

Mémento d'agronomie

- Le sol
- Les plantes
- La transition agroécologique des systèmes
- Les plantes de service et l'érosion
- Des exercices récapitulatifs et leurs corrigés

Françoise Néron ■ Lionel Alletto



Sommaire

| | |
|--|-----|
| Introduction | V |
| Table des sigles | VII |
| Mémento d'agronomie | 1 |
| Organisation/mode d'emploi de ce « Mémento » | 1 |
| PARTIE 1 – LE SOL | 3 |
| 1 Les fonctions du sol et ses différents états | 4 |
| Les fonctions et services écosystémiques du sol | 4 |
| Les différents états du sol | 5 |
| 2 Les fractions du sol et la texture (composition du sol) | 6 |
| Les différentes fractions du sol | 6 |
| La texture (composition minérale du sol) et le triangle de texture | 7 |
| 3 Les matières organiques (MO) et leur évolution | 9 |
| La composition des matières organiques des sols | 9 |
| L'évolution des matières organiques des sols | 10 |
| 4 Le CAH (Complexe Argilo-Humique) | 12 |
| 5 L'état physique du sol | 13 |
| La structure | 13 |
| La battance (dégradation de la structure) | 14 |
| 6 L'eau | 16 |
| Définitions | 16 |
| Le potentiel hydrique du sol | 16 |
| Le stockage et la disponibilité de l'eau du sol | 17 |
| Le cycle de l'eau | 18 |
| 7 Le profil cultural et les caractérisations de l'état structural | 20 |
| Les objectifs et les éléments d'observation du profil cultural | 20 |
| Le diagnostic consécutif au profil cultural | 21 |
| 8 Les principaux indicateurs chimiques d'un sol | 23 |

| | |
|---|----|
| 9 Rôle, appréciation et gestion des matières organiques du sol (MOS) | 24 |
| Les rôles des matières organiques sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et leurs conséquences environnementales | 24 |
| Les indicateurs de l'activité biologique | 25 |
| L'amélioration de la teneur en matières organiques des sols | 26 |
| Le compostage | 27 |
| 10 Le pH du sol et le calcium | 30 |
| Le pH | 30 |
| Le calcium | 31 |
| Les amendements calcaires | 31 |
| 11 analyse de terre | 34 |
| 12 L'état biologique du sol | 36 |
| Définitions autour du vivant | 36 |
| Les organismes vivants du sol | 36 |
| Les vers de terre | 38 |
| Évaluation de l'activité biologique du sol | 38 |
| 13 Le travail du sol | 40 |
| Réponses aux questions des fiches 1 à 13 | 48 |
| PARTIE 2 – LES PLANTES | 53 |
| 14 Définitions | 54 |
| Croissance, développement, stade et phase | 54 |
| Cycle de vie des plantes | 54 |
| Période végétative et période reproductrice | 56 |
| Organes sources et organes puits | 56 |
| 15 Les stades phénologiques et les conditions internes de germination des plantes | 58 |
| Les stades phénologiques ou stades repères du blé, du colza et du pois | 58 |
| Conditions internes de germination des plantes | 60 |
| 16 La température et le sol et les plantes | 61 |
| La température des sols | 61 |
| L'influence de la température sur les fonctions de la plante | 62 |
| Le zéro de végétation | 62 |
| Thermopériodisme et vernalisation | 63 |

| | |
|---|-----------|
| La somme des températures ou besoins thermiques | 63 |
| Les excès thermiques | 64 |
| 17 La lumière et les plantes | 66 |
| La photosynthèse | 66 |
| Les relations azote/carbone dans le fonctionnement photosynthétique. | 66 |
| L'Indice Foliaire (IF) | 66 |
| Le photopériodisme | 67 |
| Le phototropisme | 67 |
| Les besoins en intensité d'éclairément | 68 |
| La morphogénèse des arbres | 68 |
| 18 L'eau et les plantes | 69 |
| Le devenir de l'eau et l'évapotranspiration | 69 |
| Les excès d'eau | 70 |
| Les déficits en eau | 71 |
| 19 Les besoins nutritionnels du végétal | 73 |
| Définitions et lois de fertilisation | 73 |
| Notions générales | 74 |
| La fertilisation azotée | 74 |
| Les fertilisations phosphatés et potassiques | 76 |
| Réponses aux questions des fiches 14 à 19 | 78 |
| PARTIE 3 – VERS LA TRANSITION AGRO-ÉCOLOGIQUE DES SYSTÈMES | 81 |
| 20 Itinéraires et systèmes | 82 |
| Définitions | 82 |
| Les composantes d'un système de culture | 83 |
| Rotation et assolement | 83 |
| 21 Les principaux systèmes agricoles | 85 |
| Réponses aux questions des fiches 20 à 21 | 87 |
| PARTIE 4 – PLANTES DE SERVICE ET ÉROSION | 89 |
| 22 Les caractéristiques des plantes de service | 90 |
| Définitions | 90 |
| Les fonctions écosystémiques | 91 |

| | |
|---|-----|
| 23 Les principales plantes de service | 93 |
| 24 L'érosion des sols (mécanismes) | 96 |
| Définition | 96 |
| 25 L'érosion des sols (pistes d'atténuation) | 98 |
| Réponses aux questions des fiches 22 à 25 | 99 |
| | |
| PARTIE 5 – EXERCICES RÉCAPITULATIFS | 101 |
| Conseils et astuces | 102 |
| Énoncés des exercices | 103 |
| Exercice 1 : Bilan humique sur une rotation** | 103 |
| Exercice 2 : Bilan humique sur une exploitation*** | 104 |
| Exercice 3 : Évaluation du poids de semence à l'hectare** | 106 |
| Exercice 4 : Bilan de fertilisation azotée (simplifié)** | 107 |
| Exercice 5 : Les CIMS** | 110 |
| Corrigés | 111 |
| Exercice 1 : Bilan humique sur une rotation** | 111 |
| Exercice 2 : Bilan humique sur une exploitation*** | 113 |
| Exercice 3 : Évaluation du poids de semence à l'hectare** | 116 |
| Exercice 4 : Bilan de fertilisation azotée (simplifié)** | 117 |
| Exercice 5 : Les CIMS** | 118 |

Mémento d'agronomie

Avertissement

Le mémento est, par définition, un aide-mémoire. Le lecteur qui souhaite des explications plus détaillées et un approfondissement des notions évoquées dans cet ouvrage peut se référer au « Petit précis d'agronomie » écrit par les mêmes auteurs et également publié aux Éditions France Agricole.

Organisation/mode d'emploi de ce « Mémento »

Le « Mémento d'agronomie » comprend :

- 4 grandes parties, traitant respectivement des caractéristiques du sol, des conditions de croissance et de développement des plantes, de la transition agro-écologique des systèmes, des plantes de service et de l'érosion des sols. Chacune de ses parties est composée de plusieurs fiches.
- 25 fiches présentant de façon très synthétique (tableaux, figures...) les informations essentielles, sous forme brute, autour de l'agronomie.
- Chaque fiche s'achève par deux rubriques :
 - Des questions (« Pour aller plus loin ») dont le degré de difficulté est évalué par « * » (le plus accessible) ou « ** » (le plus complexe). La réponse à ces questions ne se trouve pas forcément dans la fiche, mais vous trouverez l'information dans le corrigé présenté de façon rédigée à la fin de chacune des 4 parties.
 - Un « Le saviez-vous ? » qui propose une anecdote/une curiosité autour du thème de la fiche.
- Une cinquième partie proposant 5 exercices (avec corrigé) permettant une approche globale et chiffrée de certaines notions/fonctionnement de systèmes.

Le sol

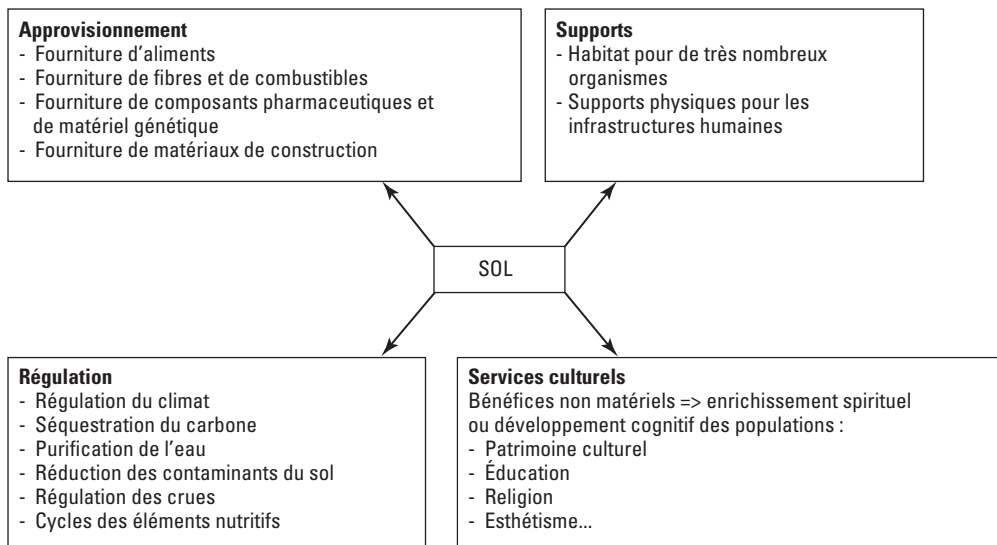
1

Les fonctions du sol et ses différents états

Les fonctions et services écosystémiques du sol

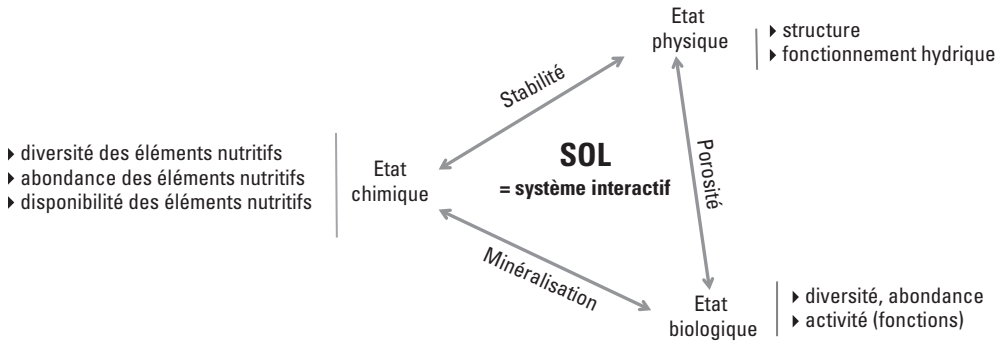
Services écosystémiques du sol: services rendus par le sol répondant à des besoins humains physiologiques, sanitaires, sociétaux, de sécurité ou de développement.

Il existe 4 catégories de services écosystémiques selon l'INRAE: approvisionnement, supports, régulation et services culturels (voir figure 1-1).



▲ **Figure 1-1:** Fonctions et services écosystémiques du sol

Les différents états du sol



▲ **Figure 1-2** : Les différents types d'états (chimique, physique et biologique) du sol et leurs caractéristiques descriptives

| | |
|--|---|
| Fiche 1 Fonctions et état du sol | Pour aller plus loin |
| | Question * Comment un sol non artificialisé peut-il réguler les crues ? |
| | Question ** Quel adjectif qualifie les organismes qui habitent le sol ? |

Le saviez-vous ?

La terre « crue » (par opposition à la terre « cuite ») est un matériau de construction utilisé depuis, au moins, 11 000 ans (vestiges retrouvés en Syrie). Elle reste, aujourd'hui encore, l'une des principales matières premières employées dans les constructions puisque l'on estime qu'un tiers environ de l'habitat humain est en terre crue.

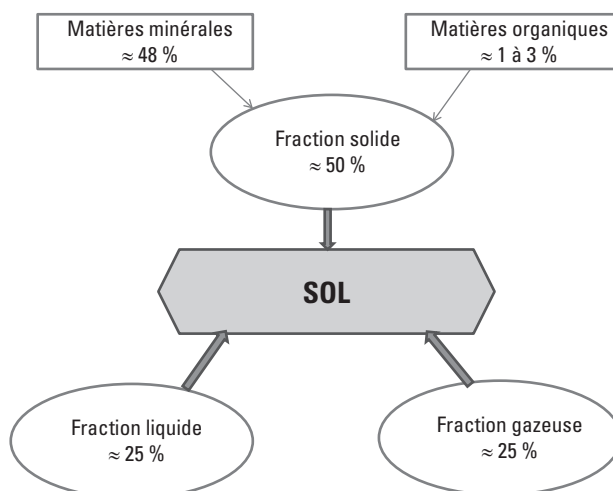
2

Les fractions du sol et la texture (composition du sol)

Les différentes fractions du sol

| TABLEAU 1-1 : LES DIFFÉRENTES FRACTIONS DU SOL | | |
|--|-------------------------------------|---|
| Porosité | Fraction liquide ou solution du sol | Eau du sol contenant des substances nutritives et éventuellement polluantes |
| | Fraction gazeuse | Atmosphère du sol contenant 18 à 20,5 % d'O ₂ (taux décroissant avec la profondeur) + 78,5 à 80 % de N ₂ + 0,2 à 3,5 % de CO ₂ |
| Fraction solide | | Voir « composition minérale et organique du sol » ci-après |

| Type de porosité | Microporosité | Mésoporosité | Macroporosité |
|------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Taille des pores | ≤ 2 nm (2.10 ⁻⁶ mm) | 2 nm à 0,1 mm | ≥ 0,1 mm |



▲ **Figure 1-3:** Répartition des différentes fractions du sol en termes de volume (en moyenne)

TABLEAU 1-3 : VARIATION DE LA POROSITÉ DANS LES SOLS (LISTE NON EXHAUSTIVE)

| Facteur de variation | Caractéristiques du facteur de variation | Effets du facteur de variation |
|--------------------------------|--|--|
| Abondance de l'eau | Sécheresse | Augmentation de la fraction gazeuse. |
| | Pluviométrie ou irrigation | Augmentation de la fraction liquide. |
| Composition du sol (texture) | Dominante sableuse | Forte porosité avec fraction gazeuse importante. |
| | Dominante limoneuse | Faible porosité. |
| | Dominante argileuse | Fortes variations de la porosité selon la teneur en MO, le travail du sol... |
| Interventions de l'agriculteur | Labour | Augmentation de la porosité mais non pérenne. |
| | Non labour | Diminution de la porosité à court terme puis augmentation liée à l'activité biologique des sols. |
| | Roulage | Diminution de la porosité. |
| | Amendements | Augmentation de la porosité. |

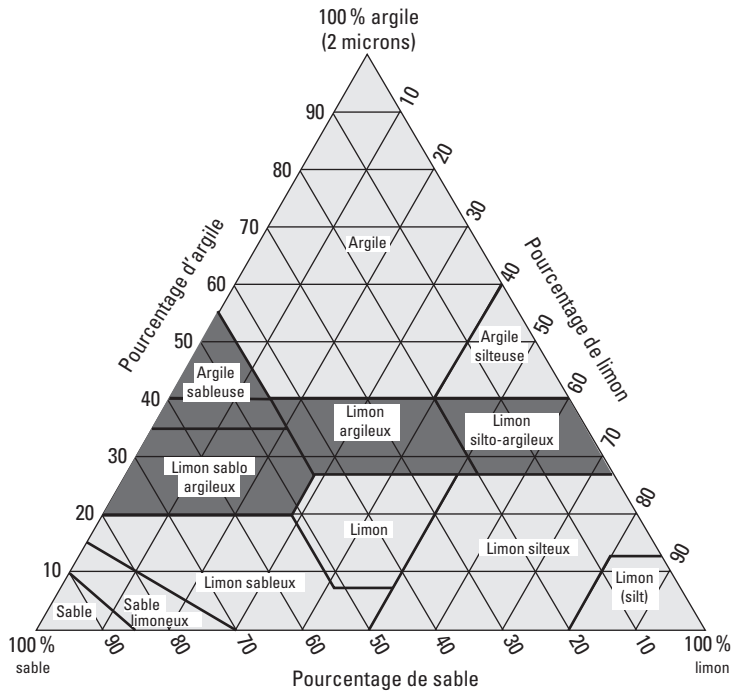
La texture (composition minérale du sol) et le triangle de texture

Texture: composition du sol décrite selon la proportion de ses particules solides (constituants minéraux) classées en fonction de leur taille. La dénomination des différents constituants dépend exclusivement de la taille des particules.

TABLEAU 1-4 : LES CONSTITUANTS MINÉRAUX D'UN SOL

| Terre fine (en mm) | | | | | Refus (en mm) |
|--------------------|--------------|------------------|-------------|------------------|----------------------|
| Argile | Limons fins | Limons grossiers | Sables fins | Sables grossiers | Cailloux et graviers |
| < 0,002 | 0,002 à 0,02 | 0,02 à 0,05 | 0,05 à 0,2 | 0,2 à 2 | > 2 |

Détermination du nom du sol: à partir de sa texture en s'appuyant sur un triangle de texture (il en existe plusieurs types).



▲ **Figure 1-4:** Exemple d'un triangle de texture (USDA (©FAO))

Le croisement des perpendiculaires de chacun des côtés se situe dans une zone où figure le nom du sol.

| | |
|---|--|
| Fiche 2 Fractions du sol et texture | Pour aller plus loin |
| | Question * Quel type de production apprécie particulièrement les sols très sableux ? |
| | Question ** Les argiles peuvent être nommées selon la taille des particules ou selon leur composition chimique (minéralogique). Comment qualifie-t-on les argiles classées selon la taille ? |

Le saviez-vous ?

Lors des crues annuelles, le Nil débordait et apportait des « limons » qui fertilisaient les terres d'Égypte. Or ces « limons noirs » n'ont pas du tout la même définition qu'en agronomie puisqu'il s'agissait, en fait, essentiellement de végétaux en décomposition.

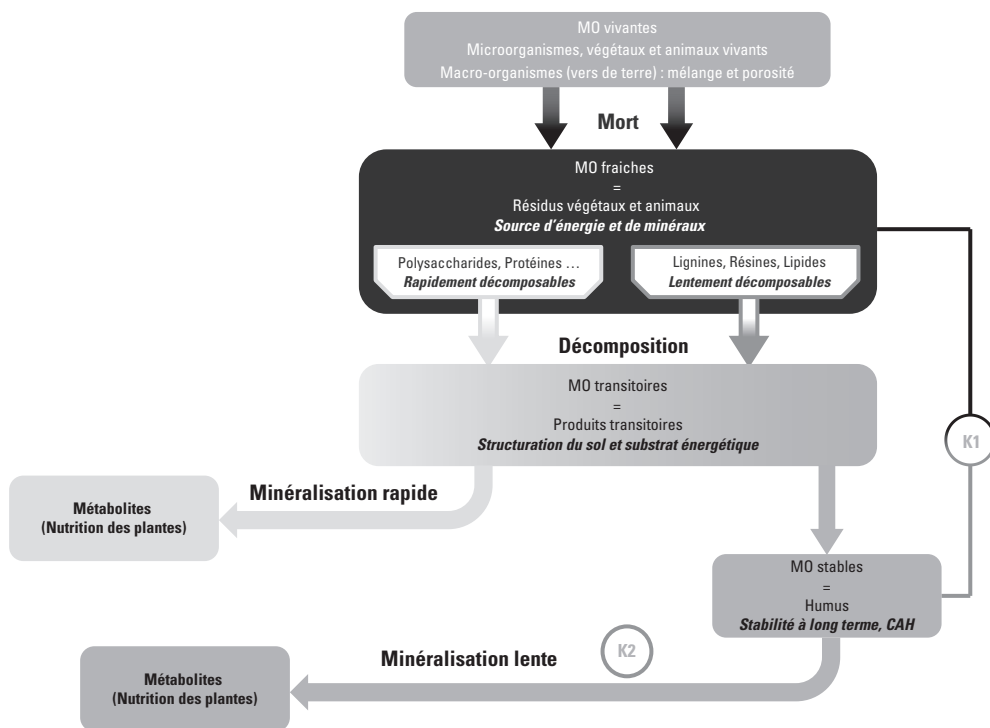
Les matières organiques (MO) et leur évolution

La composition des matières organiques des sols

TABLEAU 1-5 : PRINCIPALES FORMES MOLÉCULAIRES DES MATIÈRES ORGANIQUES DANS LES PLANTES ET LES SOLS (FOTH, 1990)

| Fraction de matières organiques | | Proportion dans les plantes (%) | Proportion dans les sols (%) |
|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Glucides | Hémicelluloses – Pectines | 10 – 30 | 0 – 2 |
| | Cellulose | 20 – 50 | 2 – 10 |
| | Lignine et composés dérivés | 10 – 30 | 35 – 50 |
| Protéines | | 1 – 15 | 28 – 35 |
| Lipides, cires, autres acides gras | | 1 – 8 | 1 – 8 |

L'évolution des matières organiques des sols



▲ **Figure 1-5 :** Évolution des matières organiques

TABLEAU 1-6 : LES COEFFICIENTS K1 ET K2

| Le coefficient | Définition | Facteurs de variation | Valeurs du coefficient |
|--|---|---|------------------------|
| K1 coefficient d'humification ou coefficient iso-humique | Pourcentage de réorganisation des matières organiques fraîches (ou brutes) en humus stable (rendement). | Nature des MO brutes Système de culture ... | 5 à 60 % |
| K2 coefficient de minéralisation | Pourcentage d'humus stable se minéralisant, libérant des substances nutritives pour les plantes. | Climat. Type de sol. Système de culture ... | 1 à 3 %/an |

TABLEAU 1-7: DURÉE DE L'ÉTAT DES DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE MATIÈRES ORGANIQUES

| Type de matières organiques | Durée de l'état |
|---|--------------------------|
| MO fraîches (ou brutes) | Quelques jours à 1–2 ans |
| MO transitoires | 15 à 30 ans |
| MO stable ou humus stable (forme la plus abondante) | 30 à 1 000 ans et plus |

Fiche 3
Matières
organiques

Pour aller plus loin

Question *

Quelles sont les différentes parties du blé qui peuvent devenir des résidus de culture ?

Question **

Faut-il rechercher un K2 élevé ?

Le saviez-vous ?

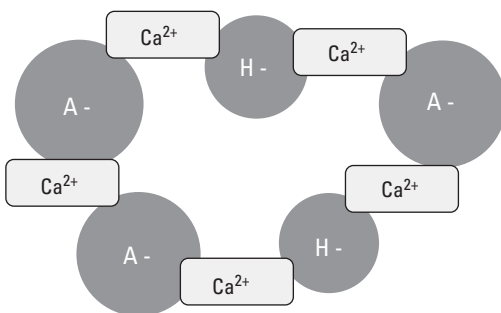
La tourbe est une matière organique fossile parfois utilisée comme combustible (Écosse, Irlande). Elle est la résultante d'une accumulation de végétaux morts dans un milieu saturé en eau, donc anaérobie. La durée de sa formation est très longue, de l'ordre de 1 000 à 7 000 ans.

4

Le CAH (Complexe Argilo-Humique)

TABLEAU 1-8 : DÉFINITIONS AUTOUR DU COMPLEXE ARGILO-HUMIQUE

| | |
|---|---|
| CAH Complexe argilo-humique | Ensemble des agrégats du sol. |
| Agrégat | Assemblage élémentaire du CAH (1 à quelques mm) résultant de la floculation, phénomène assuré principalement par les micro-organismes, vers de terre et racines. |
| CEC Capacité d'échange en cations | Potentiel de fixation des cations sur le CAH dans un sol donné. |
| Colloïde | Fines particules (micelles) portant des charges électriques de même signe. |
| Floculation | Association de colloïdes électronégatifs du sol (matières organiques/humus et argile) grâce à des cations bivalents (type Ca^{2+}) formant un « pont calcaïque ». |
| Dispersion | Séparation des colloïdes (contraire de la floculation). |
| Adsorption | Rétention d'ions sur les sites électronégatifs des colloïdes, soit directement (cations) soit par l'intermédiaire de ponts calcaïques (anions). |



▲ **Figure 1-6:** Mode d'assemblage des micelles d'argile et d'humus => agrégat

Fiche 4
CAH

Pour aller plus loin

Question *
Qu'est-ce qu'un cation ?

Question **
Quel est le principal cation indésirable sur un CAH ?

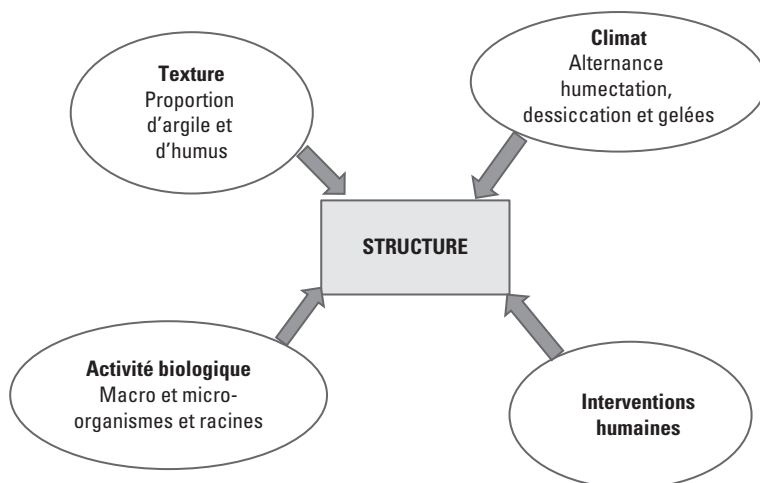
Le saviez-vous ?

Les traitements de l'eau destinés à assurer sa potabilité utilisent de nombreux procédés dont la floculation (procédé physico-chimique).

L'état physique du sol

La structure

Structure: mode d'assemblage tridimensionnelle, à un moment donné, des constituants solides du sol. Résultante des états physique, chimique et biologique du sol. Variable dans le temps et dans l'espace et entre les différents horizons de sol.

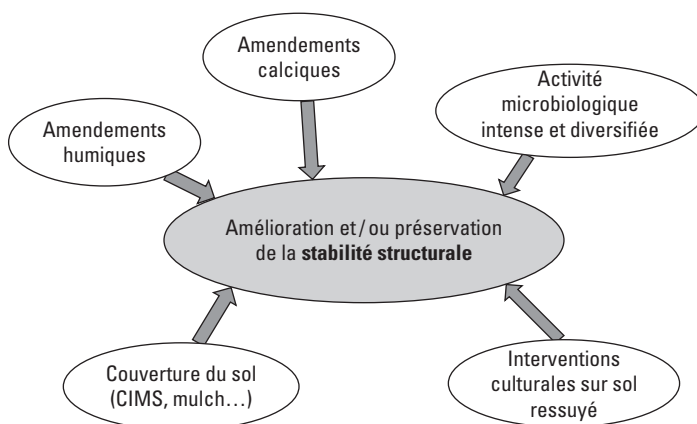


▲ **Figure 1-7:** Les facteurs de variation de la structure

TABEAU 1-9: LES DIFFÉRENTS TYPES DE STRUCTURE

| Type de structure | Caractéristiques |
|--------------------------------|--|
| Structure particulaire | <ul style="list-style-type: none"> ■ dominante sables et limons. ■ pas d'association entre les éléments car peu ou pas de colloïdes. |
| Structure continue ou compacte | <ul style="list-style-type: none"> ■ sol très asphyxiant. ■ sables et limons noyés dans une masse d'argile dispersée. |
| Structure fragmentaire | <ul style="list-style-type: none"> ■ nombreux agrégats de taille variable. ■ bonne porosité. |

Stabilité structurale: capacité d'un sol à résister aux agents de dégradation (précipitations violentes, travail sur un sol insuffisamment ressuyé...).



▲ **Figure 1-8**: Facteurs d'amélioration et/ou préservation de la stabilité structurale

La battance (dégradation de la structure)

| TABLEAU 1-10: DÉFINITIONS AUTOUR DE LA BATTANCE | |
|---|--|
| Battance (définition) | Caractère d'un sol tendant à se désagréger et à former une croûte en surface. |
| Croûte de battance | Croûte superficielle compacte formée par l'action des gouttes de pluie et le fractionnement des agrégats à la surface du sol => baisse de l'infiltration de l'eau dans le sol, augmentation du ruissellement et problèmes de germination et de levée des cultures. |
| Indice de battance (IB) | <p>Évaluation de la sensibilité du sol à la battance IB dépend du pH :</p> <p>Si $pH_{eau} > 7 \Rightarrow IB = \frac{1,5 \times LF + 0,75 \times LG}{A + 10 \times MO} - 0,2 \times (pH_{eau} - 7)$.</p> <p>Si $pH_{eau} \leq 7 \Rightarrow IB = \frac{1,5 \times LF + 0,75 \times LG}{A + 10 \times MO}$.</p> <p><i>LF</i>: limons fins <i>LG</i>: limons grossiers <i>A</i>: argile <i>MO</i>: matières organiques</p> |

TABLEAU 1-11 : INTERPRÉTATION DE L'INDICE DE BATTANCE

| Indice de battance (IB) | Interprétation |
|-------------------------|-------------------|
| $> 2,0$ | Sol très battant |
| $2,0 \leq IB < 1,8$ | Sol battant |
| $1,8 \leq IB < 1,6$ | Sol assez battant |
| $1,6 \leq IB < 1,4$ | Sol peu battant |
| $IB < 1,4$ | Sol non battant |

Fiche 5
État physique
du sol

Pour aller plus loin

Question *

Parmi les structures particulaire, continue ou fragmentaire : laquelle est à rechercher ?

Question **

Citez un moyen permettant de limiter l'apparition de la croûte de battance.

Le saviez-vous ?

Contrairement à la texture qui est stable dans le temps, la structure évolue. Elle peut être améliorée (travail/non-travail du sol, amendements, faune et flore telluriques ...) ou dégradée (travail du sol inapproprié, absence de couverture du sol...). C'est pourquoi elle doit faire l'objet de toutes les attentions.

6

L'eau

Définitions

| TABLEAU 1-12 : DÉFINITIONS AUTOUR DE L'EAU | |
|--|---|
| Cycle de l'eau | Succession des phases par lesquelles l'eau passe de l'atmosphère à la terre et retourne à l'atmosphère. |
| Bassin versant | Unité de l'espace géographique et géologique, délimitée par des lignes de crête, dans laquelle s'organise une partie du cycle de l'eau, celle-ci convergeant vers un même exutoire. |
| Lixiviation | Entrainement de composés solubles vers la profondeur (nitrates, autres composés minéraux, polluants, ...). |
| Lessivage | Entrainement de particules solides (argiles, ...). |
| Perméabilité | Plus ou moins grande facilité que présente un sol à se laisser pénétrer et traverser par l'eau. |
| Solution du sol | Eau du sol + substances solubles provenant de la roche mère, de la minéralisation de la matière organique, de la fertilisation ... |
| Teneur en eau du sol | Teneur en eau massique ou pondérale exprimée en g d'eau/g de sol. Teneur en eau volumique exprimée en cm ³ (donc gramme)/cm ³ de sol. |

Remarque

La plupart des mesures autour de l'eau sont évaluées en mm.

Le potentiel hydrique du sol

Potentiel hydrique du sol = potentiel de rétention et mouvements de l'eau dans le sol.

| TABLEAU 1-13 : TYPES DE FORCE S'EXERÇANT SUR L'EAU ET VARIATIONS DE LEUR IMPORTANCE | |
|---|---|
| Forces s'exerçant sur l'eau dans le sol | Évolution |
| Forces de gravité | Elles augmentent avec l'abondance de l'eau. |
| Forces de rétention des particules terreuses | Elles augmentent avec la rareté de l'eau. |

Les stades phénologiques et les conditions internes de germination des plantes

Les stades phénologiques ou stades repères du blé, du colza et du pois

| TABLEAU 2-3 : LES STADES REPÈRES DU BLÉ | | | | |
|---|---------------|---------------------------------|--|---------------|
| | Période | Stade repère * | Caractéristiques | Durée |
| Automne | Végétative | Germination | Après levée de la dormance si nécessaire. | 15 à 20 jours |
| | | Levée | | |
| Hiver | Végétative | Tallage | Formation d'un plateau de tallage à 2 cm sous la surface du sol d'où partent de nouvelles pousses : les talles. Apparition des racines secondaires. | 45 à 90 jours |
| | | Stade A ou « ébauche de l'épi » | | 25 à 50 jours |
| Printemps | Reproductrice | Stade B | | |
| | | Montaison | Allongement des entrenœuds. | 28 à 30 jours |
| | | Gonflement | L'épi, encore dans sa gaine, est repérable par palpation. | 32 jours |
| | | Épiaison | L'épi émerge de sa gaine. | |
| | | Fécondation | Par autofécondation => non visible extérieurement. | |
| | | Floraison | Apparition des anthères à l'extérieur des glumelles. | |
| | | Grossissement (stade laiteux) | Grossissement de la graine. | 15 à 25 jours |
| Été | | Maturation | Accumulation des réserves. | 25 à 30 jours |

* certains stades peuvent se chevaucher (ex. : le stade « B » marque à la fois la fin du tallage et le début de la montaison)

TABLEAU 2-4 : LES STADES REPÈRES DU COLZA (TERRES INOVIA, 2020)

| | Période | Grands stades repères | Caractéristiques |
|-----------------------|---------------|--|---|
| Automne | Végétative | A-Stade cotylédonaire Stade A(10) | Seuls les deux cotylédons sont visibles. |
| | | B- Formation de la rosette Stades B1 (11) à Bn (1n) | Feuilles vraies étalées ou déployées. Pas d'entre-nœuds entre les pétioles. Absence de vraie tige. |
| | | C- Montaison Stades C1 (30) et C2 (31) | Reprise de végétation Entrenœuds visibles (étranglements verts à la base de nouveaux pétioles => future tige). |
| Printemps – début été | Reproductrice | D- Boutons accolés Stades D1 (50 et D2 (53) | Boutons accolés. Inflorescence principale dégagée. Inflorescences secondaires visibles. Tige > 20 cm. |
| | | E - Boutons séparés Stade E (57) | Allongement des pédoncules floraux en commençant par ceux de la périphérie. |
| | | F- Floraison Stades F1 (60) et F2 (61) | Ouverture des fleurs. Allongement de la hampe florale. |
| | | G- Formation des siliques Stades G1 (65) à G5 (81) | Chute des premiers pétales. Allongement des siliques. Coloration des grains. |

TABLEAU 2-5 : LES STADES REPÈRES DU POIS (TERRES INOVIA, 2019)

| Période | Stade repère (échelle BBCH) | Caractérisation | Particularités |
|---------------|---|--|--|
| Végétative | Levée (09) | Considérée comme atteinte lorsque 80 % des plantes ont levé. | Zéro de végétation : 0 °C |
| Reproductrice | 2 feuilles (12) | 50 % des tiges principales ont 2 feuilles ouvertes. | À l'aisselle de chaque feuille apparaît un bourgeon. Les premiers donnent des ramifications, les suivants des fleurs. |
| | 6 feuilles (16) | 50 % des tiges principales ont 6 feuilles ouvertes. | |
| | Début floraison (DF) | 50 % des plantes ont au moins une fleur ouverte. | Début d'une croissance rapide de la plante. Durée et importance de la floraison variable selon les disponibilités en eau, la variété et la température. Durée de la floraison : ■ pois d'hiver : 3 à 5 semaines ■ pois de printemps : 2 à 4 semaines |
| | Début stade limite d'avortement (DSL A) | 50 % des plantes ont au moins une gousse ayant franchi le stade limite d'avortement (SLA). Origine fréquente de l'avortement : alimentation insuffisante. | |
| | Fin floraison (FF) | 50 % des plantes n'ont plus de fleurs ouvertes. | |

TABLEAU 2-5 : LES STADES REPÈRES DU POIS (TERRES INOVIA, 2019) (SUITE)

| Période | Stade repère (échelle BBCH) | Caractérisation | Particularités |
|---------------|--------------------------------------|--|---|
| Reproductrice | Fin stade limite d'avortement (FSLA) | 50 % des plantes ont toutes les gousses qui ont franchi le SLA. | Le nombre final de grains est déterminé. |
| | Fin remplissage des grains (FRG) | 50 % des plantes ont toutes les gousses qui ont franchi le stade maturité physiologique. | La maturité physiologique est atteinte lorsque le pois devient jaune. |
| | Récolte (R) | Toutes les gousses sont sèches. | |

Conditions internes de germination des plantes

TABLEAU 2-6 : CONDITIONS INTERNES DE GERMINATION DES PLANTES

| Conditions | Caractéristiques |
|--|---|
| Maturation de la graine | Différenciation morphologique et physiologique. |
| Dormance | Inaptitude temporaire à germer, indépendante de la maturité physiologique de la graine. Variable selon les espèces et même les variétés. |
| Âge (viabilité/longévité) de la graine | Baisse de la capacité de germination avec l'âge de la graine. Longévité variable selon les espèces de < 1 an (oléagineux) à plusieurs années (graines amylicées). |
| Photosensibilité des graines | Effet positif de la lumière sur la germination pour 75 % des graines. |

Fiche 15
Stades
phénologiques

Pour aller plus loin

Question *

Que signifie « un coefficient de tallage de 3,5 » pour un blé ?

Question **

Quelle est la durée moyenne d'un cycle de culture pour un colza d'hiver ? (à 10 % près)

Le saviez-vous ?

Le colza canadien est un colza 00 pauvre en acide érucique et en glucosinolates. Il est appelé « canola », contraction de « Canada » et « colza ».

La température et le sol et les plantes

La température des sols

TABLEAU 2-7 : LES EFFETS ET LES FACTEURS DE VARIATION DE LA TEMPÉRATURE DES SOLS

| | |
|--|---|
| Effets de la température des sols | La température du sol influence l'activité de sa faune et de sa flore et donc la décomposition de la matière organique, la fixation de l'azote par les bactéries libres ou symbiotiques (azotobacters, rhizobiums), le développement des parasites ... |
| | La température du sol influence la solubilisation ou la rétrogradation de certains minéraux. |
| | La température du sol influence la germination des plantes. |
| | La température du sol influence la croissance du système racinaire des plantes et donc leur capacité à explorer le sol, c'est-à-dire à se nourrir et à se fournir en eau. |
| Facteurs de variation de la température des sols | La couleur : les sols foncés absorbent plus de chaleur que les sols clairs. |
| | La porosité : plus les espaces lacunaires sont importants, meilleure est la circulation de l'air dans le sol et plus le réchauffement est rapide au printemps (sols sableux). |
| | La teneur en eau : les sols humides tamponnent les variations de température. |
| | La couverture : un sol enherbé ou avec une couverture pailleuse (mulch) a une plus forte inertie thermique qu'un sol nu. La neige exerce ainsi une action protectrice contre le refroidissement. |
| | La présence d'éléments grossiers (« cailloux ») : les éléments grossiers tendent à réduire les amplitudes de variation de la température entre le jour et la nuit, car ils emmagasinent de la chaleur durant la journée et la restituent au sol durant la nuit. |

L'influence de la température sur les fonctions de la plante

| Fonction de la plante | Effets de la température |
|-----------------------|---|
| Transpiration | La transpiration augmente avec l'élévation de la température. L'importance de la transpiration varie selon les espèces et les conditions extérieures (vent, hygrométrie, etc.). |
| Photosynthèse | La photosynthèse augmente avec l'élévation de la température jusqu'à un certain niveau, puis les stomates se ferment pour limiter la transpiration, il y a alors une baisse de l'activité photosynthétique. |
| Respiration | La respiration augmente avec l'élévation de la température jusqu'à une température létale. |

Le zéro de végétation

Définition

Le zéro de végétation est la température en dessous de laquelle la croissance du végétal est nulle. La plante ne meurt pas, mais elle ne manifeste aucune activité.

| Cultures | Zéro de végétation |
|---|------------------------------|
| Céréales d'hiver (blé, orge, triticale, seigle ...) | 0 °C |
| Maïs | 6 à 10 °C selon les variétés |
| Colza | 0 à 6 °C selon les variétés |
| Betterave | 5 °C |
| Tournesol | 5 °C |
| Soja | 10 °C |
| Vigne | 10 °C |

Thermopériodisme et vernalisation

| TABLEAU 2-10: THERMOPÉRIODISME ET VERNALISATION | | | | | | | | | | |
|---|--|----------------------------------|--|--|--------|----------------|-------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Thermopériodisme journalier | Les variations de la température au cours d'une journée ou entre le jour et la nuit sont souvent plus favorables à la croissance que la constance thermique. | | | | | | | | | |
| Thermopériodisme annuel (Vernalisation) | Vernalisation : certaines plantes pour se développer normalement (passer du stade végétatif au stade reproducteur) ont besoin d'être exposées à de basses températures pendant une durée variable lors de leur stade juvénile. | | | | | | | | | |
| | Alternativité : qualification d'une variété (céréale en particulier) par rapport à ses besoins en vernalisation. | | | | | | | | | |
| | <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Besoins en froid (vernalisation)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Élevés</td> <td>Intermédiaires</td> <td>Inexistants</td> </tr> <tr> <td>Variétés d'hiver</td> <td>Variétés alternatives</td> <td>Variétés de printemps</td> </tr> </tbody> </table> | Besoins en froid (vernalisation) | | | Élevés | Intermédiaires | Inexistants | Variétés d'hiver | Variétés alternatives | Variétés de printemps |
| Besoins en froid (vernalisation) | | | | | | | | | | |
| Élevés | Intermédiaires | Inexistants | | | | | | | | |
| Variétés d'hiver | Variétés alternatives | Variétés de printemps | | | | | | | | |

La somme des températures ou besoins thermiques

Pour accomplir son cycle de développement complet, la plante a besoin d'une certaine quantité de chaleur. Elle est évaluée par la somme des températures qui est la somme de toutes les températures journalières moyennes de la période considérée (totalité de la vie de la plante ou durée d'un stade phénologique).

| |
|--|
| <p>Somme des températures = ΣTe_j</p> $Te_j = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_0$ <p><i>Te_j : température efficace journalière (apports thermiques de la journée)</i> <i>T₀ : température du zéro de végétation de la plante (ou « température base »)</i> <i>T_{max} : température maximale de la journée</i> <i>T_{min} : température minimale de la journée</i></p> |
|--|

La somme des températures est la résultante d'une situation thermique et d'une espèce végétale.

Elle caractérise la précocité d'une variété à l'intérieur d'une espèce.

| TABLEAU 2-11 : BESOINS THERMIQUES DU BLÉ, DE L'ORGE ET DU MAÏS (ENSEMBLE DU CYCLE) | |
|--|---|
| Espèce | Besoins thermiques (somme des températures) |
| Blé | 1 900 à 2 400 °C en base 0 |
| Orge | 1 200 à 190 °C en base 4 |
| Maïs | 1 500 à 2 500 °C en base 6 |

Les excès thermiques

| TABLEAU 2-12 : EXCÈS THERMIQUES | | |
|-------------------------------------|--|--|
| | Froid | Chaleur |
| Effets et dégâts | <p>Effets directs</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Déshydratation des cellules. ■ Hyperconcentration intracellulaire => toxicité. ■ Formation de cristaux => déchirements. ■ Perte de turgescence. <p>Effets indirects</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Lésions => contamination par pathogènes. ■ Dilatation du sol => arrachement des racines et du collet. | <ul style="list-style-type: none"> ■ Arrêt de la photosynthèse. ■ Déshydratation. ■ Échaudage sur céréales (dessèchement de la plante avant migration complète des réserves => perte de rendement). |
| Facteurs de résistance/ sensibilité | <p>Génétique (espèce et variété) Environnemental</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Endurcissement si arrivée progressive du froid. ■ Vent : facteur augmentant la sensibilité. ■ Hygrométrie élevée : facteur augmentant la sensibilité. ■ Effet protecteur d'une couverture (mulch, neige ...). ■ Choix culturaux (travail du sol, fumure ...). | <p>Génétique (espèce et variété) Environnemental</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Vent : facteur augmentant la sensibilité. ■ Eau : facteur augmentant la résistance. |
| Méthodes de lutte | <p>Préventives</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Choix de variétés. ■ Brise-vents. ■ Semis précoce => plante développée, plus résistante. ■ Semis clair => moins d'étiollement fragilisant au froid. <p>Actives (sur cultures pérennes et maraichage)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Chauffage. ■ Brassage de l'air pour rabattre l'air chaud. ■ Aspersion sur bourgeon : l'eau qui gèle => réaction endothermique. | <p>Préventives</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Utilisation de variétés résistantes ou précoces (pour esquiver les périodes de fortes chaleurs). <p>Actives</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Techniques d'ombrage (maraichage). ■ Irrigation. |

Pour aller plus loin

Question *

À quel stade phénologique le blé est-il le plus résistant au froid ?

Question **

Si, le 1^{er} mai, je sème un maïs ayant des besoins thermiques de 960°C entre le semis et la floraison (en base 6), à quelle date aura lieu cette dernière si les températures journalières moyennes sont de :

- 12°C la première quinzaine de mai (par souci de simplification, on considère que la température journalière moyenne sera identique tous les jours de cette quinzaine)
- 14°C la deuxième quinzaine de mai
- 20°C la première quinzaine de juin
- 22°C la deuxième quinzaine de juin
- 22°C la première quinzaine de juillet
- 26°C la deuxième quinzaine de juillet

Le saviez-vous ?

Certaines plantes peuvent supporter des températures extrêmes.

Une étude menée dans une zone volcanique active en Nouvelle-Zélande a constaté qu'une mousse, *Campylopus pyriformis*, peut résister à des températures atteignant les 72°C.

Des spores de champignons et de bactéries peuvent résister jusqu'à -250°C et, chez les espèces supérieures, les conifères arctiques supportent jusqu'à -70°C au niveau de leurs bourgeons. Par ailleurs, l'églantier que l'on rencontre aussi en Sibérie peut survivre à des températures de -60°C.

Comme son nom l'indique, ce mémento d'agronomie est un aide-mémoire dans lequel figure l'essentiel des notions développées dans le *Petit précis d'agronomie* des mêmes auteurs. Le lecteur se référera donc à l'un ou l'autre de ces ouvrages selon qu'il recherche une information précise et ciblée ou qu'il souhaite mieux comprendre un phénomène agronomique dans sa globalité.

Ce mémento comporte 25 fiches présentant de façon très synthétique (tableaux, figures...) les informations essentielles, sous forme brute.

Ces 25 fiches se répartissent en 4 grandes parties traitant respectivement des caractéristiques du sol, des conditions de croissance et de développement des plantes, de la transition agro-écologique des systèmes et des plantes de service et de l'érosion des sols.

Chaque fiche s'achève par deux rubriques : « Pour aller plus loin » (questions) et « Le saviez-vous ? » (anecdote/curiosité autour du thème de la fiche).

Enfin, ce mémento se termine par une 5^e partie proposant 5 exercices (avec corrigés) permettant une approche globale et chiffrée de certaines notions autour des systèmes agronomiques.

Françoise Néron, ingénieur en agriculture, a enseigné de 1980 à 2017 l'économie agricole, l'agronomie et l'élevage, d'abord en lycée agricole puis en École d'Ingénieurs. Elle est l'auteur de plusieurs ouvrages autour de ces thématiques (*Petit précis d'agriculture*, *Mémento d'agriculture*, *Petit précis d'élevage* et *Petit précis d'agronomie aux Éditions France Agricole*).

Lionel Alletto, ingénieur en agriculture, titulaire d'un DEA en sciences du sol, docteur en agronomie, est actuellement Directeur de recherche en agronomie. Dans le *Petit précis d'agronomie*, puis dans cet ouvrage il a mobilisé ses connaissances et compétences acquises au cours de ses expériences d'enseignement en agronomie en École d'Ingénieurs, de formation auprès d'acteurs du développement agricole et d'agriculteurs et de coordination de programmes de recherche en agronomie et agroécologie.

ISBN : 978-2-85557-858-3

