions favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol, réduisent la vitesse de ruissellement à la surface et l'érosion, favorisent l'activité microbienne et, in fine, améliorent les rendements (+25% en moyenne).





Collembolus istomides

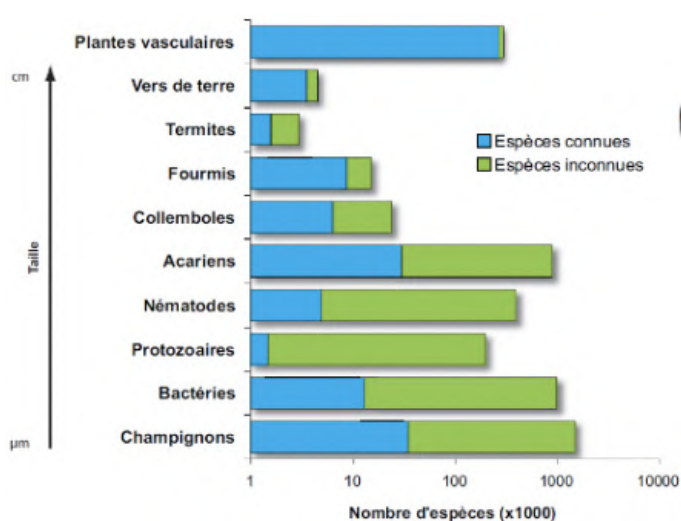
● La mésofaune (0,2-4mm)

Composée principalement des acariens, collembolés (insectes primitifs), et enchytréides (cousins des vers de terre). Ces espèces génèrent et maintiennent une microporosité, assurent une partie de la fragmentation et du brassage de MO, régulent les populations de micro-organismes et disséminent les bactéries et champignons dans le sol.

● Les racines et la rhizosphère

Même si sa fonction principale est d'assurer l'alimentation de la plante, la racine agit fortement sur le sol et sur son activité biologique. Dans sa zone d'influence (la Rhizosphère), elle modifie les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol par son action mécanique mais aussi et surtout via la production d'exsudats racinaires ou encore en s'associant avec des micro-organismes en symbiose (nodosités des légumineuses, mycorhizes avec des champignons).

Elle est le lieu privilégié d'échanges entre ces micro-organismes et les végétaux.



Source : La vie cachée des sols, programme GESSOL, ADEME

LE RÔLE DES ORGANISMES VIVANT DANS LE SOL

● La fertilité du sol

Les organismes du sol supportent indirectement la qualité et l'abondance de la production végétale en renouvelant la structure du sol, en permettant la décomposition des matières organiques et en facilitant l'assimilation des nutriments minéraux disponibles pour les plantes. Ce sont des acteurs importants dans les cycles des principaux nutriments (C, N, P,...).

● La protection des cultures

Avoir une importante biodiversité des sols, c'est augmenter la probabilité que les sols hébergent un ennemi naturel des maladies ou ravageur des cultures et cela laisse moins de place pour les « opportunistes » que sont les ennemis des cultures. Maintenir ou favoriser une grande biodiversité des sols permet donc de limiter l'utilisation des pesticides.



● La régulation du cycle de l'eau et la lutte contre l'érosion des sols

La présence « d'ingénieurs de l'écosystème » tels que les vers de terre **favorise l'infiltration de l'eau dans le sol** en augmentant la perméabilité des horizons de surface voire plus profonds (les galeries de vers de terre anéciques peuvent aller jusqu'à 1 m dans de sols sains ; l'exploration racinaire peut aller même au-delà). Par exemple, **la disparition de populations de vers de terre dans des sols contaminés peut réduire la capacité d'infiltration des sols et amplifier le phénomène d'érosion.**

● La décontamination des eaux et des sols

Les micro-organismes peuvent immobiliser et dégrader les polluants. **Cette alternative aux méthodes conventionnelles de dépollution pourrait permettre de réduire le coût de la décontamination des sols en Europe** estimé en 2000 entre 59 et 109 milliards d'Euros.

Les micro-organismes du sol sont la première voie de dégradation des produits phytosanitaires organiques.

Pour info, l'université de chimie de Clermont Auvergne, via Probiotech, travaille sur les couples bactérie/matière active pour dépolluer les sols ou les eaux sur différentes problématique de pollutions diffuses.

● La santé humaine

Les organismes du sol, par leur étonnante diversité, **constituent le plus important réservoir de ressources génétiques et chimiques pour le développement de nouveaux produits pharmaceutiques.** Par exemple, l'actinomycine et la streptomycine sont des antibiotiques communs dérivés des champignons du sol. Aujourd'hui, de nombreux scientifiques étudient la biodiversité du sol afin de découvrir les médicaments du futur mais aussi des biocatalyseurs (ex : bioraffinage des matériaux lignocellulosiques).

RECONNAÎTRE LES ORGANISMES VIVANTS DU SOL

Les organismes du sol sont nombreux et leur identification peut s'avérer compliqué.

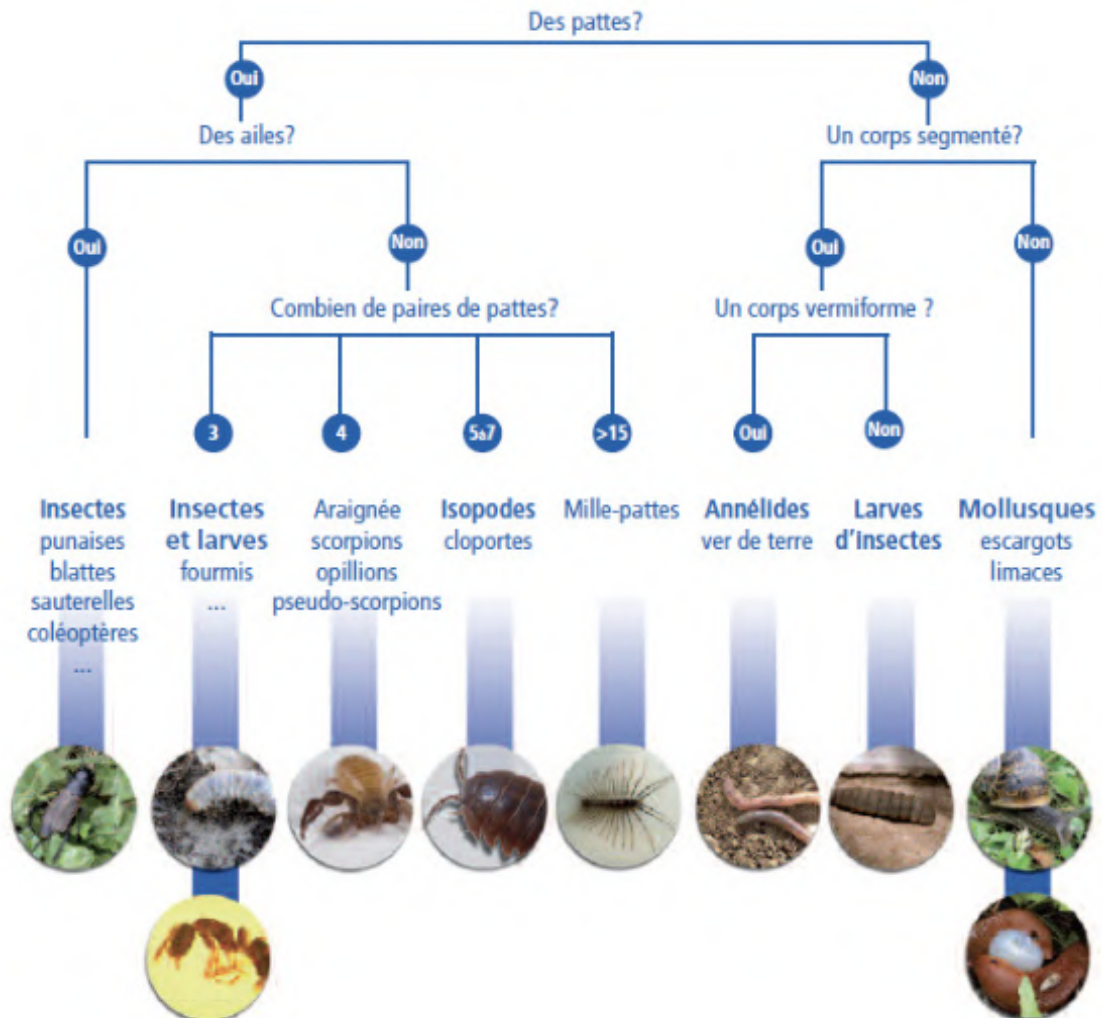
Cependant, il est simple de les classer dans les grands ordres taxonomiques et même d'aller plus loin via une clé de détermination.

La clé de détermination suivante peut nous aider !



Clé simplifiée de la macrofaune du sol

inspirée de Ruiz et al. 2008



Pour aller plus loin :

[*Tableaux grilles conseils pour la fertilisation en NPK et Ca Mg pour les prairies et cultures fourragères, et tableaux des valeurs fertilisante des PRO sur prairies, cultures fourragères*](#)

[*Valorisation des engrais de ferme sur prairie et culture fourragère*](#)

[*Guide régional de la fertilisation prairies et cultures fourragères, CA Auvergne*](#)

FERTISOLS.FR



Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

LES INDICATEURS DE VIE DANS LE SOL

De nombreux indicateurs de la vie dans le sol existent mais il est parfois difficile de faire son choix.

En effet, différents niveaux de réalisations, de mises en œuvre et d'interprétations sont possibles.

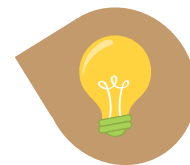
Dans cette fiche, nous citons et écrivons succinctement les principaux indicateurs de vie dans le sol.

Les fiches, protocoles réalisés pour utiliser ces indicateurs sont disponibles sur le site Fertisols.fr

N'hésitez pas à consulter la partie « Aller plus loin » de cette fiche, pour avoir une vision plus exhaustive des indicateurs disponibles pour évaluer la vie dans le sol.



PETIT TOUR D'HORIZON DES INDICATEURS DE LA VIE DANS LE SOL ET À SA SURFACE



● Observation des lombrics

Les vers de terre, ou lombriciens, sont indicateurs de la qualité des sols. Ils sont parmi les auxiliaires du sol les plus reconnus par leur contribution à la fertilité des sols.

En effet, les vers de terre jouent un rôle important dans la dégradation et le recyclage des litières et de tout résidu organique disponible dans le sol ou à sa surface. Ils créent des réseaux de galeries qui assurent un transfert et un stockage du carbone dans les sols et de l'eau.

Afin de les observer et quantifier, l'Observatoire Participatif des Vers de Terre (OPVT) propose un outil d'évaluation simplifiée de la biodiversité animale à l'aide des vers de terre, dans les sols agricoles ou naturels.

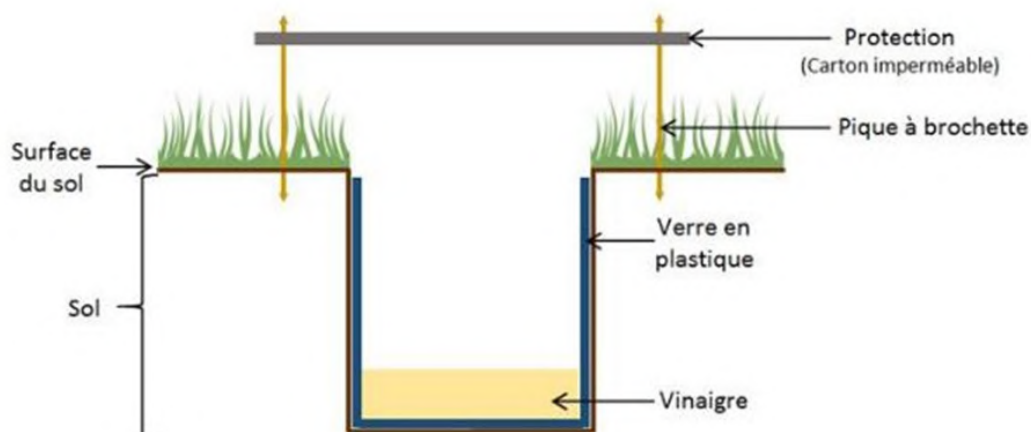
Plusieurs protocoles sont proposés, test bêche vers de terre, test moutarde, paniers à vers de terre... La saisie des résultats est également possible sur le site internet de l'OPVT, ce qui permet la constitution d'une base de données et une mutualisation des informations.

A retrouver sur le site <https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/>

● Observation des organismes présents à la surface du sol avec le pot Barber

1) Le piège Barber (ou pot Barber) est un dispositif simple pour faire de la capture d'insectes du sol. En effet, il ne demande pas d'investissement et est accessible par tout le monde. L'objectif est de capturer les organismes qui se déplacent sur le sol via un pot enterré à la surface du sol.

● Le dispositif



● Comment faire ?

- 1- De préférence, préparer un toit pour protéger le récipient en cas de pluie durant la semaine de piégeage. Pour cela il suffit de découper le carton imperméable et planter aux quatre extrémités les piques pour brochette.
- 2- Creuser un trou avec le plantoir à bulbe (ou la petite pelle) où vous le souhaitez dans votre jardin.
- 3- Remplir le verre d'un tiers de vinaigre et le déposer dans le trou que vous venez de creuser (Le gobelet doit être légèrement en dessous de la surface du sol et contre les parois du trou pour que la faune puisse tomber dans le piège). Protéger le piège en plantant le toit que vous avez fabriqué (sauf si aucune pluie annoncée).
- 4- Récupérer le verre une semaine plus tard puis transvaser le contenu pour faciliter l'observation dans un saladier ou un autre contenant transparent, puis identifier les organismes ainsi capturés pour un piège donné grâce à la reconnaissance par l'image.

Issue du protocole d'échantillonnage mis au point par A. Auclerc (Université de Lorraine / ENSAIA).

2) La planche à invertébré

L'observatoire agricole de la biodiversité a mis en place un outil simple et peu onéreux qui permet d'observer les invertébrés présents sur ses parcelles.

A l'aide d'une simple planche de bois disposée au sol et une observation de ce qu'elle cache tous les mois, on peut observer la diversité des invertébrés qui colonisent une parcelle.

Le protocole est simple et une clé de détermination permet d'identifier simplement les animaux observés. Les résultats peuvent être envoyés sur le site de l'observatoire agricole de la biodiversité afin de constituer une base de données nationale et ainsi mieux identifier les populations d'invertébrés présent dans les parcelles agricoles.

Vous trouverez le protocole d'observation sur le site <http://observatoire-agricole-biodiversite.fr/>

● Observation de l'activité biologique du sol

1) Le Leva BagMD

L'indicateur LEVA-bagMD est un indicateur global de l'activité biologique des sols par une mesure au champ de la dégradation d'une matière organique de référence dans un sol agricole.

Mise au point par l'université d'Angers, cet indicateur **nécessite l'acquisition d'un sachet de nylon contenant la matière organique de référence (paille)** et permet d'estimer le taux de dégradation de cette litière en calculant sa perte en masse au cours du temps issue de l'activité des organismes décomposeurs traversant la maille. Il s'agit **d'un nouvel outil de terrain** proposé aux agriculteurs pour lequel un référentiel d'interprétation est en construction.

C'est l'ESA Angers qui se fera l'interprète des résultats obtenus. Pour avoir plus de détails, consulter le site <https://www.levabag.com/>



mise en place d'un LEVA-bag^{MD} dans le sol

2) Le test teabag

Dans le cadre du programme international sur les changements climatiques, un protocole de mesure a été mis en place afin de mesurer la capacité des sols à stocker le carbone en enterrant de la matière organique normée pendant un temps défini.

Cette matière organique normée est représentée par des sachets de thé vert et rouge.

Les pesées des sachets permettent de calculer plusieurs indicateurs :

- o S : capacité du sol à huméfier de la MO Fraîche
- o 1-S : capacité du sol à minéraliser l'année de l'apport
- o K : capacité du sol à déstocker de la MO Stable

Le TeaBag est un **indicateur de fertilité biologique** (notamment de l'action des micro-organismes dans le sol) qui permet un pré diagnostic et d'être un outil de suivi.

Il est peu onéreux, reproductible mais aujourd'hui son interprétation reste relative et le référentiel est à construire.

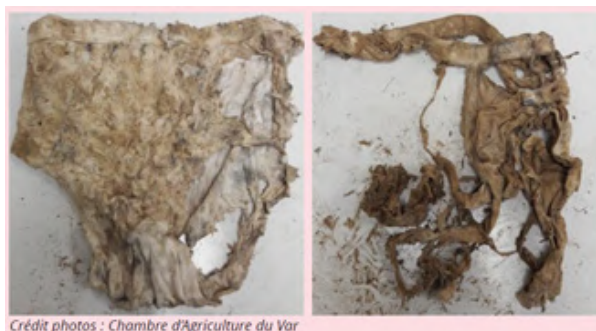
Opération Tea Bag mené par la CA89 [ici](#)

Toutes les références, protocoles, calculs d'indicateurs sont à retrouver sur le site <http://www.teatime4science.org/>

3) Le test du slip

Il est toujours difficile de mesurer l'activité biologique des sols. Mais la mesure de la décomposition de la matière organique peut être réalisée grâce à un test très simple : **le test du slip. Afin de mesurer la capacité d'un sol à décomposer les résidus de culture, on les remplace par un slip coton avec elastane (plus simple ensuite de le récupérer et faire la pesée).** La décomposition de celui-ci permettra d'évaluer s'il y a une bonne activité biologique dans le sol.

Il n'y a pas pour l'instant de protocole officiel, mais malgré tout vous pouvez consulter le poster édité par la CA du Var qui a utilisé cette méthode **pour évaluer les sols viticoles dans le cadre du réseau DEPHY ainsi que la fiche conseil « Fiches Outils simples pour connaître le sol » présentée lors du Tech&Bio par la CA Rhône-Alpes (documents téléchargeable sur la plateforme FERTISOLS).**



Crédit photos : Chambre d'Agriculture du Var

4) Le test bait lamina

Il permet de mesurer la vitesse de décomposition de la matière organique dans le sol. Des languettes en PVC percées de trous, remplies d'un substrat organique sont implantées verticalement dans le sol à plusieurs niveaux de profondeur. La vitesse de consommation du substrat est en lien avec l'activité biologique du sol notamment celle des invertébrés du macrofaune et de la mésofaune du sol.

Le dispositif permet de détecter les niveaux d'activité à différentes profondeurs de sol.

Ce test est en cours de normalisation ISO.

5) Les tests de stabilité à l'eau

Il s'agit de plonger une motte ou un agrégat de terre dans de l'eau ou dans une autre solution et de vérifier sa vitesse de désagrégation. Ces tests renseignent autant sur la stabilité texturale de l'échantillon que sur sa stabilité biologique et donc sur l'activité biologique du sol.

Le kit ABSol a été mise en place par Vert Carbone et permet de réaliser ce test. (Disponible sur Vert-Carbone.fr).



POUR ALLER PLUS LOIN ET ESTIMER UNE ACTIVITÉ, QUANTIFIER CERTAINES ESPÈCES DE MICROORGANISMES...

Depuis quelques années de nouvelles analyses ont vu le jour pour vous accompagner dans la gestion de la fertilité biologique de vos sols.

Le laboratoire **CELESTA-Lab** se propose à travers ses analyses de répondre à un certains nombres de questions.



Détermination	Répond à quelle problématique ?
Fractionnement de la matière organique	<ul style="list-style-type: none"> - Quels apports organiques : quantité et qualité ? - Quel est la capacité nutritive de mon sol à moyen et à long terme ? - Capacité de résistance au manque ou à l'excès d'eau ? - Drainage à améliorer ? - Est - ce que l'azote est disponible ? - Quels enherbements / engrais verts / couverts ?
Biomasse Microbienne	<ul style="list-style-type: none"> - Quels apports organiques : quantité et qualité ? - Quel travail du sol (décompaction) ? - Drainage à améliorer ? - Quelle est la capacité tampon du sol à court terme ? (eau + nutriments) ? - Qualité de l'équilibre acido-basique ? - Impacts des traitements phytosanitaires ? - Quels enherbements / engrais verts / couverts ?
Activités minéralisatrices de C et N	<ul style="list-style-type: none"> - Quels apports organiques : quantité et qualité ? - Quelle est la disponibilité à court terme de l'azote pour les plantes ? - Fumure organique ou minérale d'azote ? - Quel travail du sol (décompaction) ? - Impacts phytosanitaires ? (cuivre) - Bon fonctionnement de la nitrification ? - Quels enherbements / engrais verts / couverts ? - besoin de légumineuses ?
Indice d'activités Microbiennes globales	<ul style="list-style-type: none"> - Comparaison de deux parcelles - Réactivation du sol par la gestion de la matière organique ou des équilibres physico-chimiques du sol

Le laboratoire **Elisol** est le premier en France à proposer des analyses du fonctionnement biologique des sols par l'analyse de sa biodiversité.

Elles sont basées sur l'étude de communautés d'organismes pluri-cellulaires (notamment les nématodes), bio-indicateurs, présents dans le sol.



Pour aller plus loin :

- Les modes opératoires des différentes mesures citées sont disponibles sur la plateforme FERTISOLS
- Ministère de l'agriculture : [Tour d'horizon des indicateurs relatifs à l'état organique et biologique des sols](#) - 2017
 - <http://observatoire-agricole-biodiversite.fr/>
 - <https://www.secure.mg/fiches-rapports-techniques>
- Observatoire participatif des vers de terre – Université de Rennes 1 : https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/OPVT_accueil.php
 - Protocoles CA26 test du Slip et test de stabilité à l'eau
 - Fiche Prosensol : test de stabilité USDA
- Méthode Visual Soil Assment : <http://www.fao.org/3/i0007e/i0007e00.htm>
 - Réseau REVA (Observatoire Français des Sols Vivants)
- Observatoire agricole de la biodiversité. Planches à invertébrés terrestres
 - [Les Bio indicateurs de l'état des sols, principe et exemples d'utilisation](#)
- [Validation d'un tableau de bord d'indicateurs sur un réseau national de fermes en grande culture et en viticulture pour diagnostiquer la qualité biologique des sols agricoles](#)
- [PROJET CASDAR 1116 2011 - AgrInnov - Tester les Indicateurs de l'état biologique des sols en lien avec les pratiques agricoles - COMPTE RENDU FINAL DE PROJET](#)
- [Valoriser les indicateurs microbiologiques en grandes cultures et en polyculture élevage](#)
- [Élargir le champ de l'analyse de terre à la biologie des sols](#)
 - Le LEVA-Bag
- [Vers une méthode d'observation de l'activité des vers de terre : Test de détermination et quantification des populations de vers de terre](#)
- [Le test du slip pour apprécier l'activité biologique des sols en agriculture](#)
 - [Connaitre et caractériser la biodiversité des sols](#)
- [Les Bio indicateurs de l'état des sols. Principe et exemples d'utilisation](#)
- [OPVT Fiche terrain VDT - Suivi des lombriciens en grandes cultures et maraichages 2012-01-05](#)
- [OPVT Fiche terrain VDT - Suivi des lombriciens en cultures perennes 2012-01-05](#)
- [OPVT Fiche terrain VDT - Suivi des lombriciens en prairies 2012-01-05](#)
- [OPVT Fiche terrain VDT - fiche terrain test bêche 2016 02 08](#)
- [OPVT mode opératoire Test Bêche Vers de terre](#)
- [OPVT vers de terre cle identification 2014](#)

FERTISOLS.FR

Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

LES PLANTES BIO-INDICATRICES

Chiendent dans blé

Une **plante bio-indicatrice** est une plante facilement reconnaissable qui, en poussant spontanément à un endroit, **donne des indications sur les propriétés du sol** où elle pousse. Ces propriétés résultent de l'interaction entre les conditions naturelles du milieu et les pratiques culturales. **Le sol contient des milliers de graines**, qui ne vont germer que quand les conditions deviennent favorables. C'est lorsque celles-ci deviennent majoritaires et « envahissantes » qu'il faut envisager une modification des pratiques avant que cela ne soit trop tard. Rumex, grand chardon, ortie, mousse... Ces plantes peuvent devenir une vraie calamité pour certains agriculteurs.

EXEMPLES DE PLANTES BIO-INDICATRICES

**Chiendent
pied-de-
poule**

**Ortie
brûlante**

**Plantin
lancéolé**

**Rumex à
feuilles obtuses**



FAIRE SON DIAGNOSTIC

L'**observation** peut permettre de déceler certains problèmes et est un réel indicateur.

Voici quelques exemples de plantes indicatrices accompagnés de leviers d'actions pour agir sur ces plantes.

● **Chiendent pied-de-poule**

(*Cynodon dactylon*)

- Cultures intensives, vignes vergers
- Perte d'humus déstructuration des argiles par les intrants chimiques ; compactage des sols en zone méditerranéenne ; fort contraste hydrique : plante thermophile.



● **Ortie brûlante** (*Urtica urens*)

- Cultures maraîchage
- Excès de nitrates ou de nitrites, MO d'origine animale, fiente de volailles et guano.

● **Rumex à feuilles obtuses**

(*Rumex obtusifolius*)

- Cultures vignes et vergers
- Engorgement en eau et en MO d'origine animale en excès ou mal compostée provoquant des hydromorphismes et des anaérobioses totales, blocage des oligoéléments et du phosphore, production de nitrite qu'il faut éviter. Il faut relancer la vie microbienne, si on ne veut pas que cette situation soit irréversible (plante rare en début du siècle) : Engorgement dû aux fumiers non compostés.



● **Plantin lancéolé** (*Plantago lanceolata*)

- Cultures vignes et vergers bien équilibrés
- Équilibre en eau et en MO, bonne activité microbienne aérobie.



QUELQUES LEVIERS D'AMÉLIORATIONS

● Par rapport au caractère acido-basique du sol

Les sols « vrais » acides, ils ont un pH compris entre 3 et 6,5 et sont carencés en bases. Ce sont des sols dits pauvres, peu fertiles. La vie microbienne est souvent faible, du fait de cette carence en bases, qui constituent une monnaie d'échange pour les microbes du sol.

- On peut implanter un couvert constitué de plantes peu gourmandes, à développement modeste, avec une bonne proportion de légumineuses : trèfle blanc nain, moha (sur terrains secs), seigle, vesce, sarrasin...
- Mulcher les plantes spontanées avant qu'elles ne montent en graines peut constituer une solution.
- Attention ! Si des pluriannuelles, comme le Rumex, apparaissent, lutter contre elles dès le départ.

● Par rapport à l'azote

Cette matière organique est riche en azote ou en nitrates, souvent aussi en potasse.

- Lorsque le sol est engorgé en azote, il faut supprimer les apports et en particulier ne jamais épandre de lisiers ou de nitrates d'ammonium.
- Amender avec des composts équilibrés C/N, très murs, de façon à améliorer la teneur du sol en humus et favoriser le CAH.

● Par rapport au tassement des sols

Les bactéries aérobies ont besoin de l'oxygène de l'air pour vivre. La battance des sols limoneux et les compactages par des engins trop lourds, en chassant l'air du sol, mettent les bactéries aérobies en danger d'asphyxie.

- Pour éviter la battance des sols limoneux, éviter les préparations de sol affinant trop la terre.
- On peut relancer la vie microbienne par un décompactage léger avec un outil de type « actisol » à 15 – 20 cm de profondeur, jamais plus profond.
- Un couvert végétal incluant des céréales va favoriser la structuration du sol et une meilleure circulation de l'air. Ex : un mélange orge + triticales qui va apporter beaucoup de lignine et booster la vie microbienne.

Pour aller plus loin :

[*LES PLANTES BIO-INDICATRICES, fiche technique viticulture » du groupement des Agriculteurs Biologique du Gers*](#)

[*Fascicule des conditions de levée de dormance des plantes Bio-indicatrices » -Nouvelle formule – Gérard DUCERF*](#)

FERTISOLS.FR



Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

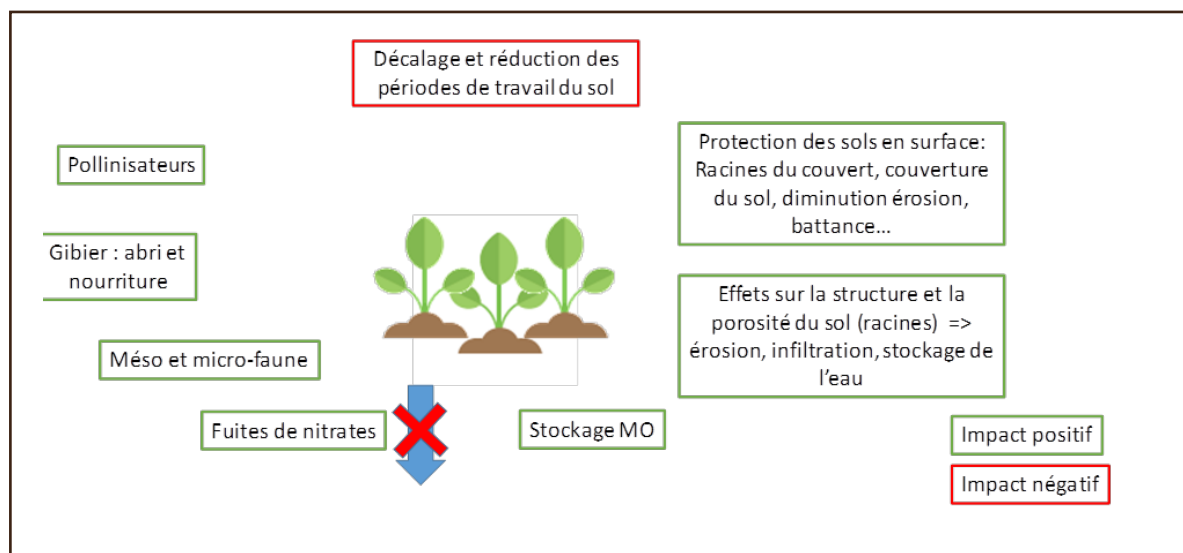
COUVERTS : CHOIX ET IMPACTS SUR LA FERTILITÉ DU SOL

Les couverts sont fréquemment mis en avant pour leurs contributions bénéfiques à la fertilité des sols qu'elle soit physique, chimique ou biologique. En plus de tous les autres bénéfices qu'ils peuvent avoir. (schéma ci-contre)

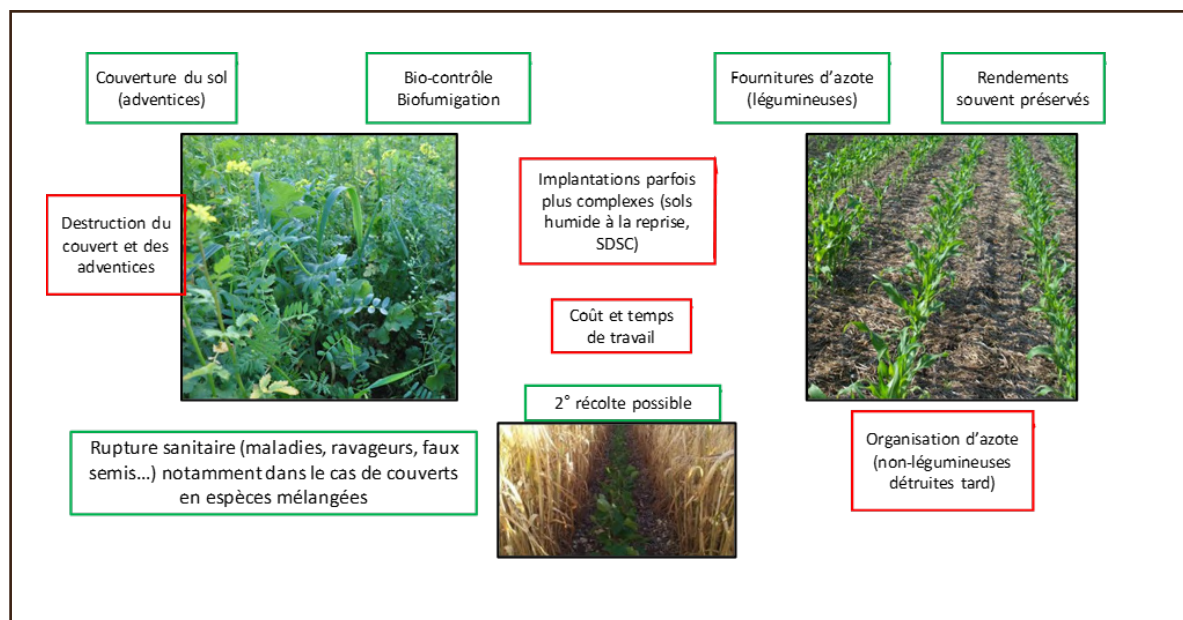
Cependant des freins existent encore tels que le choix des espèces les plus adéquates au système de culture, le temps, le coût et surtout une réussite qui est aléatoire, pas toujours au rendez-vous et qui dépend du soin que l'on y apporte.



LES COUVERTS VÉGÉTAUX : IMPACTS SUR LE SOL ET L'ENVIRONNEMENT



Quels impacts sur les pratiques ?



Source : Arvalis Institut du végétal



● L'implantation

Soigner l'implantation et favoriser le matériel présent sur l'exploitation. **En effet beaucoup de techniques sont possibles :**

- Semis à la volée avant récolte
- Semis direct à la récolte sous la coupe de la moissonneuse batteuse
- Semis à la volée recouvert ensuite par un déchaumage ou semoir sur déchaumeur
- Semis conventionnel
- Semis direct après récolte (semoir à dent ou à disque).



Source : Arvalis Institut du végétal

Semis du couvert au passage de la moissonneuse batteuse



© J Guil (Chambre d'agriculture de Bretagne)

Semis à la volée sur une culture en place



Source : Arvalis Institut du végétal

Semis à la volée précédent le passage d'un outil à dents

CHOIX DES COUVERTS : CHOISIR SON COUVERT EN FONCTION DE SON SOL, DE SA DATE D'IMPLANTATION ET DE SA ROTATION

En effet, pour avoir une biomasse suffisante en sortie d'hiver, **il faudra adapter au mieux les espèces choisies au moment et conditions de l'implantation.** Préférer **les mélanges pour assurer les levées et augmenter les bénéfiques**, soyez opportuniste !

L'outil gratuit développé par Arvalis et disponible à l'adresse suivante <http://www.choix-des-couverts.arvalis-infos.fr/> peut vous aider à choisir la ou les espèces les plus adéquates à votre contexte.

Différents guides techniques ont également été édités par les chambres d'agriculture de la région AURA. Notamment le guide « activer les atouts agronomiques des couverts végétaux » de la CA 26 qui reprend les questionnements à avoir afin de bien maîtriser l'itinéraire technique du couvert.



Choix des couverts

Le choix des couverts n'est pas toujours aisé au vu du nombre d'espèces et des nombreux critères qui peuvent être pris en compte. Cet outil vous guide pour choisir le ou les couverts qui conviennent le mieux à votre situation.

1 2 3

- Résultats -

93 couverts correspondent à vos critères :

Score	COUVERT	Famille	Période de semis Du 01/09 au 16/09	Culture suivante	Coût relatif	Piège à nitrate	Effet fertilisant
6.4	Moutarde blanche	Crucifère	+	-	+	-	+
6.3	Moutarde blanche nématicide	Crucifère	+	-	+	-	+
6.3	Colza fourragère	Crucifère	+	-	+	-	+
6.1	Navette fourragère	Crucifère	+	-	+	-	+
6	Moutarde blanche nématicide + Radis fourragère nématicide	Mélange	+	-	+	-	+
6	Moutarde brune	Crucifère	+	-	+	-	+
6	Moutarde brune nématicide	Crucifère	+	-	+	-	+

● La destruction : à réfléchir avant l'implantation

La destruction peut se faire de différentes manières, (**mécanique, chimique, climatique**) et ce choix doit déjà se réfléchir au moment du choix du couvert. Certaines espèces seront plus ou moins sensibles aux différents modes de destruction.

Par exemple, si l'on veut privilégier **une destruction sans chimie** (par ex avec rouleau), **il faudra éviter le seigle ou le ray grass** si on pense que l'on atteindra seulement **le stade tallage ou le trèfle incarnat s'il n'atteint pas le stade floraison** (Cf. conditions de semis du couvert).

Si l'on atteint le stade floraison, la destruction pose alors moins de difficultés. Cependant il faut **prendre garde à ce que le couvert ne graine pas**.

Les sensibilités sont également **à moduler en fonction du développement du couvert et de son stade** : couvert développé, stade floraison, variété précoce = **plus sensible au gel**.

Quelques exemples

	Gel	Roulage sur gel	Broyage	Labour	Déchaumage	Glyphosate
Niger, Tourmesol, Sarrasin	0 à -4°	++++	+++	++++	+++	+++
Moutarde blanche	-5 à -10°	+++	++++	(+ broyage)	(+ broyage)	+++
Phacélie	-5 à -13°	++++	+++	++++	+++	+++
Vesce, Féverole (floraison)	-5 à -10°	+++	selon hauteur	++++	+++	+++
Céréale (épiée)	-5 à -10°	+++	+++	+++	+++	++++
Seigle, ray grass (tallage)	<-15°	+	+	+++	++	+++
Radis fourrager (rosette)	-8 à -15°	++	+	++	++	++
Très sensible	++++	Assez sensible	++			
Sensible	+++	Peu sensible	+			

Source : Arvalis Institut du végétal

Pour aller plus loin :

Nom de fichier	Titre du document
Nov2015-Comifer-Gemas-ARTICLE-LABREUCHE-impact couvert sols.pdf	Impact des cultures intermédiaires sur les propriétés chimiques et biologique des sols
https://www.perspectives-agricoles.com/file/galleryelement/pj/d2/31/7d/ae/433_3533706090215912534.pdf	PA 433: couvert et fertilité, évolution
agro-cahier-couverts-vgtx.pdf	Choisir et réussir son couvert végétal pendant l'interculture en AB
choix-des-couverts-ca_tarn.pdf	Eléments pour le choix des couverts végétaux
Agri-Bio_FICHE, Légumineuses en interculture.pdf	Agri-Bio_FICHE, Légumineuses en interculture.pdf
Nov2015-Comifer-Gemas-RESUME-LABREUCHE-impacts-couverts-sols.pdf	Impacts des cultures intermédiaires sur les propriétés chimique et biologiques des sols
17-BROCHURE COUVERTS VEGETAUX version finale	Activer les atouts agronomiques des couverts végétaux
https://comifer.asso.fr/fr/component/phocadownload/category/89-labreuche.html	Choix des couverts
Les Fiches Couverts - ARVALIS-infos.fr	Fiches couverts

FERTISOLS.FR

LA FERTILITÉ CHIMIQUE



Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

LES LEVIERS POUR AUGMENTER LA MATIÈRE ORGANIQUE

Le taux de matière organique influence notablement la fertilité du sol dans les trois compartiments que sont la fertilité chimique, biologique et physique. (Voir Fiche n°1.4 - La Matière organique)

Une des voies pour améliorer la fertilité de son sol est donc d'influer durablement sur le stock de carbone, de matière organique présent dans le sol.



AGRICULTURES & TERRITOIRES
CHAMBRES D'AGRICULTURE
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

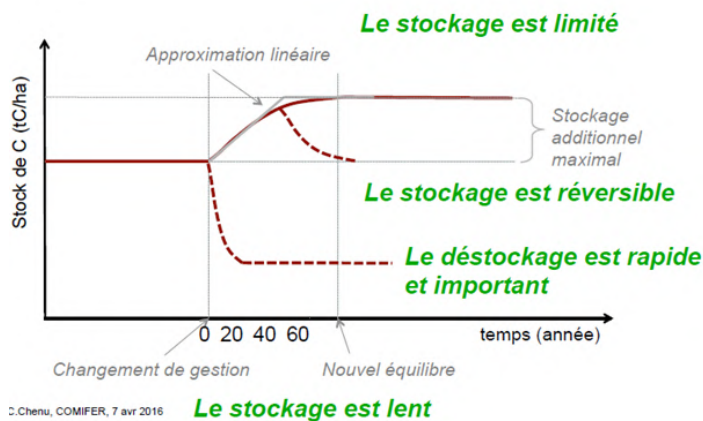
isaralyon
Une école d'ingénieurs au cœur de la vie

ARVALIS
Institut du végétal

VetAgro Sup
Campus Agronomique de Clermont

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION
avec la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
«Développement agricole et
rural»

Les différents paramètres pour agir sur le stockage du carbone dans le sol



- **La restitution des pailles est un phénomène lent mais non négligeable.**

Grâce aux outils de simulation de l'état organique des sols tel que SIMEOS AMG, on peut estimer un gain de 2 % en 100 ans.

- **La mise en place de couverts en interculture permet d'augmenter le stock de carbone dans le sol.**

Les restitutions sont dépendantes du tonnage de matière enfoui lui-même dépend des conditions d'implantation, du développement et du devenir du couvert (intégralement restitué, pâturé, CIVE, récolté en dérobée). 1 tonne de matière sèche restituée correspond à environ 400 kg de carbone stocké.

- **Des apports de digestats ou de composts sont également souvent bénéfiques.**

Malgré la grande diversité des digestats, l'impact sera de manière générale positif sur le taux de matière organique du sol.

Pour les composts et autres produits résiduaux organiques, le type produit mais aussi la dose et la fréquence des apports auront une influence plus ou moins forte sur le taux de matière organique d'un sol. Les produits de type engrais organiques n'auront pas d'effet mais les produits de type amendements organiques, plus stabilisés, auront un effet visible en quelques années.

C'est pourquoi, il est important de faire analyser les produits résiduaux organiques utilisés afin de connaître plus précisément leur comportement dans le sol, déterminer les doses apportées et la fréquence de ces apports.

- **Implantation de CIVE (Culture intermédiaire à Valorisation Énergétique).**

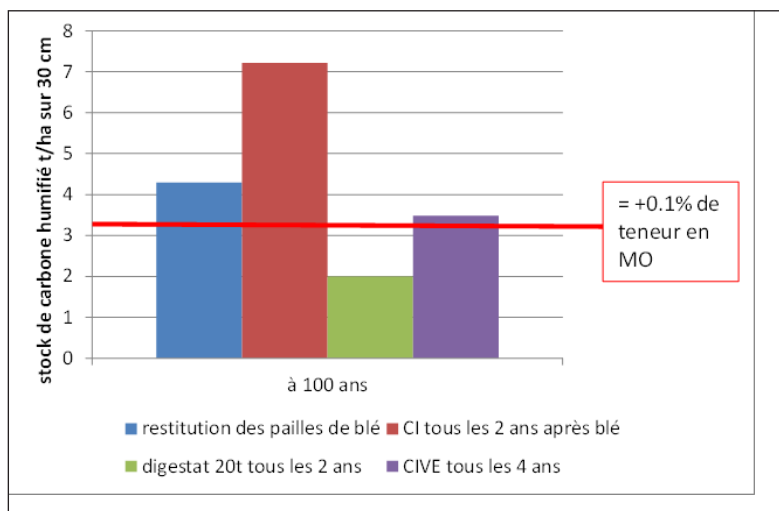
Comme pour les couverts, l'impact sera fonction de la biomasse produite. Il faut alors viser de très forte biomasse entraînant une fertilisation et une irrigation de la CIVE, il faut faire attention aux dates de semis et récolte qui peuvent influencer la quantité de restitution organique de la CIVE ou de la culture suivante (et ainsi de suite).

Cependant, si la plante est totalement exportée, l'impact sera faible voire nul.



Effet sur le stock de carbone du sol (30 cm) de diverses pratiques culturales :

Simulation avec le modèle AMG



• L'allongement des rotations avec l'implantation de prairies :

Les prairies sont les cultures qui permettent de stocker le plus de matière organique dans les sols sur le moyen-long terme. C'est un levier qui peut être activé en zone d'élevage.

Les cultures à fortes restitutions, comme le maïs grain, entretiennent également bien la teneur en matière organique des sols.

• L'enherbement des cultures pérennes :

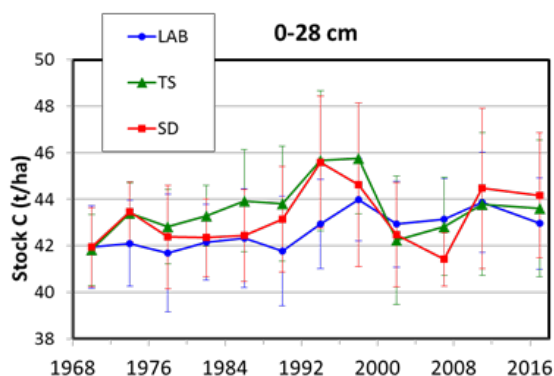
Enherbement de l'inter-rang voire enherbement total (ex : vergers) permet de bénéficier d'un effet « prairie » dans la culture pérenne. En plus, cette pratique améliore la portance sur l'inter-rang.

• Influence du travail du sol : un changement de répartition :

Selon le type de travail du sol, labour, TCS ou semis direct, sur des essais conduits pendant 47 ans, il n'a pas été observé de déstockage significatif de carbone.

La réduction du travail du sol induit une stratification des concentrations en C organique du sol avec une concentration de la matière organique en surface.

Le climat aura également une influence sur le stockage ou le déstockage selon que les pratiques soient simplifiées ou non.



Évolution des stocks de C (0-28 cm) mesurés pendant 47 ans

Alternance de phase de stockage et déstockage en non - labour par rapport au labour :

- en année sèche, le travail réduit le stocke du C,
- en période humide, il déstocke du C.

Source : Arvalis Institut du végétal

Le stockage est lent et limité. Attention, le phénomène de stockage n'est pas irréversible.

MO, LEVIER DE LA GESTION DES FERTILITÉS

On peut résumer toutes ces informations par le schéma suivant :

Leviers	Enjeux sur: MO			Remarques
	Fertilité physique	Fertilité chimique	Fertilité biologique	
Rotation	+	+	+	Faible marge de manœuvre
Gestion des pailles	++	-(N) ++ (PK)	+++	Faible marge de manœuvre, liée à la rotation et au rendement
Apports de PRO	+++	- à +++ (N) ++ à +++ (PK)	+ à +++	Dose limitée par équilibre ferti, prix...
Couverts végétaux	++	- à ++ (N) ++ (PK)	+++	Levier à utiliser au maximum
Limitation du travail du sol	0 à ++	0	++	Concentration de la MO en surface sans augmentation des stocks

Source : Arvalis Institut du végétal

Pour aller plus loin :

Simeos AMG <http://www.simeos-amg.org/>

Les pratiques de l'agriculture de conservation : un levier d'amélioration de la fertilité des sols et d'innovation en agriculture biologique ?

PA 432: *Maintenir et amplifier la fertilité des sols.pdf*

Synthèse sur l'état des sols

Guide de description et d'évaluation de la fertilité des sols

Gestion de la fertilité des sols, diaporama des interventions

Fiche I.6 : la MO dans les sols

FERTISOLS.FR



Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

ANALYSES DE TERRE, PRINCIPALES ANALYSES

L'ANALYSE DE TERRE POURQUOI FAIRE ?

C'est un outil qui peut être utilisé pour plusieurs objectifs :

- au service d'une démarche agronomique pour mieux connaître le sol d'une parcelle (granulométrie, statut organique),
- pour prévoir la fertilisation des cultures (en P, en K...) Et les amendements minéraux (chaulage),
- pour surveiller les teneurs en éléments indésirables,
- pour diagnostiquer un accident en culture.

On peut différencier deux grands types de paramètres mesurés dans une analyse physico-chimique :

Connaître les propriétés physiques et chimiques de mon sol

- analyse granulométrique,
- le dosage du taux de calcaire,
- du taux de matière organique,
- la Capacité d'Échange Cationique (CEC),

Tous ces critères ne changent pas sur le moyen et long terme.

Connaître les Teneurs en éléments chimiques présents dans mon sol

- Éléments majeurs P2O5, K2O, MgO, pHeau,
- Oligo-éléments Cu, Zn, Bo,

Ces éléments peuvent évoluer sur le court et moyen terme.


AGRICULTURES
& TERRITOIRES
CHAMBRES D'AGRICULTURE
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES


isaralyon
Une école d'ingénieurs au cœur de la vie


ARVALIS
Institut du végétal

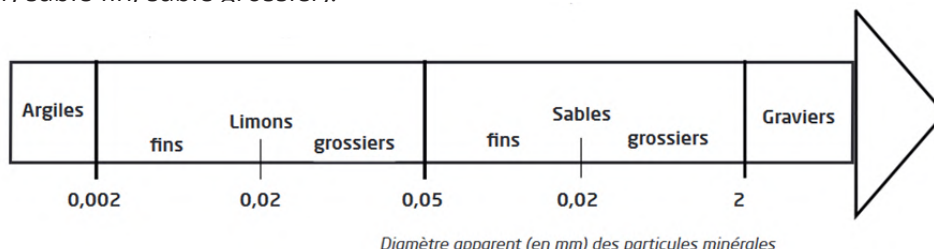

VetAgro Sup
Campus Agronomique de Clermont


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION
avec la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
« Développement agricole et
rural »

LES ANALYSES PHYSIQUES : INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

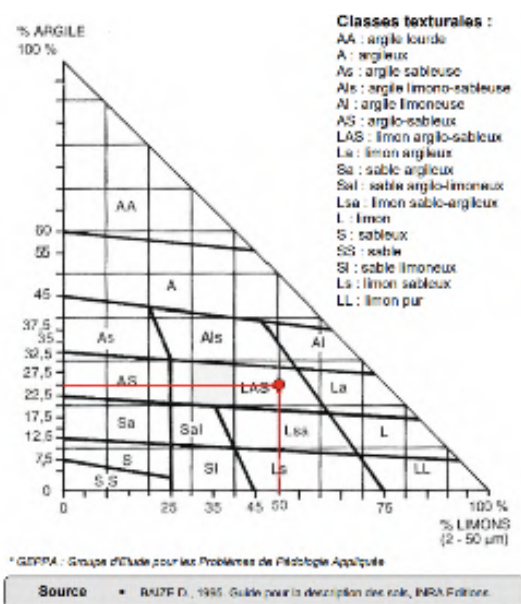
• L'analyse granulométrique :

Elle classe les éléments minéraux du sol en 5 fractions, en fonction de leur taille (argile, limon fin, limon grossier, sable fin, sable grossier).



• La texture du sol (limoneuse, argileuse, limono-sableuse, etc)

Elle est déterminée à partir du triangle ci-dessous... La texture donne également de nombreux renseignements sur le comportement physique du sol et sa sensibilité au tassement, à la battance ou aux excès d'eau dans l'horizon de surface.



• La teneur en calcaire (CaCO₃) :

C'est une donnée essentielle avec la teneur en argile pour calculer la minéralisation de l'azote du sol. Elle peut être complétée par une analyse de la teneur en calcaire actif, fraction du calcaire plus réactive qui est intéressante en sol calcaire pour évaluer les risques de chlorose.

• La teneur en matière organique (MO) :

Elle s'acquiert par :

- La mesure de la teneur en carbone, on multiplie alors cette valeur par 1,72 pour connaître le taux de matière organique. C'est un indicateur important du fonctionnement du sol car la matière organique est au carrefour des différents piliers de la fertilité des sols : chimique, physique et biologique.
- La teneur en azote organique permet d'accéder directement au stock d'azote dans le sol, qui peut potentiellement être minéralisé.

• **Le rapport carbone/azote ou C/N** : permet de connaître la vitesse relative de dégradation de la matière organique du sol. Plus il est élevé, plus la dégradation est lente. Quand il est trop faible, le sol risque de « brûler » très vite sa matière organique.



- **La capacité d'échange cationique (CEC)** mesure la quantité de charges cationiques du complexe argilo-humique. La CEC traduit la capacité du sol à retenir les éléments minéraux. Elle est souvent comparée à un garde-manger. Plus la valeur de la CEC est élevée et plus la taille du garde-manger est importante c'est-à-dire que le sol pourra stocker beaucoup d'éléments minéraux (cations échangeables). La taille de la CEC permet d'ajuster sa stratégie de fertilisation (surtout pour K) : plus la CEC sera petite, moins le sol aura la capacité de retenir les éléments apportés et plus il faudra fractionner les apports.
- **Le taux de saturation de la CEC représente la part en élément fertilisant présent dans la CEC, le reste étant les protons H⁺. L'objectif est d'avoir un taux de saturation d'au moins 70% pour les prairies et 80% pour les terres en rotation. C'est un indicateur important pour piloter le chaulage.**

LES ANALYSES CHIMIQUES

• Le **pH eau** est une mesure simple, fiable et rapide. Par contre, elle est variable dans le temps comme dans l'espace. Au sein d'une parcelle, c'est le critère d'analyse qui varie le plus. Le pH eau peut fluctuer jusqu'à 1 point au cours d'un cycle dans l'année. Il augmente en effet lorsque l'activité microbienne augmente.

Pour éviter une mauvaise interprétation de cette valeur au cours du suivi d'une parcelle, il est toujours conseillé de réaliser ses analyses de terre toujours le même mois ou la même saison et de préférence en période de faible activité. La mesure du pH sert principalement à gérer le chaulage du sol.

Elle participe également à l'interprétation d'autres critères (comme la disponibilité des oligo-éléments). Une valeur pH eau supérieure à 5,8-6,0 est satisfaisante. Au-delà de 7, une carence induite en oligo-éléments est possible.


Une valeur en dessous de 5,5 peut indiquer des problèmes de toxicité aluminique.

(Voir fiche n°II.4 - La gestion de l'acidité / fiche n°II.5 - P&K / fiche n° II.6 - Azote et fiche n°II.9 - CEC)

• Le pH KCl est plus stable dans le temps, en le comparant avec le pH eau, il donne une indication sur le potentiel d'acidification du sol.

• Les dosages en phosphore (P₂O₅) assimilable, potassium (K₂O) échangeable et magnésium (MgO) échangeable permettent de prévoir les apports nécessaires aux cultures en engrais phosphaté, potassique et magnésien.



- 
- L'analyse de la CaO échangeable associée à celle des autres cations échangeables, MgO, K₂O et Na₂O, est une composante du calcul du taux de saturation de la CEC. Il est également intéressant de calculer les ratios entre certains de ces éléments (ex : rapport K₂O/MgO) pour vérifier si les équilibres sont bons.
 - Les oligoéléments – fer, cuivre, zinc et manganèse Le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) peuvent être interprétés à l'aide de références régionales. Le dosage du manganèse (Mn) est peu pertinent, cet oligoélément pouvant être présent en quantité importante sans être absorbé. Le dosage du bore, sert au déclenchement d'un apport sur colza, tournesol et betterave si nécessaire ; il est aussi important sur cultures pérennes. Attention, pour le fer, il est utilisé une autre méthode d'extraction pour calculer l'indice de pouvoir chlorosant en sol calcaire pour des cultures sensibles (exemple : vigne, vergers).
 - Les éléments trace métalliques (ETM) sont analysés pour vérifier qu'il n'y a pas de soucis de pollution des sols. On analyse ces éléments en cas d'épandage de boues ou pour des sols suspectés d'être pollués (sites industriels ou urbains réhabilités, anciennes carrières, très vieilles vignes, épandages très fréquents d'effluents d'élevage...)
 - L'azote minéral est analysé sous deux formes : les nitrates (NO₃⁻) et la forme ammoniacale (NH₄⁺). C'est un paramètre qui évolue très rapidement au cours de l'année en fonction de la minéralisation de la matière organique du sol. Son analyse est utilisée pour piloter précisément des apports d'engrais azotés minéraux (ex: reliquat sortie hiver pour piloter le premier apport sur blé) ou orienter le choix d'un couvert végétal après récolte (reliquat post récolte).

Pour aller plus loin :

[Objectifs n°64 de la CA Drôme](#)

*Arvalis Institut du végétal (Septembre 2020) :
L'analyse de terre pour les grandes cultures et les prairies temporaires
Guide d'interprétation p60*

Document non disponible pour l'instant

FERTISOLS.FR



Fertisols
 DIAGNOSTIQUER
 AMÉLIORER
 FORMER
 Auvergne-Rhône-Alpes

LA GESTION DE L'ACIDITÉ DES SOLS

L'acidification des sols est un **phénomène naturel** consécutif à la production de protons H⁺ dans la solution du sol.

Le lessivage d'éléments minéraux en climat tempéré ainsi que l'activité biologique du sol participent à cette acidification.

Plusieurs processus causés par la mise en culture et les méthodes de fertilisation **peuvent également être à l'origine de cette acidification.**

Cependant, des **solutions** pour diminuer l'effet de ces processus peuvent être mises en place avec des effets plus ou moins rapides.

L'acidification est accélérée par :	L'acidification est freinée par :
<ul style="list-style-type: none"> - Lessivage d'azote nitrique issu de la nitrification de l'azote ammoniacal du sol ou des engrais - Volatilisation de l'azote ammoniacal des engrais - Présence de légumineuses - Respiration des micro-organismes du sol 	<ul style="list-style-type: none"> - Couverts végétaux en interculture - Raisonnement de la fertilisation azotée - Bonne répartition des déjections animales - Enfouissement rapide des engrais organiques - Choix des engrais privilégiant la forme nitrique

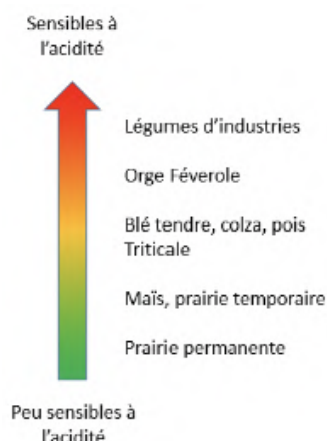




DES COMPORTEMENTS VARIABLES ENTRE ESPÈCES VIS-À-VIS DE L'ACIDITÉ

La sensibilité aux cultures vis-à-vis de l'acidité du sol est liée à la concentration à la baisse du pH. La sensibilité des cultures à l'acidité du sol est variable entre espèce.

Le chaulage vise à supprimer le risque de toxicité.



Source : Fiche conseil *Chaulage des grandes cultures et prairies : quelles stratégies adopter ?* CA Bretagne, Arvalis Institut du Végétal. 2015

LA GESTION DU CHAULAGE VIA L'ANALYSE DE TERRE

La mesure du pH de l'eau à l'automne est incontournable pour le diagnostic de l'acidité pour que celle du sol ne constitue pas un facteur limitant de la production.

Les objectifs de pH eau doivent être adaptés aux cultures présentes dans la rotation.

pH eau initial = 5.5	Valeur de la CEC Metson en cmol/kg :		
	5	10	15
Kg CaO/ha pour augmenter le pH de 0.5 unités	700	1300	1700

Source : Comifer

Les besoins de chaulage doivent être raisonnés en termes de :

- Redressement : la quantité d'unités neutralisantes* à apporter dépend de l'augmentation du pH recherchée et la CEC du sol.
 - Si pH mesuré < 5.6, redressement urgent
 - Si pH mesuré < 6 redressement
 - Si pH mesuré ≥ 6 et ≤ 6.7, alors entretien ou pas d'apport
 - Si pH mesuré > 6.7, arrêt des apports, la quantité d'unités neutralisantes à apporter dépend de l'augmentation de pH recherchée et la CEC du sol.
- Entretien : **le maintien du pH dans sa gamme optimale passe par l'apport d'amendements basiques** qui doivent compenser les sources d'acidification.

Le suivi régulier du pH permet de gérer de manière précise le chaulage d'entretien (tous les 5 ans environ).

Besoin en bases pour l'entretien :

- 200 à 300 unités de VN/ha/an
- 100 à 150 unités VN avec apports réguliers de produits résiduels organiques.

⇒ **Contrôle régulier du statut acido-basique par l'analyse de pH de la terre**

A savoir : le pH n'est pas constant dans un sol au cours d'une campagne. Il est généralement plus faible en période de forte activité biologique. C'est pourquoi, il est préférable de mesurer le pH d'un sol toujours à la même époque et de préférence en période de faible activité biologique (fin d'automne-début d'hiver).

● Zoom sur la valeur neutralisante

La **valeur neutralisante** (VN) exprime la capacité potentielle d'un amendement basique à neutraliser l'acidité du sol. Elle est fonction des teneurs en CaO et MgO. **À VN équivalente, les amendements basiques** qu'ils soient cuits ou crus, fins ou grossiers, **ont la même capacité de neutralisation de l'acidité du sol**, quel que soit le pH du sol. C'est en fait le délai de neutralisation de l'acidité qui varie entre produits, selon leur vitesse d'action.

Si un amendement a une VN de 92, cela correspond à 920 unités efficaces par tonne.

CHOIX DU PRODUIT EN FONCTION DE L'OBJECTIF

On distingue les produits cuits à bases d'oxydes de calcium et de magnésium des produits crus à base de carbonates de calcium et de magnésium.

Les produits crus peuvent être pulvérisés, broyés ou concassés et différents par leur vitesse d'action qui dépend de leur finesse et de leur dureté.

A dureté égale, plus le produit est fin plus l'action est rapide. Ces produits à action rapide sont conseillés pour le chaulage de redressement.

Pour l'entretien, les apports peu fréquents de produits à action lente sont préconisés.

OBJECTIF	RAPIDITE D'ACTION	COUT DE L'UNITE CaO		
		FAIBLE	MOYEN	ELEVE
Correction urgente pH < 5,5	RAPIDE quelques semaines		CALCAIRE PULVERISE à réserver en cas de redressement d'urgence	CHAUX à réserver en cas de redressement d'urgence
Correction non urgente 5,5 < pH < 6,3 ou entretien calcique	MOYENNE-MENT RAPIDE Plusieurs mois		CALCAIRE BROYE ou carbonate humide bon rapport qualité/prix	
	LENTE Plusieurs années		CALCAIRE CONCASSE Intérêt très local (tuffeau, falun, marne)	

Pour aller plus loin :

[*Fiche conseil Chaulage des grandes cultures et prairies : quelles stratégies adopter ? CA Bretagne, Arvalis Institut du Végétal. 2015*](#)

[*Les vrais/faux du chaulage \(Arvalis\)
Le Chaulage, des bases pour raisonner \(COMIFER\)*](#)

[*La toxicité aluminique: risque majeur lié à l'acidité dans les sols agricoles*](#)

FERTISOLS.FR



Fertisols
DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER
Auvergne-Rhône-Alpes

LA FERTILISATION EN PHOSPHORE, POTASSE ET MAGNÉSIUM



LES QUATRE PILIERS DE LA FERTILISATION EN P&K

Les stocks en phosphore (P) et potassium (K) sont généralement élevés dans les sols cultivés. Cependant la disponibilité de ces éléments pour la plante dépend de nombreux facteurs.

Les plantes absorbent le P et le K sous forme d'ions dans la solution du sol. La concentration en P et en K à un moment donné y est pourtant très faible, ce qui implique un phénomène de réapprovisionnement de cette solution, qui est la diffusion : lorsque la plante prélève, les gradients de concentration entraînent une libération de P et de K qui est adsorbée ou liée à la phase minérale solide.

Dans le cas du phosphore, les constituants du sol responsables de la libération et de la dynamique du P dans les sols sont principalement les **oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium** et les **constituants calcaires**. Les matières organiques du sol participent aussi, mais pour une faible part, libérant du P par minéralisation.




AGRICULTURES
& TERRITOIRES
CHAMBRES D'AGRICULTURE
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES


isaralyon
Une école d'ingénieurs au cœur de la vie


ARVALIS
Institut du végétal


VetAgro Sup
Campus Agronomique de Clermont


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION
avec la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
« Développement agricole et
rural »

Dans le cas du potassium, ce sont les argiles et les matières organiques. Le processus de diffusion est plus lent et se produit sur une plus courte distance, en particulier pour le phosphore, par rapport au processus de distribution de l'azote et du soufre. La quantité de phosphore ou de potassium mis à disposition dépend donc de la concentration dans la solution, de la quantité susceptible de se libérer rapidement, mais elle est indépendante de la quantité totale du sol. En revanche, elle dépend de la capacité des racines à explorer le volume du sol et à stimuler la différence de concentration dans la solution. **Ainsi, des carences en phosphore peuvent être provoquées par un mauvais développement racinaire** (tassement, hydromorphie, sol froid), et donc à la difficulté de mise à disposition du phosphore pour les plantes à des stades clés de carences.

Le risque de carences peut être levé par l'apport d'engrais, d'origine minérale ou organique. **Si la disponibilité du P ou K est faible, l'apport doit être fait aux stades juvéniles**, pour soutenir le développement racinaire et donc soutenir la capacité des plantes à mobiliser le phosphore total du sol (au semis ou juste après). **La localisation de l'engrais phosphaté au semis est principalement valorisée sur la culture de maïs**, qui répond positivement par rapport à des apports en plein, surtout avec des conditions d'enracinement difficile (parasitisme tellurique, sol froid etc.). Cette pratique est particulièrement **recommandée lorsque les conditions de semis sont difficiles : sol froid, présence de ravageurs du sol.**



Le **COMIFER (Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée)** recommande un raisonnement de la fertilisation en P et K basé sur quatre critères :

- L'exigence des espèces cultivées
- La teneur à l'analyse de terre, interprétée selon le type de sol,
- Le passé récent de fertilisation
- La restitution ou non des résidus de culture du précédent.



L'EXIGENCE DES ESPÈCES CULTIVÉES

L'exigence des cultures en P ou en K se définit par leur sensibilité à la carence en P et/ou K, qui se traduit par des pertes de production d'autant plus élevées que l'espèce est sensible. L'exigence traduit les caractéristiques du système racinaire ou le rôle de P et K dans l'élaboration de leur production, indépendamment des quantités absorbées ou exportées.

Niveau d'exigence en phosphore	Cultures	Pertes moyenne de rendement en régime d'impasse
Forte exigence	Betterave sucrière Colza Luzerne Pomme de terre	15 à 30 % Conseils d'impasse annuelle très limités, en sol à teneur très élevé
Moyenne exigence	Blé dur, Blé de blé, orges Maïs fourrage Pois protéagineux, Graminées fourragères	10 à 15 %
Faible exigence	Maïs grain, blé tendre, Tournesol	5 à 10 % Conseils d'impasse annuelle plus fréquents, selon la teneur du sol





Niveau d'exigence en K2O	Cultures	Pertes moyenne de rendement en régime d'impasse
Forte exigence	Betterave sucrière Pomme de terre	20 à 40 % Conseils d'impasse annuelle très limités, en sol à teneur très élevé
Moyenne exigence	Colza, Maïs fourrage, Maïs grain, Pois protéagineux, Luzerne, Cultures fourragères	9 à 20%
Faible exigence	Blé tendre, blé dur, orges, Tournesol	3 à 8 % Conseils d'impasse annuelle plus fréquents, selon la teneur du sol

Source : Interprétation de l'analyse de terre pour les grandes cultures et les prairies temporaires - Guide pratique, Arvalis Institut du Végétal

L'ANALYSE DES TERRES



Les teneurs du sol en P et K, données par l'analyse de terre, constituent des indicateurs de leur niveau de disponibilité dans le sol. Ces teneurs s'interprètent différemment selon le niveau d'exigence des cultures.

Plusieurs valeurs seuils sont proposées dans la grille PK du COMIFER (figure 1) :

- Timpasse : teneur au-dessus de laquelle il est possible de réaliser une impasse de fumure,
- Trenforcé : teneur au-dessous de laquelle il faut renforcer la fumure au-delà de la stricte compensation des exportations.



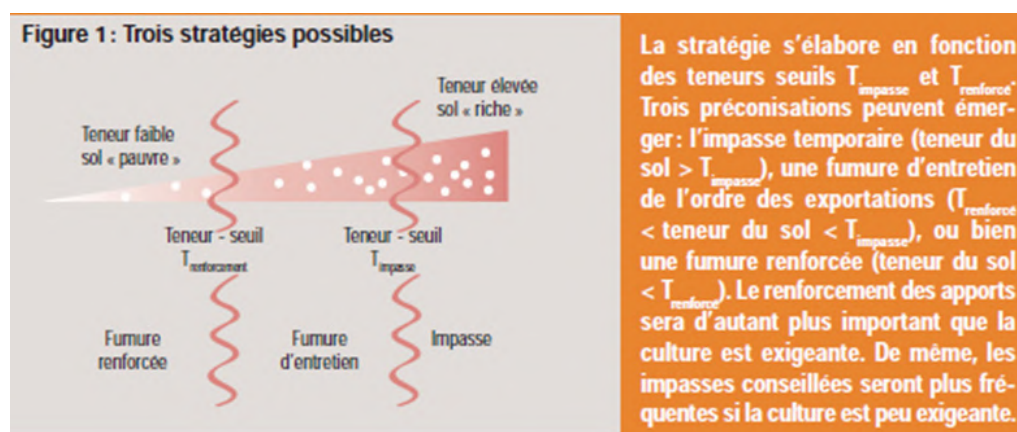
Sur la base d'essais de longue durée, des seuils par grands types de sols ont été établis puis régionalisés. Ils sont disponibles à l'adresse suivante :

<https://www.arvalis-infos.fr/conna-tre-les-teneurs-seuils-dans-sa-region-selon-son-sol-@/view-7826-arvarticle.html>



L'évolution de ces teneurs dans le sol doit être suivie dans le temps pour valider une stratégie de fertilisation adaptée au type de sol de la parcelle. Il est recommandé de réaliser une analyse de terre au moins tous les 5 ans, au même endroit. Notons que dans une grande majorité de situations, l'utilisation complémentaire de ratios de teneurs entre éléments (K/Mg...) ne permet pas de préciser le diagnostic.

COMMENT ADOPTER UNE STRATÉGIE SUR LE LONG TERME ?



Source Arvalis Institut du Végétal

L'HISTORIQUE DE LA FERTILISATION

De longues périodes sans apport d'engrais frais pénalisent la disponibilité du P et du K. En effet, les lois qui régissent la dynamique de ces éléments dans le sol se traduisent par une évolution du phosphore et du potassium apportés par les engrais vers des états de moins en moins rapidement disponibles.

La vitesse de ces transformations, variable d'un sol à l'autre, explique en partie le fait que les effets d'impasses successives apparaissent plus vite dans certains sols que dans d'autres. Cependant, ces évolutions ne sont pas irréversibles. Sous l'action du climat, de l'activité biologique, et surtout des apports par les engrais et du prélèvement par les racines, les équilibres chimiques sont en permanence modifiés. Pour ne pas prendre le risque de pénaliser la production, il est conseillé d'éviter les impasses plus de deux années successives afin de garantir une alimentation non limitante des cultures, même peu exigeantes. Toutefois, pour des teneurs du sol très élevées (Teneur $> 2 \times T_{impasse}$), cette règle peut être assouplie. Au même titre que les engrais minéraux, les apports organiques sont pris en compte dans le passé récent de fertilisation.

GESTION DES RÉSIDUS DE RÉCOLTE

Lorsqu'une espèce est cultivée pour ses graines (blé, maïs, colza, tournesol...), l'essentiel du phosphore prélevé par la culture est présent dans le grain et donc exporté. En revanche, la majorité du potassium (80 à 90 %) est présent dans les tiges et les feuilles, sous une forme très soluble. Au cours des premières phases de décomposition des résidus, ce potassium est libéré sous une forme identique à celle d'un engrais potassique. La restitution des résidus de récolte du précédent équivaut donc à un apport important de K₂O. Un blé de 80 q/ha peut restituer plus de 100 unités K₂O/ha par les pailles et chaumes. Le potassium nécessaire pour une culture est le complément de ce qu'ont restitué les résidus de la culture précédente. Par conséquent, en l'absence de restitution des résidus de récolte, l'impasse sur la fertilisation potassique est plus risquée et la dose de potassium nécessaire est généralement plus importante.



Par ailleurs, en comparaison au sol nu à l'interculture, les couverts végétaux ne semblent pas impacter le stock de phosphore ou de potasse disponibles. S'ils ne sont pas exportés, les résidus de couverts vont restituer rapidement sous forme minérale la totalité de la potasse et environ 50% du phosphore, le reste étant sous forme organique, qui sera minéralisé plus ou moins rapidement les années ultérieures.

Les teneurs en P, K et Mg des organes végétaux récoltés sont disponibles à cette adresse :
<https://comifer.asso.fr/images/publications/livres/tablesexportgrillescomifer2009.pdf>

DYNAMIQUE ET BIODISPONIBILITÉ DU PHOSPHORE, COMMENT AMÉLIORER LA QUANTITÉ DE PHOSPHORE DISPONIBLE POUR LA PLANTE ?

Les travaux scientifiques récents permettent de mieux comprendre les processus limitant la disponibilité du P pour les cultures. Malgré la complexité des déterminants de la biodisponibilité du phosphore révélée par l'ensemble des travaux scientifiques, des pistes existent pour transposer ces nouvelles connaissances en termes d'applications agronomiques et de recherche de leviers à moyen et long terme.

Ces pistes incluent l'amélioration végétale, la valorisation des différentes formes de phosphore du sol via la stimulation des activités biologiques du sol et une meilleure prédiction de la biodisponibilité potentielle du P dans le sol.

- **L'amélioration végétale** est un véritable enjeu à relever en proposant de nouveaux critères de sélection des variétés « efficaces pour le P » basés sur des caractères phénotypiques impliqués dans l'acquisition du P, comme l'exploration du sol (architecture du système racinaire, poils racinaires) ou l'association avec des micro organismes bénéfiques (capacité de mycorhization, production d'exsudats racinaires stimulant une population microbienne bénéfique ou favorisant la désorption du P).
- **La valorisation des différentes formes de P du sol** qu'elles soient organiques ou minérales est également indispensable. A ce titre, la stimulation de l'activité des organismes du sol est souhaitable.
- **La mobilisation de la composante biologique des sols** est particulièrement prometteuse soit en favorisant l'inoculation microbienne (enrobage des semences, apport d'inoculum fongique d'espèces endo-mycorhiziennes) soit en favorisant l'activité biologique par des pratiques culturales adaptées.

Issu de « Améliorer la biodisponibilité du phosphore : comment valoriser les compétences des plantes et les mécanismes biologiques du sol ? » Plassard C et Al, 2015





LA FERTILISATION EN MAGNÉSIUM

Les besoins de magnésium (MgO) de la majorité des grandes cultures sont faibles : ils avoisinent les 30 kg MgO/ha. Malgré tout, cet élément est essentiel pour les plantes. Il participe notamment à la photosynthèse.

Peu de carences en magnésium sont rencontrées en France. Dans les sols carencés, les gains de production permis par la fertilisation magnésienne sont modérés, rarement supérieurs à 15 % de la production des cultures (Colomb, 1992) quelles que soient les espèces cultivées.

Les références acquises jusqu'à présent ne permettent pas de dégager des différences nettes de sensibilités entre espèces ; toutefois, par analogie avec le potassium, on peut distinguer des cultures de plus forte exigence, comme la betterave sucrière et la pomme de terre, en opposition aux autres cultures, de moindre exigence.

« Quelle différence entre exigence et besoin ? »

Les besoins en éléments minéraux correspondent à la quantité d'élément prélevé par la culture pour obtenir un niveau de rendement optimal, c'est-à-dire sans carence ni excès. Ils peuvent s'exprimer en quantité d'élément minéral pour tous les organes de la plante (besoins totaux à la récolte), ou par quantité de biomasse exportées (besoins liés aux exportations), ou encore pour une partie du cycle de la culture, comme les besoins instantanés, correspondant au flux (quantité d'élément sur un temps donné), que la plante prélève au cours de sa croissance.

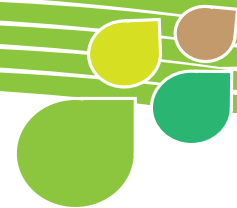
L'exigence en revanche est une notion qualitative qui représente la capacité de la plante à extraire les éléments pour satisfaire ses besoins. La croissance racinaire, la capacité d'exploration du volume du sol ou encore la modification des caractéristiques chimiques de l'environnement racinaire influencent la capacité des plantes à satisfaire leurs besoins.

Au niveau de l'analyse de terre, le magnésium échangeable reflète généralement bien la disponibilité du magnésium pour les plantes (Villemin et al 1988).

Des expérimentations ont été réalisées en France au cours des trois dernières décennies en vue d'établir les seuils diagnostiques pour l'analyse de terre.

Une synthèse récente permet de préciser ces seuils pour les sables et les limons.

Type de sol (mettre des sols identiques à ceux du tableau 1)	Sables	Limons	Argilo-calcaires, craies	Argiles
Teneur seuil T impasse, en mg/kg de MgO éch.	30	60	80	80



Pour aller plus loin :

[PA 364: Ferti PK, les quatre piliers du raisonnement.pdf](#)

[L'analyse d'herbe : un outil pour le pilotage de la fertilisation phosphatée et potassique des prairies naturelles et temporaires](#)

[AIDE AU DIAGNOSTIC ET A LA PRESCRIPTION DE LA FERTILISATION PHOSPHATÉE ET POTASSIQUE DES GRANDES CULTURES](#)

[TENEURS EN P,K et Mg des ORGANES VEGETAUX RECOLTES pour les cultures de plein champ, les principaux fourrages Terre, tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sol](#)

[Améliorer la biodisponibilité du phosphore](#)

[Fertilité des parcelles en élevage AB, certaines parcelles ont besoins potassium](#)

[La fertilisation P - K - Mg Les bases du raisonnement, COMIFER 2019 Teneur en PK des végétaux récoltés](#)

[Améliorer la biodisponibilité du phosphore : comment valoriser les Compétences des plantes et les mécanismes biologiques du sol ? Plassard C.1](#)

FERTISOLS.FR



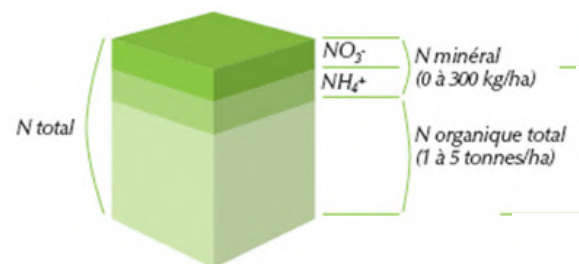
Fertisols
DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER
Auvergne-Rhône-Alpes

LA FERTILISATION AZOTÉE, PRINCIPE ET PILOTAGE

LA FERTILISATION AZOTÉE, LE CYCLE DE L'AZOTE

L'azote est un élément essentiel à la production végétale. Il est très présent sur la surface du globe, notamment dans l'atmosphère sous forme de N_2 . Cependant, seules les formes de l'azote dites réactives (formes minérales oxydées, comme l'azote nitrique NO_3^- ou réduites, azote ammoniacal NH_4^+) peuvent être utilisées par la plupart des organismes vivants. Chez les plantes, seules les légumineuses, grâce à la fixation symbiotique, peuvent accéder à des sources d'azote sous forme non réactive.

Ainsi, la grande majorité de plantes cultivées accède aux formes d'azote réactives via les apports d'engrais et les fournitures du sol. Un sol cultivé moyen contient environ 2 à 5 tonnes d'azote total par hectare, dans son horizon de surface, 10 pour une prairie naturelle. La majeure partie de cet azote est sous forme organique. Cependant, cette quantité d'azote n'est pas immédiatement disponible pour la plante.



Source du schéma: WikiAuréa

isaralyon
Une école d'ingénieurs au cœur de la vie

**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRES D'AGRICULTURE
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

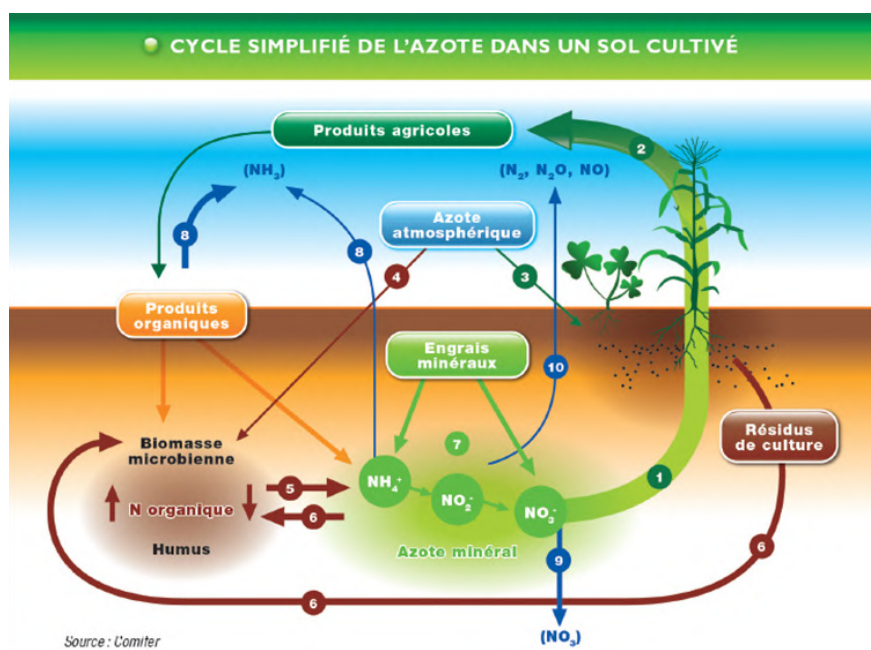
ARVALIS
Institut du végétal

VetAgro Sup
Campus Agronomique de Clermont


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION
avec la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
«Développement agricole et
rural»

Ce stock d'azote dans le sol varie en fonction des conditions climatiques et des pratiques de l'agriculteur (fertilisation, mise en place de cultures intermédiaires) et son évolution met en jeu différents processus (Figure 1).

● Figure 1 : Cycle de l'azote



1. Absorption racinaire
2. Exportation par les récoltes
3. Fixation symbiotique
4. Fixation libre
5. Minéralisation
6. Organisation
7. Nitrification
8. Volatilisation

LA MINÉRALISATION ET L'ORGANISATION DE L'AZOTE DU SOL

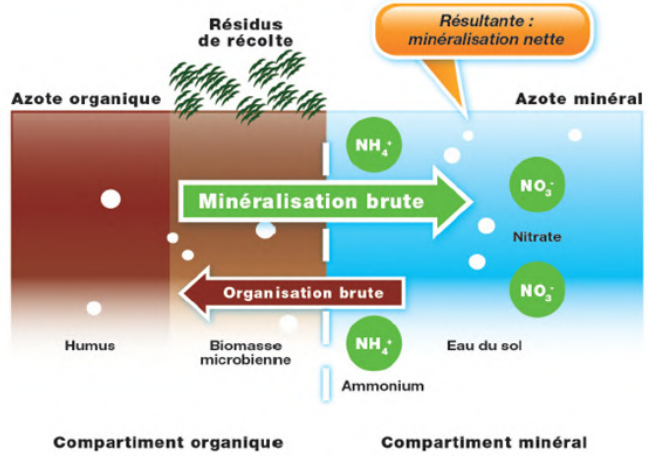
Une grande partie de l'azote absorbé par les cultures provient des fournitures du sol.

Excepté une part d'azote minéral héritée des stratégies de fertilisation de l'année précédente, l'essentiel de l'azote présent dans le sol résulte de la minéralisation de l'azote.

Ce processus est le résultat de la transformation opérée par les micro-organismes du sol de l'azote contenu dans les différents compartiments de la matière organique, notamment dans le compartiment labile, appelé « humus ».

Le processus inverse de la minéralisation est l'organisation. Les micro-organismes absorbent de préférence les formes d'azote minéral, plus réactives. L'activité et la présence de ces micro-organismes est très dépendante des teneurs en carbone du sol. En effet, le rapport C/N des micro-organismes du sol est compris entre 6 et 10. Donc si le rapport C/N du sol est élevé, les organismes prélèveront de l'azote minéral du sol, en soutirant donc aux plantes cet azote minéral.

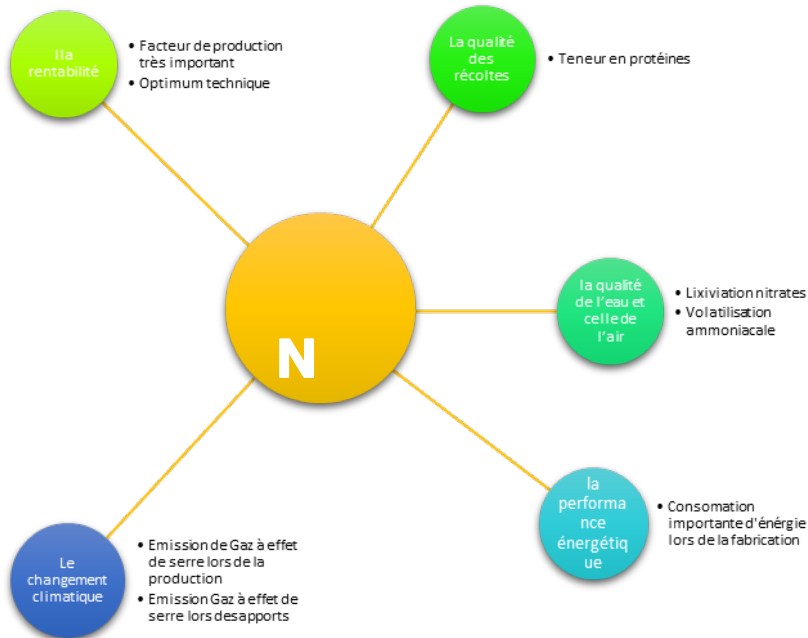
PROCESSUS DE MINÉRALISATION ET D'ORGANISATION



Source : ARVALIS - Institut du végétal

Processus de minéralisation et d'organisation suite à l'enfouissement de résidus de récolte à C/N suffisamment bas pour générer un flux de minéralisation nette de l'azote organique.

LES ENJEUX DE LA FERTILISATION AZOTÉE



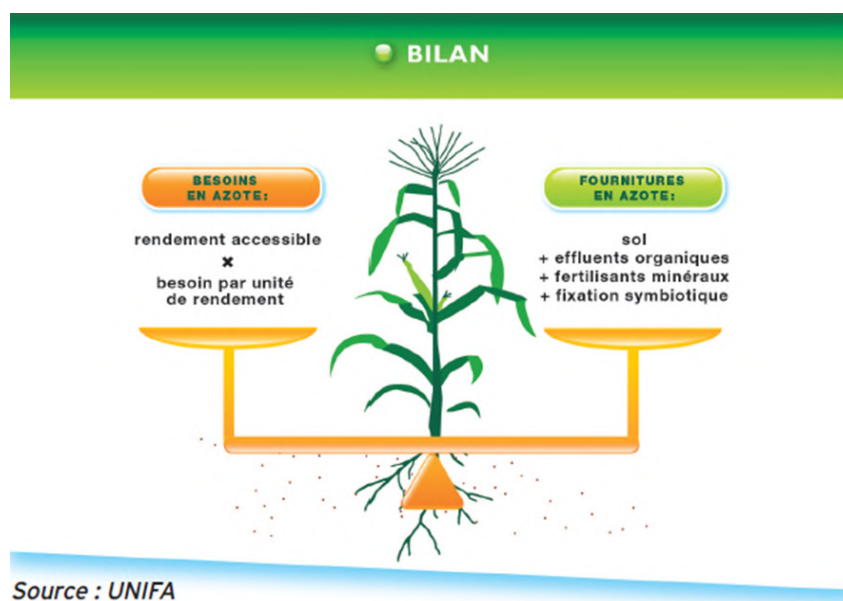
LA FERTILISATION AZOTÉE : GÉRER ET DÉCIDER À L'ÉCHELLE DE CHAQUE PARCELLE

La culture, le contexte climatique, le type de sol et les pratiques culturales sur la culture précédente sont des paramètres importants dans le raisonnement du calcul de la dose d'azote à apporter. Ainsi, des outils régionalisés ont été mis en place pour prendre en compte les multiples combinaisons de ces facteurs.

En France, le raisonnement de fertilisation azotée repose sur la méthode du bilan prévisionnel de l'azote. La méthode a été initialement développée par Hébert en 1969 puis Rémy-Hébert en 1974. Elle s'est progressivement répandue en France comme la méthode de raisonnement de la fertilisation azotée des cultures pour mettre en œuvre la directive européenne sur la gestion des nitrates (91/676/CEE). De nombreux travaux lui ont été consacrés en vue d'améliorer et mettre à jour son paramétrage. Le COMIFER (Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée) assure le maintien et la mise à jour de la méthode.

La méthode du bilan estime les besoins en azote et les ressources entre deux dates : le semis de la culture (ou la fin d'hiver, période de mesure du reliquat d'azote dans le sol pour les cultures d'automne) et la récolte (ou la fin de la période d'absorption pour certaines cultures).

La mesure du reliquat d'azote permet de quantifier l'azote minéral (nitrique et ammoniacal) disponibles dans le sol, pour la culture, à l'ouverture du bilan. L'analyse de ce reliquat est le point de départ pour raisonner les apports en engrais azotés sur la culture.



La méthode du bilan permet donc de calculer une dose totale prévisionnelle. Cependant, ce calcul ne tient pas compte du fait que le potentiel de la culture évolue en fonction des conditions climatiques de l'année et des stress biotiques. Ainsi, la dose totale prévisionnelle sera potentiellement sous-estimée ou surestimée. De plus, fractionner les apports d'azote augmente l'efficacité de l'azote apporté, en réduisant les pertes par organisation, lixiviation ou par volatilisation.

Un outil de pilotage permet de prendre en compte l'azote absorbé au cours de la croissance et d'évaluer l'état de nutrition azoté de la culture à un instant t dans le but d'ajuster la dose totale à apporter. Ainsi, le raisonnement de la dose totale prévisionnelle couplé au fractionnement des apports à l'aide d'un outil de pilotage permet d'augmenter l'efficacité des engrais.

Les outils disponibles aident donc à calculer la dose totale, à choisir les doses, les stades et les périodes pour le fractionnement.

Calcul de la dose totale : pour la mise en œuvre de la directive nitrates, des Groupe Régionaux d'Experts Nitrates développent et mettent à jour les références pour le calcul de la dose totale avec la méthode du bilan prévisionnel.

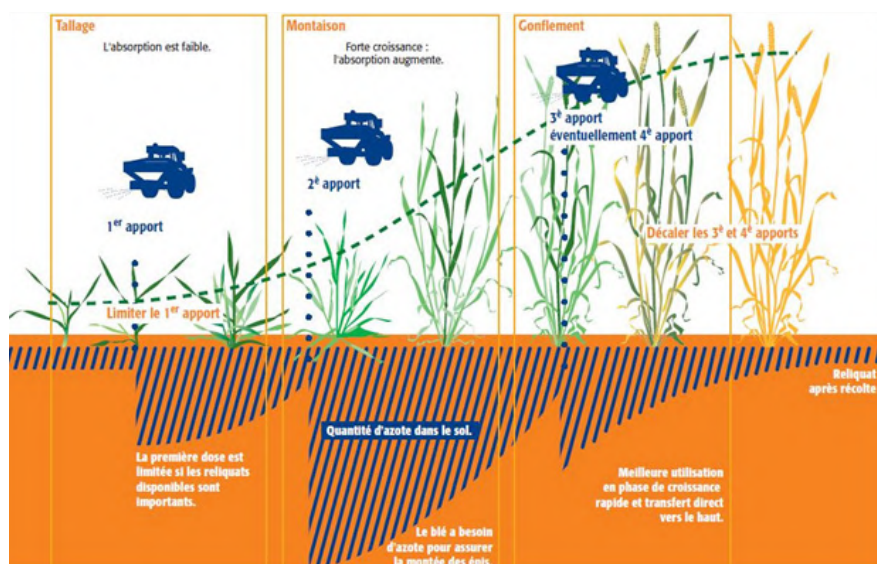
Ces références sont publiées sur le site internet des DRAAF régionales. De plus, de nombreux logiciels pour calculer la dose totale existent. Une liste exhaustive, conforme à la méthode et aux références du COMIFER, est consultable au lien suivant : <https://comifer.asso.fr/fr/bilan-azote/labellisation-des-outils-de-calcul-de-dose/outils-labellise.html>

- *Le fractionnement :*

En grandes cultures, le fractionnement des apports d'engrais azoté est fortement conseillé. Il répond à trois objectifs :

1. Mettre à disposition l'azote des engrais pendant les périodes de croissance active du couvert ou de sensibilité de la culture aux carences.
2. Minimiser les risques de pertes d'azote par voie gazeuse ou par lixiviation liés aux conditions climatiques (excès d'eau, sécheresse, température élevée, vent).
3. Favoriser l'efficacité de valorisation de l'azote (par exemple pour augmenter la teneur en protéine des grains).

En zone vulnérable, le fractionnement est souvent obligatoire pour limiter les pertes dans l'environnement. Cette stratégie se raisonne en fonction de la culture en place. Par exemple en blé, on préconisera 3 voire 4 apports aux stades tallage, montaison et gonflement.



Apporter l'azote au plus proche des besoins du blé. © ARVALIS - Institut du végétal. Arvalis-infos.fr.



- Le pilotage de la fertilisation des céréales :

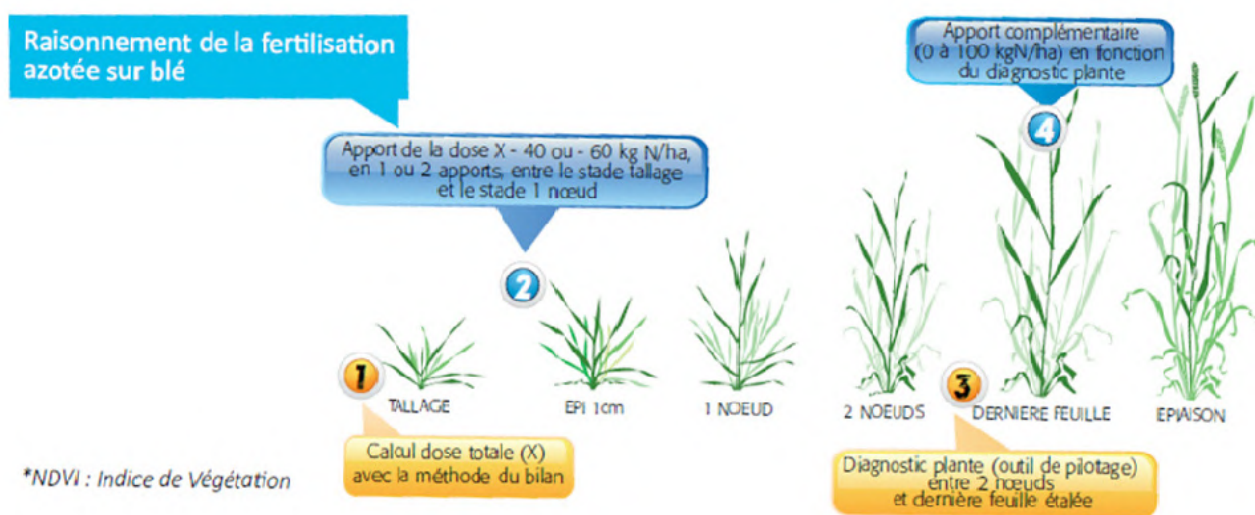
Le pilotage consiste à réévaluer la dose totale prévisionnelle grâce à un suivi du statut de nutrition azotée et/ou de la biomasse de la plante au cours de son cycle. Pour les céréales, il repose sur la mise en réserve d'une partie de la dose totale calculée avec la méthode du bilan et ensuite sur le diagnostic de la quantité de biomasse et de la teneur en azote des plantes en début de montaison.

L'estimation de la teneur en azote des plantes peut se faire par différents moyens :

- Mesure de la teneur en azote du jus de bas de tige,
- Mesure de la teneur en chlorophylle de la plante par des capteurs sur différents vecteurs (piéton, satellite, avion, drone ou embarqué sur un engin agricole).

La mesure de biomasse peut être réalisée par prélèvement puis pesée. Elle peut également être estimée par modélisation sur la base d'images.

Les variables « quantité de biomasse » et « teneur en azote des parties aériennes » permettent de calculer la quantité d'azote restante à apporter pour atteindre un statut azoté satisfaisant. Cette quantité peut être inférieure ou supérieure à la quantité d'azote mise en réserve.

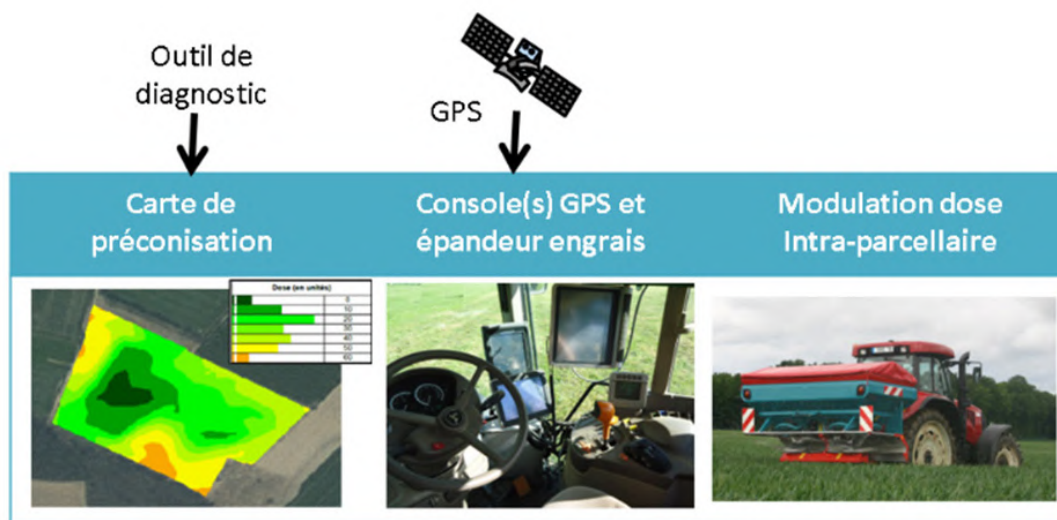


Les vrai-faux de la fertilisation azotée du blé © ARVALIS - Institut du végétal - Janvier 2017

La modulation de dose intra-parcellaire est un moyen complémentaire au pilotage qui consiste à apporter des doses différentes à l'intérieur d'une parcelle en fonction des hétérogénéités observées (sol plus ou moins fourni, problème de levée, ravageurs...).

Attention, les outils qui mesurent seulement un indice de végétation (comme par exemple l'indice de végétation NDVI) permettent de faire de la modulation, mais pas de diagnostic de nutrition azotée. Le pilotage de la fertilisation azotée passe nécessairement par le diagnostic azote et peut, pour certains outils, proposer de la modulation.

La modulation automatique : comment ça marche ?



Principe de la modulation de dose automatique. © ARVALIS - Institut du végétal. Arvalis-infos.fr

- En mode automatique, la console de l'épandeur lit la carte de modulation. En fonction de son positionnement dans la parcelle, elle envoie l'information à l'épandeur pour le réglage du débit.
- La modulation manuelle est également possible sur les parcelles où on peut distinguer des grandes zones avec des préconisations de doses différentes.

Quel avenir pour le pilotage de la fertilisation azotée ?

Des travaux sont en cours pour piloter la fertilisation azotée des cultures de manière dynamique, sur la base de modèles de plante et de bilans journaliers des flux d'azote dans les compartiments eau/sol/plante. Ces modèles pourraient intégrer, en temps réel, des mesures au champ permettant d'estimer biomasse et teneur en azote tout au long du cycle de la culture.

LES FORMES D'ENGRAIS AZOTÉS MINÉRAUX

Plusieurs formes d'engrais azotés sont disponibles sur le marché français. Parmi les formes « traditionnelles » que sont l'ammonitrate, l'urée et la solution azotée, l'ammonitrate est celle qui est la moins sensible aux pertes par volatilisation et qui présente la meilleure efficacité. Des formes d'engrais azotés, formulées avec des additifs ont été mises sur le marché avec l'ambition de réduire les pertes par volatilisation. Par exemple, les urées additionnées d'un inhibiteur d'uréase présentent des performances proches de l'ammonitrate.



Pour aller plus loin :

[Table des exportations COMIFER](#)

[Prise en compte de la volatilisation des engrais minéraux](#)

[Décid-org, outil de prévision de l'efficacité de l'azote organique pour décider de fertiliser ou non le blé biologique au printemps](#)

[Perspectives Agricoles 398: azote du sol, minéralisation](#)

[Éléments de décision pour une fertilisation raisonnée en azote sur les cultures fruitières et légumières](#)

[Calcul de la fertilisation azotée: Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales](#)

[Teneurs en N des organes végétaux récoltes méthode d'établissement et valeurs de référence](#)

[TENEURS EN AZOTE DES ORGANES VÉGÉTAUX RÉCOLTES pour les cultures de plein champ, les principaux fourrages et la vigne TABLEAU DE REFERENCE 2013](#)

[AgriBio_FICHE, Gérer la fourniture d'azote sur le long terme.pdf](#)

[AgriBio_FICHE, optimiser l'azote en agriculture biologique.pdf](#)

[Gestion de l'azote en grande culture bio](#)

[Apporter de l'azote avec de la luzerne](#)

[Disponibilité de l'azote, effets des précédentes légumineuses de culture intermédiaire et d'engrais organique](#)

FERTISOLS.FR

Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

LA FERTILISATION DES PRAIRIES ET CULTURES FOURRAGÈRES

En Aura, la production autonome de fourrages représente **un enjeu majeur** pour la rentabilité économique des exploitations d'élevage. La fertilisation **constitue un élément important de cette autonomie**. Dans les élevages de la région, les pratiques habituelles de fertilisation sont **basées sur une utilisation combinée d'apports organiques (fumier, lisier ou compost) et d'engrais minéraux**. Cette double utilisation des éléments fertilisants rend particulièrement nécessaire le raisonnement de la fertilisation pratiquée par les éleveurs.




AGRICULTURES
& TERRITOIRES
CHAMBRES D'AGRICULTURE
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

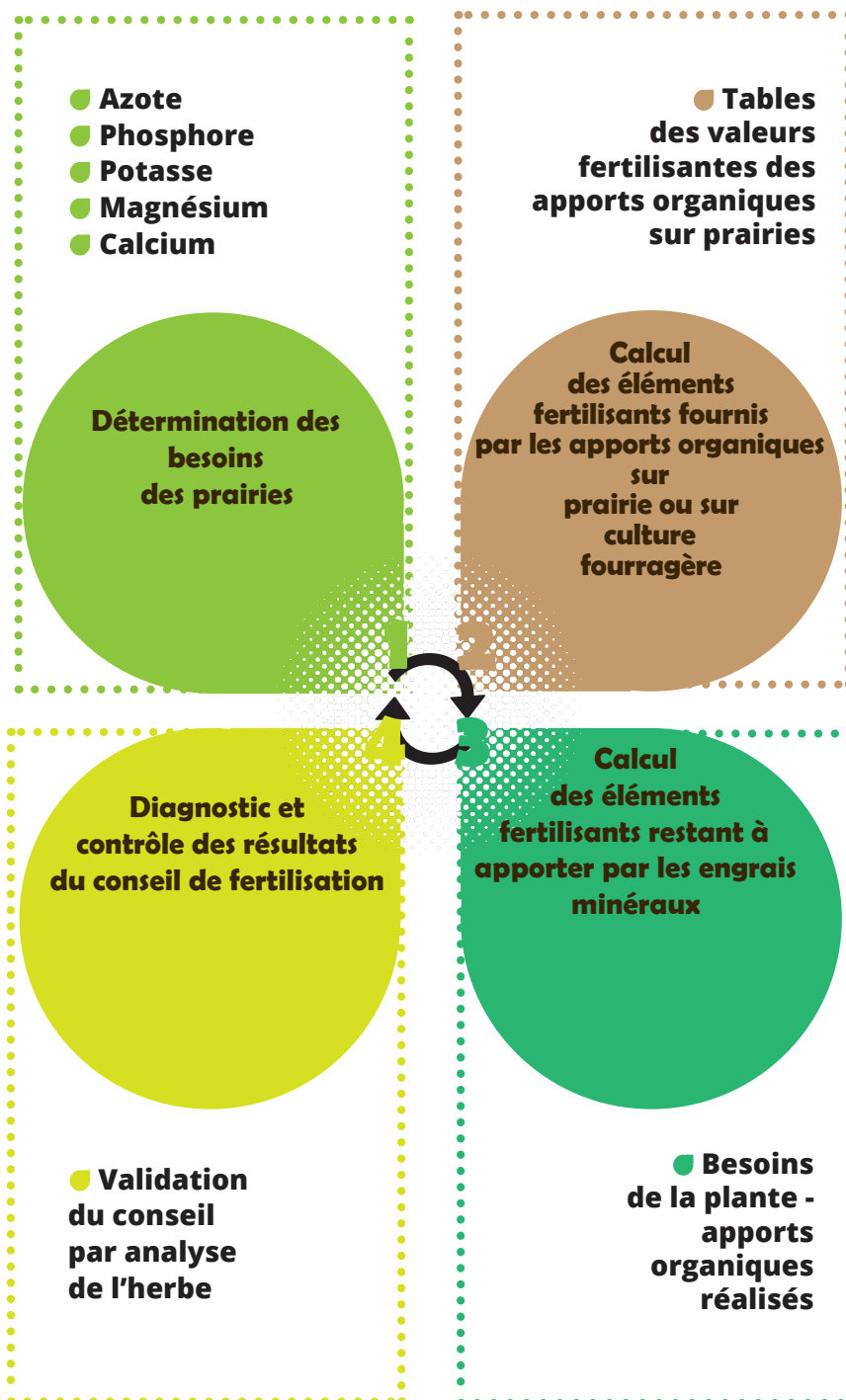

isaralyon
Une école d'ingénieurs au cœur de la vie


ARVALIS
Institut du végétal


VetAgro Sup
Campus Agronomique de Clermont


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION
avec la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
« Développement agricole et
rural »

LES 4 GRANDES ÉTAPES DE LA FERTILISATION DES PRAIRIES

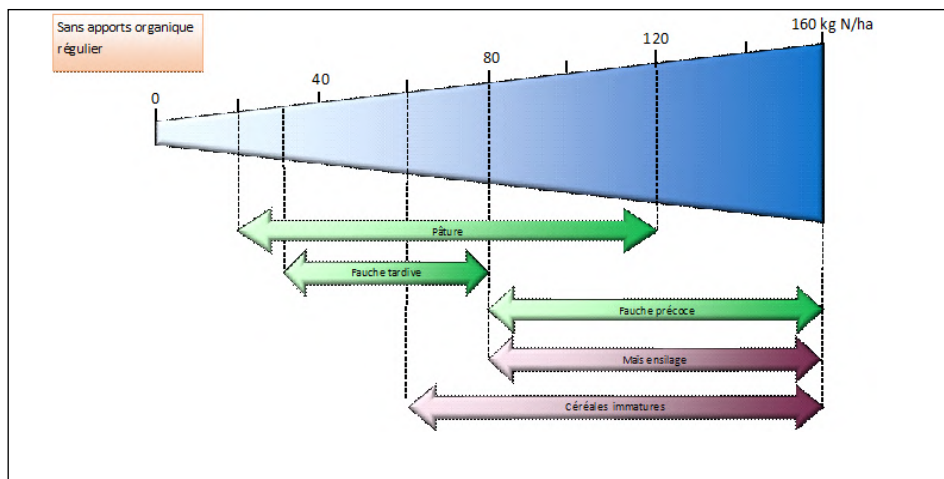
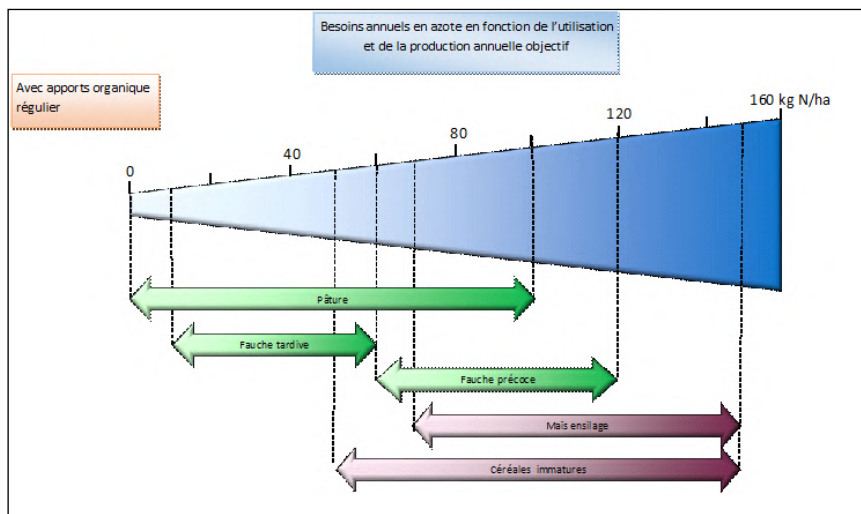


Les besoins de la prairie

1) Azote

Les besoins en azote sont calculés pour chaque type de prairie ou de culture à partir de la méthode du bilan (source GREN). Pour les fournitures du sol, on distingue à chaque fois deux niveaux d'entretien organique (apports réguliers ou occasionnels).

Pour plus de détails, consulter les tableaux conseils.



Production annuelle de la prairie



faible

très élevée

Objectif de rdt culture fourragère



faible

très élevée

2) Phosphore et Potassium

La méthode de raisonnement de la fertilisation phospho-potassique (P_2O_5 et K_2O) pour les prairies permanentes est basée sur la méthode des indices de nutrition. La méthode COMIFER, basée sur l'analyse de terre, est uniquement adaptée aux prairies temporaires et aux autres cultures fourragères (maïs fourrage, méteils...) Les besoins sont calculés pour une situation de sol moyennement pourvu (ne nécessitant ni redressement, ni impasse). Cette méthode tient compte de la teneur en élément dans le sol, du type de sol, de l'exigence des espèces et du passé de fertilisation

3) Le chaulage des prairies

La prairie permanente est un couvert végétal complexe susceptible de valoriser le chaulage. Une acidité importante a une influence sur la nature des espèces végétales qui la composent et par voie de conséquence sur la production d'herbe et sa qualité.

Conséquences d'un apport d'amendement basique

Les sols sous prairies permanentes ou temporaires de longue durée présentent généralement des gradients verticaux très prononcés de la concentration de la plupart des éléments nutritifs, du pH et de la matière organique.

La teneur élevée en matière organique dans les premiers centimètres de sol induit la formation de complexes avec l'aluminium et peut en réduire la toxicité. De ce fait la toxicité de l'aluminium ne se manifeste généralement que lorsque le pH est inférieur à 5,5, voire 5 dans la couche de surface.

Il en résulte aussi un fort pouvoir tampon vis-à-vis du pH qui implique des apports conséquents pour corriger l'acidité des sols trop acides.



Effets du chaulage sur le fonctionnement des prairies

- La toxicité aluminique, néfaste pour l'implantation de la prairie et la croissance des racines. Le ray grass, la fétuque et le dactyle présents dans certaines prairies permanentes ou semés dans de nombreuses prairies temporaires y sont particulièrement sensibles.
- Amélioration du fonctionnement du système racinaire qui exploite mieux la réserve d'eau du sol
- Modification progressive de la flore permettant l'obtention d'une herbe de meilleure qualité, à condition que les espèces soient encore présentes dans l'environnement ou semées (baisse des espèces de milieu humide ou acidophiles et développement des espèces productives.
- Amélioration de la biodisponibilité du phosphore dans le sol au moins jusqu'à pH 6,3. Au-delà, l'élévation du pH et la présence de calcium diminuent sa disponibilité.



Effets du chaulage sur l'augmentation de la production et de la qualité de la prairie

Dans les prairies très acides sont présentes des espèces adaptées aux conditions de ce milieu mais généralement peu productives et de faible qualité. Le chaulage n'influe pas ou que très peu sur la croissance des plantes dont la production peut par contre être augmentée par la fertilisation N, P et K. Il n'est toutefois pas possible d'espérer des niveaux de production très élevés et une qualité de l'herbe permettant de satisfaire les besoins d'animaux à fort niveau de production de lait ou viande. Il est par ailleurs vain d'espérer une modification rapide de la composition botanique de ces prairies par le simple chaulage.

Dans les prairies acides où des espèces plus productives ont été semées ou sont naturellement présentes, le chaulage permet d'une part leur maintien voire l'accroissement de leur abondance, et contribue de ce fait à augmenter la production d'herbe pendant la période de redressement du pH. (cf Hopkins et al. 1990. Rodriguez et al, (1994) et Pinto et al., (1995))

Exemple de raisonnement du chaulage

DOSAGE DE LA CHAUX : l'ajuster selon la capacité d'échange cationique du sol

Valeur de la CEC_{Metson} (en meq/100 g ou cmole(c)/kg)	5	10	15
Unités neutralisantes/ha pour augmenter le pH de 0,5 unité	700	1400	2000

Tableau 1 : Quantités d'unités neutralisantes nécessaires pour augmenter le pH_{eau} de 0,5 unité sur la couche labourée (0-25 cm) en fonction de la CEC_{Metson} et pour un pH_{eau} initial compris entre 5 et 6. Valeurs moyennes obtenues à partir d'expérimentations réalisées en France.

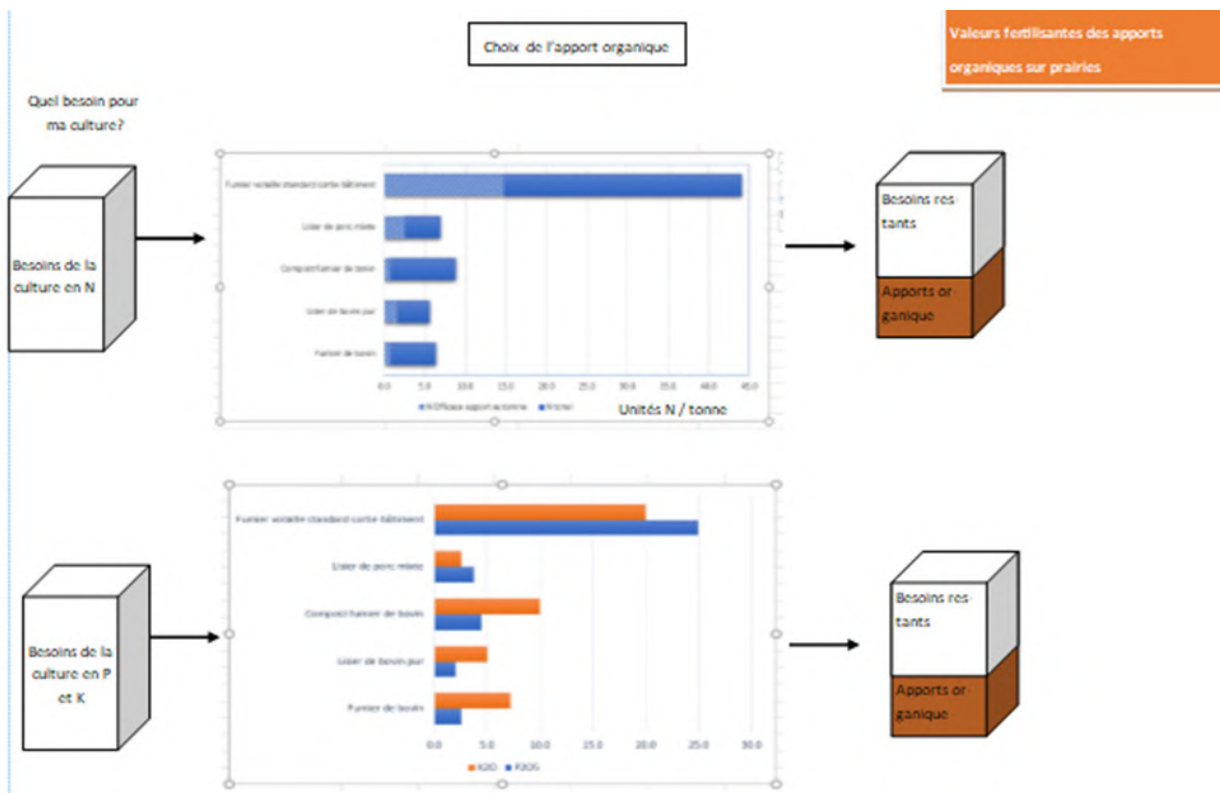
Source Arvalis Institut du Végétal

● Calcul des éléments fertilisants fournis par les apports organiques sur prairie ou sur culture fourragère



Une fois les besoins des différentes cultures connus, il faut évaluer les apports d'éléments fertilisants qui peuvent être couverts par les apports organiques. Le complément des besoins pourra se faire par l'apport d'engrais minéral.

Un apport de 25 tonnes/ha de fumier de bovin sur prairie à l'automne correspond à un apport de 20 N ($25t \times 0.8 \text{ unités/t}$) + 65 P₂O₅ ($25t \times 2.6 \text{ unités/t}$) + 180 K₂O ($25t \times 7.2 \text{ unités/t}$)

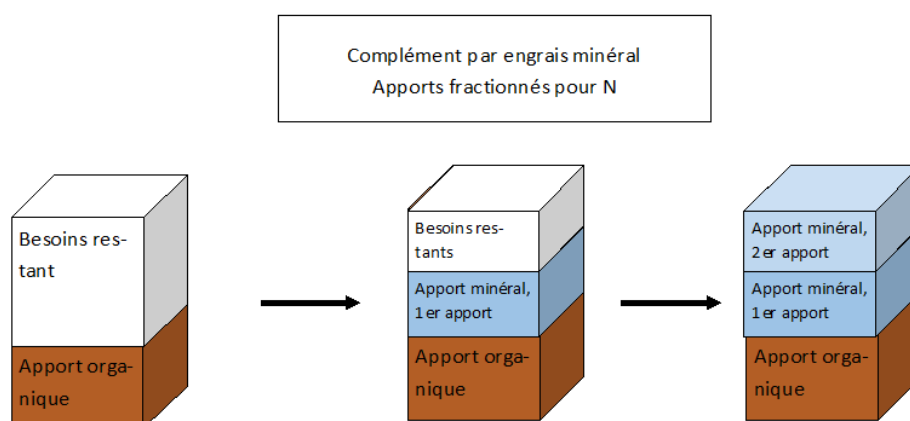


Données issues du guide régional de fertilisation, tableau des valeurs fertilisantes des apports organiques sur prairies

● Diagnostic et contrôle des résultats du conseil de fertilisation dans le cas des prairies

Cette étape se base sur l'analyse végétale d'un prélèvement d'herbe réalisé au stade montaison épiaison et a pour objectif de permettre le calcul d'un indice de nutrition qui sera ensuite utilisé pour le pilotage de la fertilisation de P et K (cf partie 1.2). L'analyse des teneurs en P et K de l'échantillon ainsi prélevé permet de connaître son état de nutrition et de vérifier et valider a posteriori le conseil de fertilisation apporté sur cette prairie. A ce jour, cette démarche n'est disponible que pour les prairies.

Ce type d'analyse complète l'analyse de sol. En effet, une analyse nous informe sur les éléments potentiellement disponibles dans le sol (voir la fiche "analyse de sol") mais ne nous renseigne pas sur la quantité d'élément effectivement absorbée par la culture. Pour comparaison, l'analyse de sol pourrait correspondre à l'analyse nutritionnelle de notre repas et l'analyse de l'herbe à une prise de sang pour contrôler ce qui a été assimilé par notre corps. En effet, certains éléments peuvent être bloqués dans le sol et ne pas être absorbés par les plantes.



Pour aller plus loin :

[*Tableaux grilles conseils pour la fertilisation en NPK et Ca Mg pour les prairies et cultures fourragères, et tableaux des valeurs fertilisante des PRO sur prairies, cultures fourragères.*](#)

[*Guide régional de la fertilisation prairies et cultures fourragères, CA Auvergne
Fiche Valorisation des engrais de ferme sur prairie et culture fourragère*](#)

[*Témoignage d'un conseiller sur la mise en oeuvre des outils de raisonnement de la fertilisation des prairies auprès des éleveurs du Puy-de-Dôme*](#)

[*Typologie des prairies AOC Massif Central*](#)

[*Soufre et fertilisation des cultures*](#)

[*Fertilisation des prairies, calculer la date du premier apport d'azote
Le chaulage, des bases pour le raisonner*](#)

[*Ferti-pratiques : Fertilisation des prairies, pour une herbe de qualité*](#)

[*Référentiel pour la fertilisation NPK des prairies de longue durée en RA*](#)

FERTISOLS.FR



Pour aller plus loin :

Rodriguez M., Lopez F.A., Pinto M., Balcazar N., Besga G., 1994 : Basic Linz-Donawitz slag as a liming agent for pastureland, Agronomy journal, 86, 904-909.

Pinto M. , Rodriguez M., Besga G., Balcazar N., Lopez F.A., 1995 : Effects of Linz-Donawitz (LD) slag on soil properties and pasture production in the basque country (Northern Spain), New Zealand journal of agricultural Research, 38, 143-155.

HOPKINS D.W., SHIEL R.S., O'DONNELL A.G., 1990 : Yield and nitrogen utilization by Lolium perenne and Trifolium repens on a limed stagnohumic- gley soil in a pot experiment, Grass and forage science, 45, 107-112.

BONISCHOT R., 1986 : Faut-il chauler les prairies permanentes, in Etat calcique des sols et fertilité ; Le chaulage, Acta, 1986, 130-137

FERTISOLS.FR



Fertisols

Auvergne-Rhône-Alpes

DIAGNOSTIQUER
AMÉLIORER
FORMER

LES PRODUITS RÉSIDUAIRES ORGANIQUES



Leur composition

Les PRO, **Produits Résiduaire**s **Organiques**, riches en nutriments, peuvent être considérés à la fois comme **engrais** et comme **amendement**. Ils sont **d'origine agricole, industrielle ou encore issus de déchets urbains**, et de natures très différentes.

Issus d'organismes vivants et de produits organiques, les PRO sont constitués d'une **fraction organique et d'une fraction minérale**. Leur teneur en matières organiques diffère et donc les formes organiques et minérales de N et de P s'y trouvent en proportions variables.

Cela leur confère **des valeurs fertilisantes, humiques ou encore acido-basiques** qui contribueront à la nutrition de la plante, l'entretien ou encore la reconstitution de la fertilité du sol.




AGRICULTURES
& TERRITOIRES
CHAMBRES D'AGRICULTURE
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES


isaralyon
Une école d'ingénieurs au cœur de la vie


ARVALIS
Institut du végétal


VetAgro Sup
Campus Agronomique de Clermont


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION
avec la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
« Développement agricole et
rural »

● Devenir et valeur nutritionnelle en NPK



La valeur amendante organique des PRO dépend de la vitesse de dégradation et d'incorporation de leur matière organique dans celle du sol.

Selon le type de PRO et sa composition, les valeurs fertilisantes des éléments NP et K sont différentes. Elles dépendent de la vitesse de passage des éléments nutritifs sous une forme assimilable par les plantes.

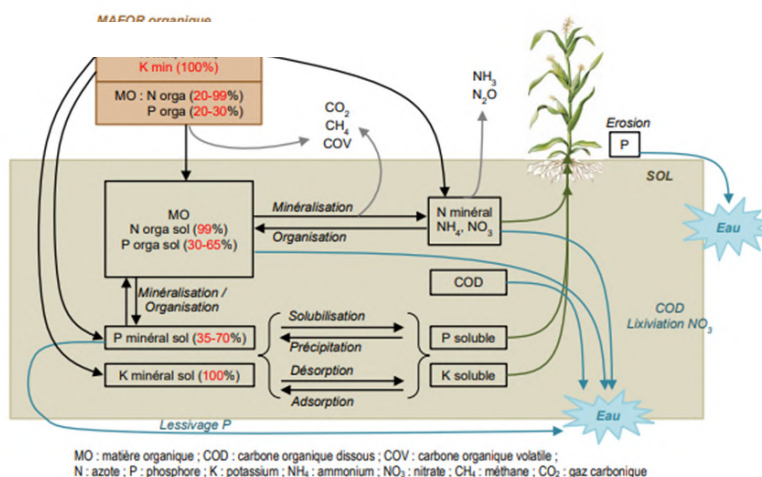


Figure 1 : Les processus régissant la valeur fertilisante organique des PRO ; impacts environnementaux associés (source Houot et al, 2014)

L'idéal est de disposer d'une analyse complète au plus proche de la date d'épandage pour prendre en compte les éventuelles transformations ayant lieu durant le stockage. A défaut, des tables de références avec des valeurs moyennes existent pour les différents types de PRO, selon s'ils sont d'origine agricole, industrielle ou encore issus de collectivité.

Type de produits		Teneurs/tonne de produit brut		
		Azote total (kg/t)	P2O5 (kg/t)	K2O (kg/t)
Fumier				
Bovins	Sur litière cumulée	5,9	2,8	9,5
	Compact	4,7	2,3	5,6
	Mou	4,5	2,2	4,9
Ovins	Fumier d'ovins	6,7	4	12
Caprins	Fumier de caprins	6,1	5,2	12
Volailles	Fumier de poulet de chair conventionnel	21,9	14,7	19
Lisier et fientes				
Bovins	Lisier de bovins	1,3	1,5	3,6
Porcs	Lisier de porc naisseur-engraisseur	3,5	2,1	2,5
	Lisier de porcs charcutiers	3,7	2,1	2,5
Volailles	Fientes de poudeuses - cage (tunnel de séchage)	39,5	37,8	25,7
Lapins	Lisier de lapins	3,3	2,5	4,3
Autres				
	Compost de fumier de bovins	6,7	3,6	10,8
	Compost de fientes de volailles avec litière	12,2	14,3	19,3
	Fumier de champignonnière	7,5	4,5	5
	Vinasses concentrées de sucrerie	25	2	70
	Compost de déchets verts	10	6	11
	Compost d'ordures ménagères	11	5	6,6
	Boues urbaines liquides biologiques	2	2,5	0,9
	Boues urbaines chaulées biologiques	8,4	9,4	0,9
	Boues urbaines compostées	7	7	15

Source : ARVALIS, IFIP, IDELE, ITAVI 2019

Figure 2 : Composition des principaux fertilisants organiques. Arvalis Institut du végétal. IFIP, IDELE, ITAVI 2019



Des analyses rapides à la ferme sont également possibles pour certains types de PRO. Elles renseigneront alors sur l'azote minéral présent dans le PRO et rapidement disponible pour la culture mais ne donneront pas d'information sur l'azote organique qui sera en partie minéralisé après l'apport.

Exemples d'outils pour analyses rapides à la ferme de N-NH4 des lisiers :

	Densimètre	Quantofix	Agro-lisier
Produits analysables	Lisier de porc exclusivement	Tous lisiers	Tous lisiers
Éléments analysés	Masse volumique	N-NH4	N-NH4
Autres éléments estimés par calcul	MS, N Total, N-NH4, P2O5? K2O (précision faible)	N Total	N Total
Principe d'analyse		Réactif liquide contenant Cl transforme NH4 en N2	Réactif anhydre contenant Cl transforme NH4 en N2
Lecture	Densité	Pression colonne d'eau	Pression manomètre
Coût indicatif appareil (euro HT)	40	280	250
Précision	Médiocre	Assez bonne	Assez bonne à médiocre

De manière générale, quand on dispose d'une analyse de produit organique, pour obtenir sa valeur fertilisante, **on multiplie la teneur en élément nutritif par un coefficient d'équivalence (Keq) qui exprime l'efficacité de l'engrais organique par rapport à un engrais minéral de référence tel que l'ammonitrate, le superphosphate ou le chlorure de potassium.** Il est d'autant plus élevé que le PRO contient des formes minérales et des formes organiques rapidement minéralisables. Le Keq **dépend aussi de la culture réceptrice, de la période d'apport et de l'enfouissement ou non du produit.**



Tableau : Moyennes et écarts-types des coefficients d'équivalence ammonitrate des produits étudiés sur 25 essais (Projet CASDAR 2007-2011)

Culture	Période d'apport	FB	CFB	FP	CFP	FV	CFV	LP
Blé	Automne	0,12 ± 0,07	0,11 ± 0,07	0,12 ± 0,06	0,07 ± 0,04			
	Printemps					0,45 ± 0,17		0,62 ± 0,16
Colza	Fin été	0,22 ± 0,13	0,20 ± 0,13			0,50 ± 0,24		0,31 ± 0,27
	Printemps							0,56 ± 0,18
Maïs	Printemps	0,33 ± 0,19	0,29 ± 0,19	0,47 ± 0,20	0,35 ± 0,20	0,51 ± 0,17	0,43 ± 0,19	0,47 ± 0,25
Prairies	Automne	0,20 ± 0,12	0,15 ± 0,09	0,25 ± 0,05	0,25 ± 0,08			
	Printemps		0,43 ± 0,28					0,74 ± 0,37

Légende :

FB : Fumiers de bovins

CFB : Fumiers de bovins compostés

FP : Fumiers de porcins

CFP : Fumiers de porcins compostés

FV : Fumiers de volailles

CFV : Fumiers de volailles compostés

LP : Lisier de porcins

Source : Projet Casdar 2007-2011



Le coefficient d'équivalence pour le potassium est égal à 1 quel que soit le type de produit.

Pour le calcul de la fertilisation phosphatée de la culture réceptrice, le Keq n'est à prendre en compte **que dans le cas où l'apport de phosphore est nécessaire**, c'est-à-dire lorsque la teneur en P_2O_5 de l'analyse de terre la plus récente de la parcelle est inférieure au seuil impasse. Cette teneur est définie **dans la méthode COMIFER (Cf Fiche PKMg)**. Au-dessus de cette valeur, pour laquelle l'absence de fumure sur la culture en place n'entraîne pas de chute de rendement significative, la prise en compte des Keq pour le phosphore est inutile **puisque l'on ne raisonne pas les apports de PRO sur le phosphore**. Après un an de présence dans le sol, le phosphore des matières organiques a le même effet sur l'enrichissement du sol que les engrais phosphatés solubles dans l'eau. Il contribue, quelle que soit la teneur du sol, **à l'accroissement ou l'entretien à moyen terme de la biodisponibilité du phosphore et doit être pris en compte dans le bilan de fertilisation**.

Tableau : Coefficient d'équivalence superphosphate des produits organiques pour l'année de l'apport

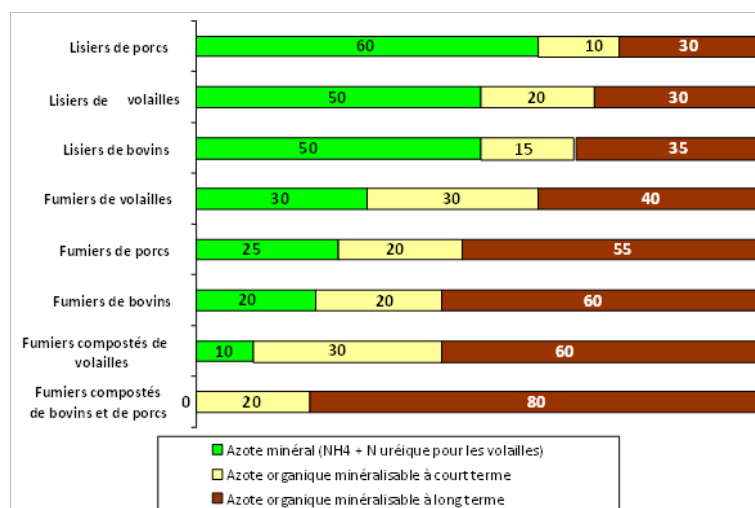
Type de produit	Coefficient d'équivalence P_2O_5
Lisiers et fumiers de porcs	0,95
Fumiers et fientes de volailles	0,85
Fumiers de bovins	0,80
Composts et fumiers de bovins	0,70
Boues de STEP biologiques	0,95
Boues de STEP physico-chimiques (CaO, sels Fe)	0,90
Compost de boues de STEP et déchets verts	0,70
Compost de déchets verts	0,55

Source : Arvalis Institut du végétal

● Différents effets de l'azote de PRO

L'azote dans les PRO se présente sous différentes formes, **minérales et organiques**, qui seront assimilables pour la plante (ou « efficaces ») à plus ou moins long terme. **La part d'azote minéral** (essentiellement sous forme ammoniacale) est immédiatement disponible pour la culture **s'il n'y a pas de perte au moment de l'apport**. Une part de l'azote organique, facilement dégradable, **va être minéralisée au cours de l'année qui suit l'apport** et sera elle aussi disponible pour la culture **tandis qu'une autre part sera soumise à une minéralisation plus lente similaire à celle de la matière organique du sol**.

- **Effet direct N (année 1) > Assimilable dans l'année suivant l'apport :** N minéral + N minéralisé à court terme (se retrouve en grande partie dans le « reliquat » d'azote minéral du sol en sortie d'hiver si apport à l'automne)
- **Effet N à court terme (année 2) > Assimilable dans les deux ans suivant l'apport :** **minéralisation du produit selon sa composition** et en fonction de paramètres tels que le système de culture ...
- **Effet à long terme ou « arrière effet » (décennies) > Minéralisation du produit sur le long terme, du fait de la nature « récalcitrante » du produit pour la dégradation.** La libération d'azote minéral est faible, mais le produit contribue à l'augmentation du stock de MO du sol



Source : Arvalis Institut du végétal

Les produits à vitesse de minéralisation lente libèrent tout au plus 10 à 15 % de leur azote organique au cours de la première année suivant leur épandage. Ils incluent par exemple les composts à base de déchets verts ou les fumiers de bovins compostés et stockés au moins dix mois. **Ces produits sont principalement utilisés pour entretenir le stock de carbone organique du sol et non comme fertilisants azotés.**

● **Volatilisation de l'ammoniac consécutive à des épandages de produits organiques.**

Les apports de PRO peuvent engendrer des pertes d'azote sous forme ammoniacale (volatilisation), qui constitueront des pertes en nutriments vers l'atmosphère.

Cette volatilisation de l'ammoniac consécutive à des épandages de produits organiques peut varier de 0 à 80 % du NNH_4 selon :

- **Le produit : teneur en azote ammoniacal et uréique, taux de matière sèche des lisiers, pH du produit.**
- **La méthode d'épandage : dose, type d'épandage (projection, enfouissement, ...), délais entre l'épandage et l'enfouissement.**
- **Les conditions climatiques au moment de l'épandage (températures, vent, pluies).**
- **L'état de surface du sol : pH des premiers centimètres, saturation en ions ammonium, rugosité, couvert en place.**

Les pertes sont d'autant plus importantes que le produit a une teneur élevée en azote ammoniacal, que la température de l'air et la vitesse du vent sont élevées et que le pH du produit est élevé. Cependant, ces pertes peuvent être efficacement réduites notamment grâce à un enfouissement des effluents rapidement après l'épandage, de préférence avant 4 à 6h après l'épandage (méthode la plus efficace).



● Effet à long terme d'apport régulier en PRO

Différents essais de longue durée ont été synthétisés dans le cadre d'un projet CASDAR conduit de 2007 à 2011, associant neuf organismes (ARVALIS-Institut du végétal, INRAE, IDELE, Chambres d'Agriculture de Bretagne, de Loire-Atlantique, du Cher, de la Creuse, de la Haute-Vienne et de l'Indre).

Ces essais ont montré qu'un apport régulier de fumier de bovins permet un stockage de MO dans le sol en comparaison à l'absence d'apports. Deux ans après un apport de 30 t/ha d'un fumier de bovins, l'azote minéralisé annuellement représente seulement quelques kilogrammes par hectare. Au moins 10 ans d'apports réguliers sont nécessaires pour que le supplément de minéralisation par rapport à une fertilisation minérale devienne perceptible au niveau de l'absorption par les cultures.

● Quand épandre les PRO ?

Choisir la période d'apport et les cultures réceptrices

La période d'apport est généralement raisonnée par rapport à l'azote minéral. L'optimisation de la valorisation des PRO repose sur une bonne assimilation des nutriments apportés. Cela dépend donc des périodes d'assimilation des couverts et des possibilités d'accès aux parcelles. Leur utilisation est aussi soumise à réglementation, notamment la directive nitrates dans laquelle sont définies des périodes d'interdiction d'épandage.

Fumiers bovins	Lisiers bovins ou porcs	Fumiers de volailles
<ul style="list-style-type: none">• Fin d'été avant colza• Début automne sur céréales d'hiver ou prairies• Sortie d'hiver pour culture fin printemps	<ul style="list-style-type: none">• Sortie d'hiver sur colza céréales d'hiver, orge de printemps, prairie• Printemps avant /sur maïs	<ul style="list-style-type: none">• Printemps avant maïs• Fin d'été avant colza



Pour aller plus loin :

RMT Elevage et environnement

10 fiches de rappels agronomiques sur l'utilisation des produits organiques et 32 fiches produits effluents d'élevage sur le site du RMT Elevage et Environnement, rubrique Effluents

<https://www.arvalis-infos.fr/integrer-les-valeurs-fertilisantes-des-produits-organiques-dans-le-plan-de-fumure-@/view-12357-arvarticle.html>

<https://www.arvalis-infos.fr/enfouir-les-produits-organiques-pour-limiter-les-pertes-par-volatilisation-ammoniacale-@/view-17643-arvarticle.html>

*Houot, S., Pons, M. N., Pradel, M., Aubry, C., Augusto, L., Barbier, R., ... & Dabert, P. (2014). Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier. Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques - Fertilité des sols : la gérer pour maintenant et pour demain
Des indicateurs évaluent l'effet d'apports organiques
Fiche, mieux valoriser les effluents d'élevage*

[AFPF_Incidence d'apports répétés d'engrais de ferme sur la fertilité.pdf](#)

[Agri-Bio_FICHE, optimiser les apports d'engrais organique en agriculture biologique.pdf](#)

[Module de formation 7 - Chapitre 12. Les amendements organiques](#)

[CompoSim. Le calculateur de la quantité et de la composition des effluents de porcs, bovins et volailles](#)

[Nov2015-Comifer-Gemas-POSTER-PRIEUR.pdf](#)

[Calcullette d'échange Paille - fumier](#)

[Fertiliser avec des produits organiques](#)

[Valorisation des matières fertilisantes](#)

[Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier](#)

[Les bonnes pratiques d'épandage du fumier](#)

[Fiche technique Gérer son fumier](#)

FERTISOLS.FR

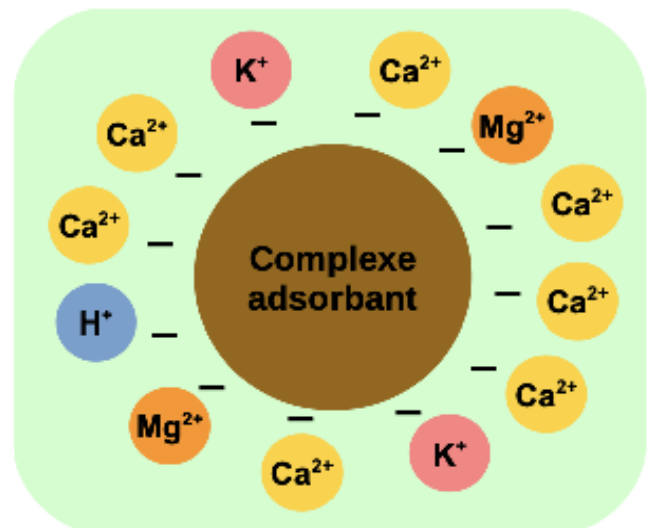


Fertisols
 DIAGNOSTIQUER
 AMÉLIORER
 FORMER
 Auvergne-Rhône-Alpes

LA CAPACITÉ D'ÉCHANGE CATIONIQUE

La Capacité d'Échange Cationique, la CEC, est un paramètre important de l'analyse de sol et permet de connaître le pouvoir fixateur du sol vis-à-vis des cations. Elle mesure le nombre total de charges cationiques qu'une masse de terre donnée peut retenir à l'état échangeable par des liaisons faibles de type électrostatique, sur son complexe adsorbant dans des conditions connues de pH, de concentrations et de natures de cations et anions présents. Plus la CEC sera élevée, plus les cations seront susceptibles d'être stockés par le sol.

C'est le réservoir de fertilité chimique d'un sol, très lié à la nature du sol. Elle résulte des charges négatives situées à la surface des argiles et des matières organiques. Elle est également dépendante du pH et de la nature des argiles.



Les cations se fixent de manière réversible sur le complexe adsorbant, en équilibre avec la solution du sol.

Son unité est le milliéquivalent par 100 grammes (mEq/100 g) de sol ou le centimole de charge positive par kilogramme sachant que 1 cmole (+) /kg = 1 meq/100g.



AGRICULTURES
 & TERRITOIRES
 CHAMBRES D'AGRICULTURE
 AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

isaralyon
 Une école d'ingénieurs au cœur de la vie

ARVALIS
 Institut du végétal

VetAgro Sup
 Campus Agronomique de Clermont

Liberté • Égalité • Fraternité
 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
 MINISTÈRE
 DE L'AGRICULTURE
 ET DE L'ALIMENTATION
 avec la contribution
 financière du compte
 d'affectation spéciale
 «Développement agricole et
 rural»

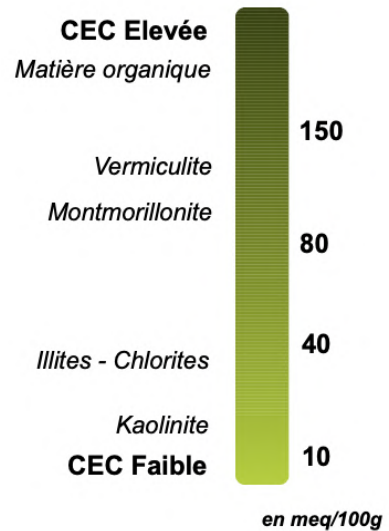
COMPRENDRE LE LIEN TYPE DE SOL / NIVEAU DE CEC

Le niveau de CEC dépend des caractéristiques minéralogiques du sol (teneurs et types d'argiles) et de son taux de matière organique.

La matière organique apporte une forte contribution dans le niveau de la CEC : **4 à 5 fois plus en moyenne qu'une argile.** Les sols présentant les CEC les plus élevées, en France, sont des sols très riches en matières organiques ou certains sols volcaniques. Les sols sableux ou limoneux auront des CEC, de par nature, faibles en comparaison des sols argileux.

Le pH influe beaucoup sur la capacité de ce réservoir. Plus le pH diminue, plus la CEC diminue, plus le pH augmente, plus la CEC sera élevée pour un même type de sol.

Il est possible d'augmenter la CEC d'un sol en jouant sur les leviers d'amélioration de son taux de matière organique et, pour les sols acides, en ayant recours au chaulage.



UTILISER LA CEC POUR GÉRER LA FERTILITÉ DE SES SOLS

C'est à partir de la CEC que l'on peut déterminer les pertes du sol en calcium, potassium et magnésium.

Elle permet notamment :

- de calculer les doses d'amendements basiques lors des opérations de chaulage des sols à tendance acide,
- d'adapter les pratiques de fertilisation potassique ou magnésienne aux capacités de stockage du sol : doses et fréquence d'apport.

La capacité d'échange cationique donne également des indications sur la capacité d'un sol à résister aux changements de pH (capacité tampon).

CEC :
1 meq/kg
= 0,1 cmol/kg
= 0,1 meq/100g

Valeurs repères de la CEC dans les sols

Faible réservoir <9 meq/100g	Réservoir moyen 12 meq/100g	Réservoir correct 20 meq/100g	Important réservoir 40meq/100g
---------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------

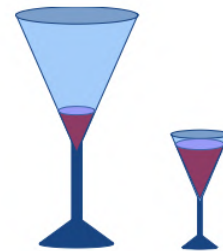


Pendant, il faut être vigilant dans les interprétations des analyses de sol. **La CEC effective d'un sol varie en fonction du pH.** Or la **méthode Metson** de détermination de la CEC (méthode la plus courante) **effectue la mesure à pH 7 quel que soit le sol de départ.** Ainsi pour des sols acides ou au contraire très basiques, la CEC peut être **fortement sur ou** sous-estimée.

ZOOM SUR LE TAUX DE SATURATION

● Tout autant que la CEC elle-même, son **taux de saturation** (TS) est aussi important. Il correspond au niveau de remplissage du complexe adsorbant. Il donne des indications sur le **niveau et la qualité du remplissage du réservoir.**

La CEC est principalement remplie par les 4 cations Ca, Mg, K et Na (par ordre d'importance). Dans un sol connaissant un problème d'acidité, une partie de cette CEC n'est pas occupée par ces cations mais par des ions H⁺.



Un grand réservoir, c'est bien...
encore faut-il qu'il soit bien rempli !

VÉRIFIER L'ÉQUILIBRE ENTRE LES CATIONS

● Une trop forte teneur dans un élément peut induire des carences dans d'autres éléments. Dans les sols calcaires (saturation du complexe adsorbant par les ions calcium), il existe un antagonisme avec le potassium. Il faut également vérifier que le rapport **K₂O/MgO se situe entre 2 et 3.** La potasse en excès peut induire des carences magnésiennes.

Pour aller plus loin :

[Mesure de CEC et de cations échangeables par une solution de cobaltihexamine saturée en carbonate](#)

[Matières fertilisantes organiques : gestion et épandage](#)

FERTISOLS.FR