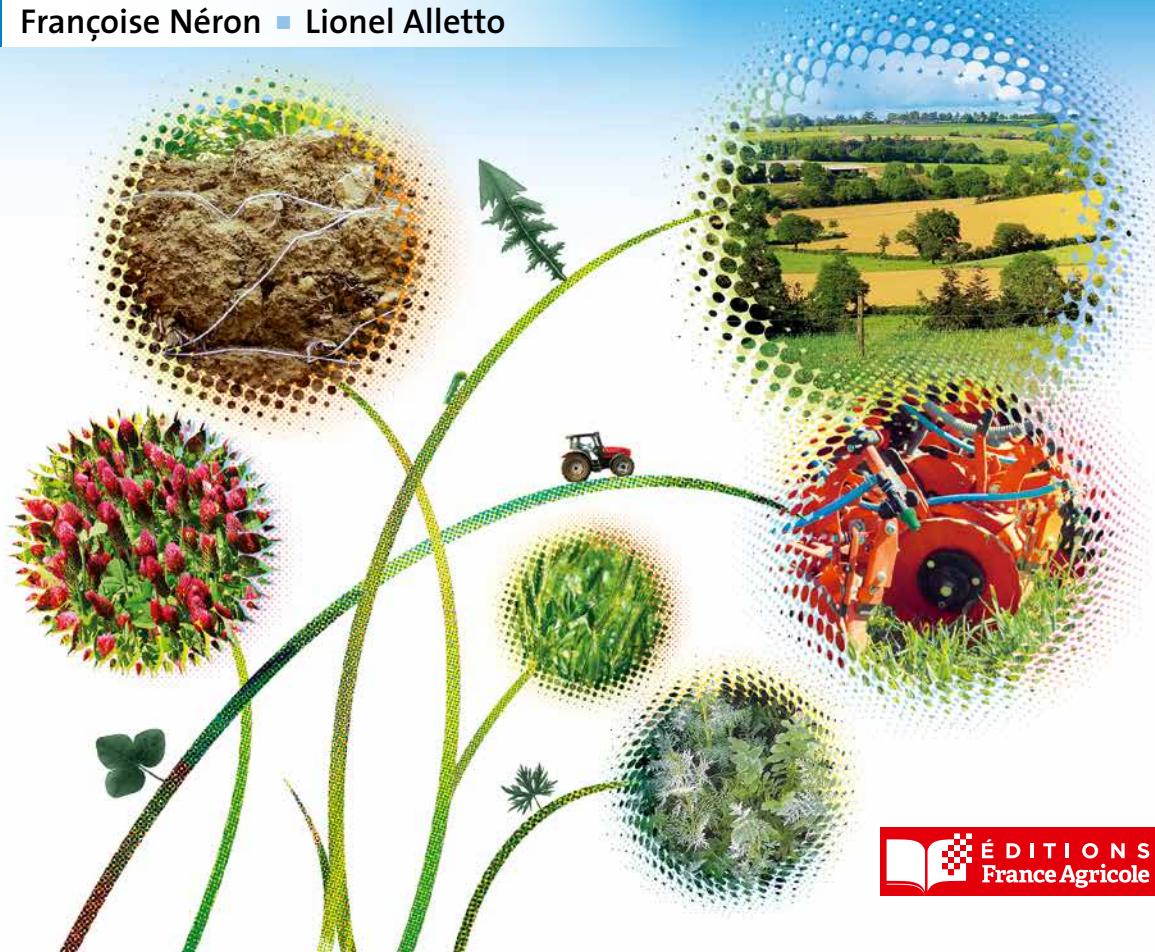


# Petit précis d'agronomie

- Le fonctionnement d'un sol vivant
- Les conditions du bon développement des végétaux
- Les systèmes de culture et la transition agroécologique

Françoise Néron ■ Lionel Alletto



# Introduction

**Agronomie : ensemble des sciences biotechniques, économiques et sociales mobilisées dans la compréhension des problématiques posées par l'agriculture.**

L'agronomie couvre donc de vastes domaines dont chaque petite partie nécessiterait un ouvrage à elle seule. Ces livres existent et pourront satisfaire ceux qui souhaitent approfondir une des composantes de cette science. Notre objectif ici n'est pas d'être exhaustif, mais de proposer un panorama d'ensemble qui, tout en donnant de solides notions au lecteur, permet aussi de mettre en évidence la richesse des interconnections existant entre toutes ces composantes.

L'agronomie est une science complexe en pleine évolution. Les découvertes, et parfois même les (re) découvertes, s'accélèrent et le terme « d'agro-écologie » qui définit une approche de l'agronomie n'est que la partie émergée et très médiatisée d'une science qui évolue rapidement. Chaque réponse trouvée crée une multitude de nouvelles questions. L'approche d'aujourd'hui va à l'encontre des préconisations des années 1960 à 1980. Tout cela doit nous rendre très humbles et ouverts face à cette passionnante science.

Dans un premier temps, le « Petit précis d'agronomie » présente le sol, sa composition, ses fonctions et ses différents états à savoir les états physique (texture, structure, fonctionnement hydrique...), chimique (fertilité et fertilisation, pH...) et biologique (organismes vivants du sol). L'importance de la matière organique et de la vie dans le sol est, en particulier, mise en évidence.

Ces informations s'appuient sur des outils concrets, mobilisables pour raisonner certaines pratiques agricoles, dont le travail du sol également évoqué dans cette partie.

La deuxième partie aborde les principales conditions externes de développement et de croissance des végétaux : le climat, la température, la lumière, l'eau (et donc l'irrigation) et le vent. Puis, elle se penche sur les besoins nutritionnels des cultures et la gestion de la fertilisation et termine sur un exercice de synthèse qui permet de manipuler toutes ces notions afin de se les approprier au mieux.

La troisième partie propose des éléments de raisonnement à l'échelle des systèmes de culture pour favoriser leur transition agroécologique.

Elle présente la notion d'itinéraire cultural et donne des exemples des principaux objectifs des systèmes de culture actuels.

Et enfin, la dernière partie apporte des compléments d'information sur deux problématiques opérationnelles au cœur de réflexions agronomiques : l'introduction de plantes de services dans les systèmes et la lutte contre l'érosion des sols.

# Sommaire

|  |            |
|--|------------|
| <b>Introduction . . . . .</b>  | <b>V</b>   |
| <b>Table des sigles . . . . .</b>  | <b>VII</b> |
| <b>1 Quelques notions pour comprendre et gérer durablement le sol . . . . .</b>                    | <b>1</b>   |
| 1.1 Les fonctions du sol et ses différents états . . . . .   | 1          |
| 1.2 La composition du sol . . . . .  | 3          |
| 1.2.1 Les différentes fractions du sol . . . . .   | 3          |
| 1.2.2 La texture ou granulométrie . . . . .  | 4          |
| 1.2.2.1 Définition . . . . .   | 4          |
| 1.2.2.2 Méthodes d'évaluation . . . . .  | 5          |
| 1.2.2.2.1 Au champ . . . . .   | 5          |
| 1.2.2.2.2 En laboratoire : le triangle de texture . . . . .  | 6          |
| 1.2.3 Les matières organiques des sols (MOS) . . . . .   | 9          |
| 1.2.3.1 Composition des matières organiques . . . . .  | 9          |
| 1.2.3.2 Évolution des matières organiques des sols . . . . .                                       | 9          |
| 1.2.3.3 L'approche actuelle des MOS . . . . .  | 11         |
| 1.2.4 Le complexe argilo-humique (CAH) ou complexe d'échange . . . . .                             | 11         |
| 1.2.4.1 Définitions autour du CAH . . . . .  | 11         |
| 1.2.4.2 Les agrégats . . . . .   | 13         |
| 1.3 État physique du sol . . . . .   | 14         |
| 1.3.1 La structure d'un sol (ou d'un horizon d'un sol) . . . . .                                   | 14         |
| 1.3.1.1 Définitions . . . . .  | 14         |
| 1.3.1.2 Les différentes structures . . . . .   | 15         |
| 1.3.1.3 La stabilité structurale des agrégats . . . . .  | 15         |
| 1.3.2 L'eau du sol et le fonctionnement hydrique . . . . .   | 16         |
| 1.3.2.1 Enjeux et éléments généraux . . . . .  | 16         |
| 1.3.2.1.1 Alimentation mondiale et besoins en eau . . . . .  | 16         |
| 1.3.2.1.2 Répartition de l'eau sur la planète . . . . .  | 16         |
| 1.3.2.1.3 Durée de renouvellement des milieux aquatiques . . . . .                                 | 17         |
| 1.3.2.1.4 Production alimentaire et consommation d'eau . . . . .                                   | 18         |
| 1.3.2.2 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau . . . . .                                      | 18         |
| 1.3.2.3 Définitions et notions générales . . . . .   | 18         |
| 1.3.2.3.1 Définitions . . . . .  | 18         |
| 1.3.2.3.2 Teneur en eau du sol ou quantité d'eau présente dans un sol à un instant donné . . . . . | 20         |
| 1.3.2.3.3 Stock d'eau d'un horizon (S) . . . . .   | 21         |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| 1.3.2.3.4    | Énergie potentielle de l'eau ou potentiel hydrique du sol. . . . .                                  | 22        |
| 1.3.2.3.5    | Les mouvements de l'eau dans un sol . . . . .   | 27        |
| <b>1.3.3</b> | <b>Quelques méthodes d'évaluation de l'état physique des sols . . . . .</b>                         | <b>28</b> |
| 1.3.3.1      | Le profil cultural . . . . .  | 28        |
| 1.3.3.1.1    | Les étapes de la réalisation d'un profil. . . . .   | 29        |
| 1.3.3.1.2    | L'état structural. . . . .  | 29        |
| 1.3.3.1.3    | Exemple de lecture d'un profil cultural . . . . .   | 31        |
| 1.3.3.1.4    | Avantages et inconvénients de cet outil (Profil cultural) . . . . .                                 | 32        |
| 1.3.3.2      | Les « tests bêche » . . . . .   | 33        |
| 1.3.3.2.1    | Le test VESS (Visual Evaluation of Soil Structure) . . . . .  | 33        |
| 1.3.3.2.2    | Le test bêche basé sur le profil cultural (développé par l'ISARA) . . . . .                         | 36        |
| 1.3.3.2.3    | Test de la stabilité des agrégats : exemple du « slake test » ou test de la tenue à l'eau . . . . . | 37        |
| <b>1.4</b>   | <b>État chimique du sol . . . . .</b>   | <b>38</b> |
| <b>1.4.1</b> | <b>Composition chimique du sol . . . . .</b>  | <b>38</b> |
| 1.4.1.1      | Les indicateurs physiques (rappel) . . . . .  | 38        |
| 1.4.1.2      | Les indicateurs chimiques. . . . .  | 39        |
| 1.4.1.3      | Les indicateurs biologiques. . . . .  | 39        |
| 1.4.1.4      | Étude appliquée de l'état physique et chimique d'un sol à travers son analyse de terre . . . . .    | 39        |
| <b>1.4.2</b> | <b>Les matières organiques du sol (MOS) . . . . .</b>   | <b>43</b> |
| 1.4.2.1      | Les principaux rôles des MOS . . . . .  | 44        |
| 1.4.2.2      | Les principaux critères analytiques des produits organiques et leurs utilisations. . . . .          | 44        |
| 1.4.2.2.1    | Azote. . . . .  | 44        |
| 1.4.2.2.2    | Carbone organique. . . . .  | 44        |
| 1.4.2.2.3    | Rapport C/N . . . . .   | 44        |
| 1.4.2.2.4    | Classification des produits organiques selon leur profil biochimique (LCA 2010). . . . .            | 45        |
| 1.4.2.2.5    | Indice de stabilité de la matière organique (ISMO) . . . . .  | 45        |
| 1.4.2.3      | Le compostage : points clés . . . . .   | 46        |
| 1.4.2.3.1    | Les 4 phases du compostage . . . . .  | 46        |
| 1.4.2.3.2    | Les avantages du compostage . . . . .   | 46        |
| 1.4.2.3.3    | Les inconvénients du compostage. . . . .  | 47        |
| 1.4.2.4      | Le bilan humique et les principaux amendements humiques . . . . .                                   | 47        |
| 1.4.2.5      | Exemple de calcul d'un bilan humique . . . . .  | 51        |
| 1.4.2.5.1    | Les différentes étapes . . . . .  | 51        |
| 1.4.2.5.2    | Le bilan . . . . .  | 51        |
| 1.4.2.5.3    | Commentaire . . . . .   | 51        |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 1.4.3     | <b>Le pH du sol</b> . . . . .  | 52 |
| 1.4.3.1   | Définitions . . . . .  | 52 |
| 1.4.3.2   | Influence du pH . . . . .  | 54 |
| 1.4.3.2.1 | Sur la structure du sol . . . . .  | 54 |
| 1.4.3.2.2 | Sur la microbiologie. . . . .  | 54 |
| 1.4.3.2.3 | Sur la biodisponibilité des éléments . . . . .   | 54 |
| 1.4.3.3   | Entretien du pH : les amendements calco-magnésiens . . . . .   | 55 |
| 1.4.3.3.1 | Définitions . . . . .  | 55 |
| 1.4.3.3.2 | Le calcium du sol. . . . .   | 55 |
| 1.4.3.3.3 | Le rôle des amendements calcaires. . . . .   | 56 |
| 1.4.3.3.4 | Les principaux amendements calco-magnésiens . . . . .  | 57 |
| 1.4.3.3.5 | Raisonnement des apports calco-magnésiens . . . . .  | 58 |
| 1.5       | <b>État biologique du sol</b> . . . . .  | 61 |
| 1.5.1     | <b>Les principaux organismes vivants d'un sol</b> . . . . .  | 61 |
| 1.5.2     | <b>Rôles principaux des organismes vivants d'un sol</b> . . . . .  | 62 |
| 1.5.3     | <b>Quelques méthodes de classification des organismes vivants d'un sol</b> . . . . .                                     | 63 |
| 1.5.3.1   | Sur des critères morphométriques des organismes vivants. . . . .   | 63 |
| 1.5.3.2   | Sur des critères éco-morphologiques. . . . .   | 63 |
| 1.5.3.3   | Sur des réseaux trophiques. . . . .  | 66 |
| 1.5.3.4   | Sur des fonctions exercées . . . . .   | 66 |
| 1.5.4     | <b>Quelques tests d'évaluation de l'activité biologique d'un sol</b> . . . . .   | 66 |
| 1.5.4.1   | Abondance et diversité des vers de terre (test bêche) . . . . .  | 66 |
| 1.5.4.2   | Abondance et diversité des nématodes . . . . .   | 68 |
| 1.5.4.3   | Abondance et diversité microbienne . . . . .   | 68 |
| 1.5.4.4   | Macrofaune circulante. . . . .   | 69 |
| 1.5.4.5   | Tests de l'activité biologique d'un sol par l'estimation d'un potentiel de dégradation des matières organiques . . . . . | 70 |
| 1.5.4.5.1 | Test litterbags . . . . .  | 70 |
| 1.5.4.5.2 | Le LEVABag® . . . . .  | 70 |
| 1.5.4.5.3 | Test du Tea Bag. . . . .   | 70 |
| 1.5.4.5.4 | Test Bait Lamina (Hamel <i>et al.</i> , 2007) . . . . .  | 71 |
| 1.5.4.5.5 | Test du slip . . . . .   | 72 |
| 1.6       | <b>Conséquences des pratiques du travail du sol sur les états physiques, chimiques et biologiques des sols</b> . . . . . | 73 |
| 1.6.1     | <b>Travail du sol : définition et objectifs principaux</b> . . . . .   | 73 |
| 1.6.2     | <b>Historique</b> . . . . .  | 73 |
| 1.6.3     | <b>Les principales opérations de travail du sol</b> . . . . .  | 74 |
| 1.6.3.1   | Rappel sur les liaisons tracteur-outils . . . . .  | 75 |
| 1.6.3.2   | Le travail très profond sans retournement ni mélange. . . . .  | 76 |
| 1.6.3.2.1 | Sous-solage . . . . .  | 76 |
| 1.6.3.2.2 | Décompactage . . . . .   | 76 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 1.6.3.3   | Le labour : travail profond avec retournement . . . . .   | 76  |
| 1.6.3.3.1 | Principe . . . . .  | 76  |
| 1.6.3.3.2 | Objectifs . . . . .   | 76  |
| 1.6.3.3.3 | Inconvénients . . . . .   | 77  |
| 1.6.3.3.4 | Descriptif de la charrue . . . . .  | 77  |
| 1.6.3.3.5 | Classification des labours selon la période . . . . .   | 78  |
| 1.6.3.3.6 | Classification des labours selon leur aspect plus ou moins anguleux . . . . .   | 78  |
| 1.6.3.3.7 | Classification des labours selon leur inclinaison . . . . .   | 79  |
| 1.6.3.4   | Le travail profond sans retournement : le pseudo-labour . . . . .   | 79  |
| 1.6.3.4.1 | Objectifs . . . . .   | 79  |
| 1.6.3.4.2 | Matériels . . . . .   | 79  |
| 1.6.3.5   | Le travail superficiel . . . . .  | 80  |
| 1.6.3.5.1 | Le déchaumage . . . . .   | 80  |
| 1.6.3.5.2 | La reprise du travail primaire (labour) . . . . .   | 81  |
| 1.6.3.5.3 | La préparation du lit de semences . . . . .   | 81  |
| 1.6.3.6   | La lutte contre les adventices et les ravageurs . . . . .   | 83  |
| 1.6.3.7   | Le strip-tillage . . . . .  | 85  |
| 1.6.3.8   | Le semis direct . . . . .   | 86  |
| 1.6.4     | <b>Conséquences des opérations de travail du sol sur le fonctionnement du sol . . . . .</b>                           | 90  |
| 1.6.4.1   | Sur son activité biologique . . . . .   | 90  |
| 1.6.4.2   | Sur ses caractéristiques physiques . . . . .  | 92  |
| 1.6.4.3   | Sur ses caractéristiques chimiques . . . . .  | 94  |
| 1.6.4.4   | Sur ses caractéristiques socio-économiques . . . . .  | 95  |
| <b>2</b>  | <b>Principales conditions de développement et de croissance des cultures . . . . .</b>                                | 97  |
| 2.1       | Le cycle de vie des plantes . . . . .   | 98  |
| 2.1.1     | <b>Définitions . . . . .</b>  | 98  |
| 2.1.1.1   | Cycle de vie . . . . .  | 98  |
| 2.1.1.2   | Croissance et développement . . . . .   | 98  |
| 2.1.2     | <b>Les différents types de cycle . . . . .</b>  | 99  |
| 2.1.3     | <b>Les deux périodes du cycle de vie d'une plante : végétative et reproductrice . . . . .</b>                         | 100 |
| 2.1.3.1   | Période végétative . . . . .  | 100 |
| 2.1.3.2   | Période reproductrice . . . . .   | 101 |
| 2.1.4     | <b>Utilisation et répartition de la matière sèche élaborée par la plante : la théorie « sources/puits » . . . . .</b> | 102 |
| 2.1.4.1   | Organes sources et organes puits des plantes . . . . .  | 102 |
| 2.1.4.2   | La répartition de la matière sèche entre les organes . . . . .  | 103 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 2.1.5     | Les stades phénologiques ou stades « repères » de quelques espèces .....                        | 104 |
| 2.1.5.1   | Le blé .....  | 104 |
| 2.1.5.2   | Le colza .....  | 105 |
| 2.1.5.3   | Le pois .....   | 106 |
| 2.1.6     | Les stades culturaux .....  | 107 |
| 2.2       | Les conditions de germination propres aux graines .....   | 107 |
| 2.2.1     | Mécanisme de germination .....  | 107 |
| 2.2.2     | Conditions internes pour une bonne germination .....  | 108 |
| 2.2.3     | Les conditions de développement des racines .....   | 108 |
| 2.3       | Les conditions externes de germination, croissance et développement des plantes cultivées ..... | 108 |
| 2.3.1     | Le climat .....   | 108 |
| 2.3.1.1   | Observation dans le temps .....   | 109 |
| 2.3.1.2   | Observation dans l'espace .....   | 109 |
| 2.3.1.3   | Agro-météorologie .....   | 109 |
| 2.3.2     | L'oxygène .....   | 109 |
| 2.3.3     | La température .....  | 110 |
| 2.3.3.1   | La température des sols .....   | 110 |
| 2.3.3.2   | La température et les plantes .....   | 111 |
| 2.3.3.2.1 | Influence de la température sur les fonctions de la plante .....                                | 111 |
| 2.3.3.2.2 | Le zéro de végétation .....   | 112 |
| 2.3.3.2.3 | Le thermopériodisme .....   | 113 |
| 2.3.3.2.4 | La somme des températures .....   | 115 |
| 2.3.3.2.5 | Les excès thermiques et les températures critiques .....  | 117 |
| 2.3.4     | La lumière .....  | 121 |
| 2.3.4.1   | La photosynthèse .....  | 121 |
| 2.3.4.2   | Les relations azote/carbone dans le fonctionnement photosynthétique .....                       | 121 |
| 2.3.4.3   | Le rayonnement électromagnétique global et le rayonnement photosynthétiquement actif .....      | 122 |
| 2.3.4.4   | Évaluation de l'efficience de la transformation lumineuse en biomasse .....                     | 123 |
| 2.3.4.4.1 | $R_g$ .....   | 123 |
| 2.3.4.4.2 | $E_{climatique}$ .....  | 123 |
| 2.3.4.4.3 | $E_{interception}$ .....  | 123 |
| 2.3.4.4.4 | $E_{transformation}$ .....  | 125 |
| 2.3.4.5   | Bilan du déterminisme lumineux dans le rendement d'une culture .....                            | 126 |
| 2.3.4.6   | Le photopériodisme .....  | 127 |
| 2.3.4.7   | Le phototropisme .....  | 127 |
| 2.3.4.8   | Les plantes et leurs besoins en intensité d'éclairement .....                                   | 127 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>2.3.5 L'eau</b> . . . . .   | 128 |
| 2.3.5.1 L'eau de constitution et l'eau de végétation . . . . .                         | 129 |
| 2.3.5.2 L'absorption racinaire. . . . .  | 129 |
| 2.3.5.3 Transpiration, évaporation et évapotranspiration . . . . .                     | 129 |
| 2.3.5.3.1 La transpiration. . . . .  | 129 |
| 2.3.5.3.2 L'évaporation . . . . .  | 130 |
| 2.3.5.3.3 L'évapotranspiration (ET) . . . . .  | 130 |
| 2.3.5.4 La gestion de l'eau . . . . .  | 131 |
| 2.3.5.4.1 L'excès d'eau . . . . .  | 131 |
| 2.3.5.4.2 Le déficit hydrique. . . . .   | 131 |
| 2.3.5.5 L'irrigation . . . . .   | 133 |
| 2.3.5.5.1 Le pilotage de l'irrigation . . . . .  | 133 |
| 2.3.5.5.2 Le vocabulaire technique de l'irrigation . . . . .                           | 134 |
| 2.3.5.5.3 Les principaux systèmes d'irrigation . . . . .                               | 134 |
| <b>2.3.6 Le vent</b> . . . . .   | 137 |
| <b>2.4 Les besoins nutritionnels du végétal</b> . . . . .                              | 138 |
| <b>2.4.1 Les principaux éléments nutritifs et leurs effets</b> . . . . .               | 138 |
| <b>2.4.2 Les éléments de base : azote, phosphore, potassium</b> . . . . .              | 139 |
| 2.4.2.1 L'azote . . . . .  | 139 |
| 2.4.2.1.1 Les rôles de l'azote . . . . .   | 139 |
| 2.4.2.1.2 L'origine de l'azote du sol . . . . .  | 139 |
| 2.4.2.1.3 Les trois principales formes azotées dans le sol .                           | 139 |
| 2.4.2.1.4 Le cycle de l'azote . . . . .  | 140 |
| 2.4.2.1.5 Les effets des carences azotées. . . . .                                     | 140 |
| 2.4.2.1.6 Les effets des excès d'azote . . . . .                                       | 140 |
| 2.4.2.2 Le phosphore . . . . .   | 140 |
| 2.4.2.2.1 Les rôles du phosphore . . . . .   | 140 |
| 2.4.2.2.2 Principales formes du phosphore dans le sol et formes d'absorption . . . . . | 141 |
| 2.4.2.2.3 Les effets des carences en phosphore . . . . .                               | 141 |
| 2.4.2.3 Le potassium. . . . .  | 141 |
| 2.4.2.3.1 Les rôles du potassium. . . . .  | 141 |
| 2.4.2.3.2 Principales formes du potassium dans le sol et forme d'absorption . . . . .  | 141 |
| 2.4.2.3.3 Les effets des carences et des excès potassiques .                           | 142 |
| <b>2.4.3 Les autres éléments majeurs : S, Ca et Mg</b> . . . . .                       | 142 |
| 2.4.3.1 Soufre . . . . .   | 142 |
| 2.4.3.2 Calcium . . . . .  | 143 |
| 2.4.3.3 Magnésium . . . . .  | 143 |
| <b>2.4.4 Les oligo-éléments : Fe, Mn, Zn</b> . . . . .                                 | 143 |
| 2.4.4.1 Fer . . . . .  | 143 |
| 2.4.4.2 Manganèse. . . . .   | 143 |

|              |  |            |
|--------------|--|------------|
| 2.4.4.3      | Zinc . . . . .   | 144        |
| 2.4.4.4      | Cuivre . . . . .   | 144        |
| 2.4.4.5      | Bore . . . . .   | 144        |
| 2.4.4.6      | Molybdène . . . . .  | 144        |
| <b>2.4.5</b> | <b>La fertilisation des cultures . . . . .</b>   | <b>145</b> |
| 2.4.5.1      | Objectif de la fertilisation, définitions et devenir des éléments fertilisants . . . . .   | 145        |
| 2.4.5.2      | Les bases (lois) de la fertilisation . . . . .   | 145        |
| 2.4.5.2.1    | La loi des avances et la loi de restitution . . . . .                                      | 146        |
| 2.4.5.2.2    | La loi du minimum ou loi de Liebig (xix <sup>e</sup> siècle) . . . . .                     | 146        |
| 2.4.5.2.3    | La loi des rendements moins que proportionnels . . . . .                                   | 146        |
| 2.4.5.2.4    | Les limites de ces lois théoriques . . . . .   | 147        |
| 2.4.5.3      | Raisonnement de la fertilisation : la méthode du bilan . . . . .                           | 147        |
| 2.4.5.4      | Fertilisation phosphatée et potassique . . . . .   | 148        |
| 2.4.5.4.1    | Le raisonnement de la fertilisation (historique) . . . . .                                 | 148        |
| 2.4.5.4.2    | Le raisonnement de la fertilisation (pratique) . . . . .                                   | 149        |
| 2.4.5.4.3    | Application (calcul d'une fertilisation P-K) . . . . .                                     | 153        |
| 2.4.5.4.4    | Les engrains phosphatés . . . . .  | 154        |
| 2.4.5.4.5    | Les engrains potassiques . . . . .   | 154        |
| 2.4.5.5      | Fertilisation azotée . . . . .   | 154        |
| 2.4.5.5.1    | Le bilan azoté prévisionnel . . . . .  | 154        |
| 2.4.5.5.2    | Outils de pilotage de la fertilisation azotée : OAD (outil d'aide à la décision) . . . . . | 157        |
| 2.4.5.5.3    | Les engrains azotés . . . . .  | 160        |
| 2.4.5.6      | La pratique de la fertilisation (informations d'ordre général) . . . . .                   | 161        |
| 2.4.5.6.1    | L'expression des besoins et des apports . . . . .  | 161        |
| 2.4.5.6.2    | Les engrains minéraux composés . . . . .   | 161        |
| 2.4.5.6.3    | Critères de choix des engrains . . . . .   | 161        |
| 2.4.5.6.4    | Le mode d'apport . . . . .   | 162        |
| 2.4.5.6.5    | La période d'apport . . . . .  | 162        |
| 2.4.5.6.6    | Exercice de synthèse . . . . .   | 162        |
| <b>3</b>     | <b>Vers la transition agro-écologique des systèmes . . . . .</b>                           | <b>183</b> |
| 3.1          | Itinéraires et systèmes . . . . .  | 183        |
| 3.1.1        | Le système de culture . . . . .  | 184        |
| 3.1.1.1      | Composantes techniques . . . . .   | 184        |
| 3.1.1.2      | Composantes économiques, environnementales et réglementaires . . . . .                     | 184        |
| 3.1.1.3      | Autre approche pour définir un système de culture . . . . .                                | 185        |
| 3.1.2        | L'itinéraire cultural . . . . .  | 185        |
| 3.1.3        | Rotation, succession culturale et assolement . . . . .                                     | 185        |
| 3.1.3.1      | Définitions . . . . .  | 185        |
| 3.1.3.2      | Comment construire rotation, succession et assolement . . . . .                            | 186        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>3.2</b> | <b>Les principales orientations des systèmes agricoles . . . . .</b>                    | <b>188</b> |
| 3.2.1      | Pourquoi faire évoluer les systèmes existants ? . . . . .                               | 188        |
| 3.2.2      | Les différents modèles agricoles et la transition<br>vers l'agro-écologie . . . . .     | 189        |
| 3.2.2.1    | Les systèmes dits « conventionnels » . . . . .  | 189        |
| 3.2.2.2    | Les systèmes dits « raisonnés » . . . . .   | 190        |
| 3.2.2.2.1  | Historique et Farre. . . . .  | 190        |
| 3.2.2.2.2  | Les grands principes de l'agriculture raisonnée. . . . .                                | 191        |
| 3.2.2.3    | Les systèmes dits « intégrés » . . . . .  | 191        |
| 3.2.2.4    | L'agriculture durable . . . . .   | 193        |
| 3.2.2.4.1  | Notion de durabilité . . . . .  | 193        |
| 3.2.2.4.2  | Définition de l'agriculture durable. . . . .  | 193        |
| 3.2.2.5    | L'agriculture de conservation . . . . .   | 194        |
| 3.2.2.6    | L'agriculture biologique . . . . .  | 196        |
| 3.2.2.6.1  | Les grands principes . . . . .  | 196        |
| 3.2.2.6.2  | L'origine . . . . .   | 196        |
| 3.2.2.6.3  | Les objectifs écologiques . . . . .   | 197        |
| 3.2.2.6.4  | Les objectifs sociaux . . . . .   | 197        |
| 3.2.2.6.5  | Les objectifs économiques . . . . .   | 197        |
| 3.2.2.7    | L'agro-écologie . . . . .   | 197        |
| <b>4</b>   | <b>Plantes de service et érosion (additifs autour de l'agronomie) . . . . .</b>         | <b>201</b> |
| 4.1        | Les plantes de service . . . . .  | 201        |
| 4.1.1      | Les fonctions écosystémiques des plantes de service . . . . .                           | 201        |
| 4.1.2      | Terminologie des plantes de service selon leur utilisation . . . . .                    | 202        |
| 4.1.2.1    | Les Cultures Intermédiaires Multi-Services (CIMS) . . . . .                             | 202        |
| 4.1.2.2    | Les cultures intermédiaires à vocation énergétique (CVE) . . . . .                      | 203        |
| 4.1.2.3    | Les plantes de service à vocation fourragère . . . . .                                  | 203        |
| 4.1.2.4    | Les plantes compagnes . . . . .   | 204        |
| 4.1.3      | L'implantation des plantes de service . . . . .   | 205        |
| 4.1.4      | Les qualités d'un couvert . . . . .   | 206        |
| 4.1.5      | Quelques familles botaniques et espèces utilisées comme<br>plantes de service . . . . . | 207        |
| 4.1.5.1    | Les crucifères (Brassicacées) . . . . .   | 208        |
| 4.1.5.2    | Les graminées (Poacées) . . . . .   | 210        |
| 4.1.5.3    | Les légumineuses (Fabacées) . . . . .   | 210        |
| 4.1.5.4    | Les autres espèces . . . . .  | 211        |
| 4.1.5.5    | Les associations d'espèces . . . . .  | 211        |
| 4.1.6      | Quelques critères pour choisir les espèces de plantes de service<br>à planter . . . . . | 212        |
| 4.2        | L'érosion des sols – état des lieux et pistes d'atténuation . . . . .                   | 215        |
| 4.2.1      | Origines de la dégradation des sols . . . . .   | 215        |
| 4.2.2      | Principe de l'érosion . . . . .   | 215        |

|                                     |   |     |
|-------------------------------------|---|-----|
| 4.2.3                               | Origines de l'érosion . . . . .   | 215 |
| 4.2.4                               | L'érosion hydrique . . . . .  | 215 |
| 4.2.5                               | L'érosion éolienne . . . . .  | 217 |
| 4.2.6                               | L'érosion aratoire . . . . .  | 217 |
| 4.2.7                               | L'érosion des sols en quelques chiffres . . . . .                                   | 218 |
| 4.2.8                               | <b>Prédition du taux annuel d'érosion à long terme . . . . .</b>                    | 220 |
| 4.2.8.1                             | L'érosivité des pluies (R) . . . . .  | 220 |
| 4.2.8.2                             | L'érodibilité du sol (K) . . . . .  | 220 |
| 4.2.8.3                             | Topographie (LS) . . . . .  | 221 |
| 4.2.8.4                             | Facteur « Culture-Végétation et gestion » (C) . . . . .                             | 222 |
| 4.2.8.5                             | Facteur de conservation (P) . . . . .   | 222 |
| 4.2.8.6                             | Évaluation des pertes par érosion dans une parcelle du Tarn (application) . . . . . | 223 |
| 4.2.9                               | <b>Analyse du risque d'érosion et pistes d'atténuation . . . . .</b>                | 223 |
| 4.2.9.1                             | Réduire l'énergie cinétique des pluies . . . . .                                    | 224 |
| 4.2.9.2                             | Stabiliser les agrégats . . . . .   | 226 |
| 4.2.9.3                             | Accroître les capacités d'infiltration . . . . .                                    | 227 |
| 4.2.9.4                             | Recréer des ruptures de pente et réduire la longueur des parcelles . . . . .        | 229 |
| 4.2.9.5                             | Réduire/supprimer le travail du sol . . . . .                                       | 229 |
| 4.2.10                              | <b>Synthèse des grands principes de la lutte contre l'érosion . . . . .</b>         | 229 |
| <b>Conclusion . . . . .</b>         |   | 231 |
| <b>Bibliographie . . . . .</b>      |   | 232 |
| <b>Liste des photos . . . . .</b>   |   | 235 |
| <b>Liste des tableaux . . . . .</b> |   | 237 |
| <b>Liste des figures . . . . .</b>  |   | 240 |
| <b>Index . . . . .</b>              |   | 245 |

# Quelques notions pour comprendre et gérer durablement le sol

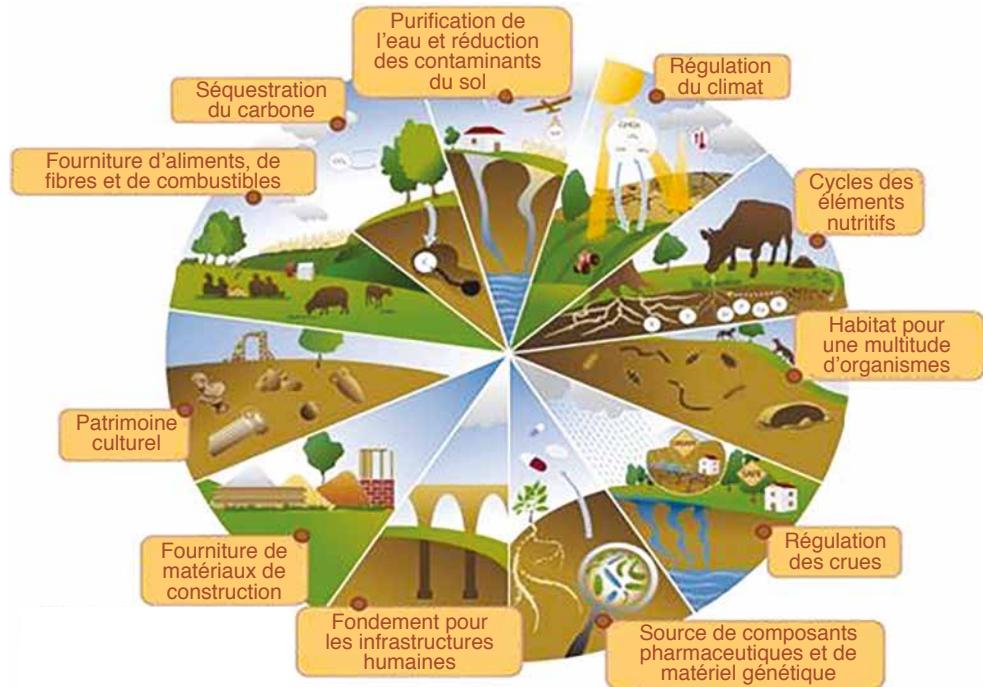
La **pédologie** est la science étudiant la formation et l'évolution des sols.

Le **sol** est le résultat de la décomposition de la roche sous-jacente ou roche-mère, sous l'action des éléments climatiques, de l'activité biologique...

## 1.1 Les fonctions du sol et ses différents états

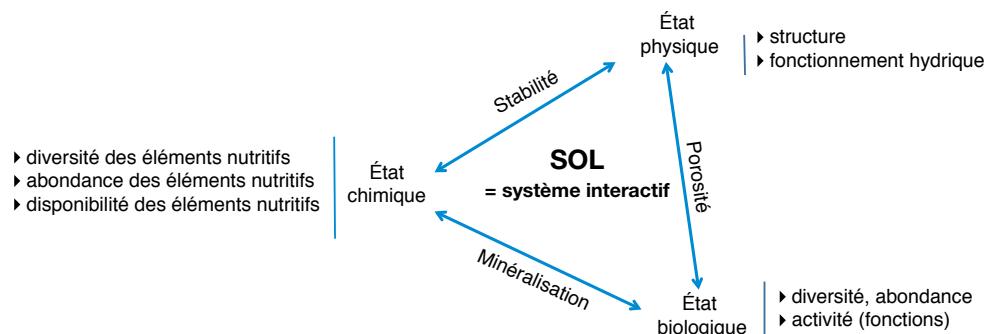
Le sol assure différentes fonctions :

- la fourniture d'éléments nutritifs aux plantes ;
- l'habitat pour de nombreuses espèces végétales ou animales ;
- la séquestration du carbone ;
- la purification de l'eau ;
- la régulation des crues par sa capacité à absorber l'eau de surface ;
- la régulation climatique en amortissant les variations de température...



▲ **Figure 1-1 :** Les fonctions et services écosystémiques liés au sol (© FAO).

L'étude du sol peut être abordée sous les aspects physique, chimique ou biologique, ce sont ses trois grands états (figure 1-2).



▲ **Figure 1-2 :** Les différents états du sol.

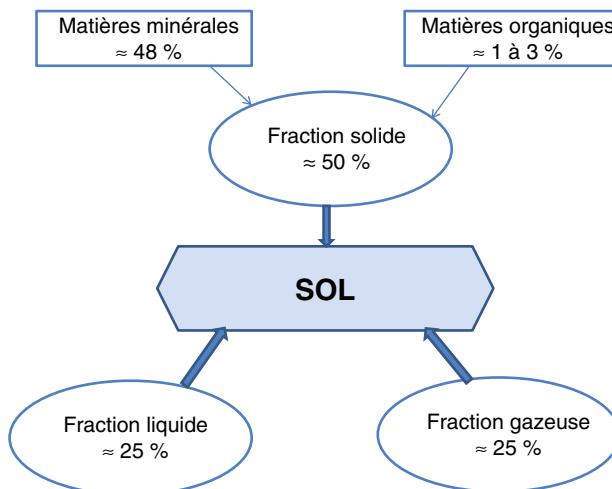
## Avertissement

Le paragraphe « La composition du sol » (ci-après) présente de façon très générale les éléments caractéristiques du sol et le vocabulaire associé. Toutes les notions qui y sont abordées seront reprises ultérieurement dans « État physique du sol » (1.3) pour la structure, dans « État chimique du sol » (1.4) pour les matières organiques et dans « État biologique du sol » (1.5).

## 1.2 La composition du sol

### 1.2.1 Les différentes fractions du sol

Les proportions données dans la figure 1-3 ne sont qu'indicatives et peuvent varier selon les sols et dans le temps (alternance de périodes pluvieuses et de sécheresses, compaction/décompaction, systèmes de culture...).



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

#### La fraction liquide ou solution du sol

Elle est composée d'eau dans laquelle se trouvent des substances solubles. Ces dernières sont soit des substances nutritives absorbables par la plante soit, éventuellement, des substances polluantes.

#### La fraction gazeuse ou atmosphère du sol

La teneur en oxygène décroît avec la profondeur.

| TABLEAU 1-1 : COMPOSITION COMPARÉE DE L'AIR DU SOL ET DE L'ATMOSPHÈRE EXTÉRIEURE (SIMPLIFIÉ D'APRÈS GOBAT ET AL., 2003). |   |                              |
|--|---|------------------------------|
| Constituant  | Air du sol (en %)                                   | Atmosphère extérieure (en %) |
| Oxygène  | 18 à 20,5 en sol bien aéré<br>10 après une pluie    | 21                           |
| Azote  | 78,5 à 80   | 78                           |
| Gaz carbonique   | 0,2 à 3,5<br>5 à 10 dans la zone autour des racines | 0,03                         |

### La fraction solide

Elle est décrite dans le paragraphe 1.2.2 « La texture », ci-après.

#### La porosité totale du sol (fraction liquide + fraction gazeuse)

Elle correspond au volume des espaces lacunaires d'un sol occupés par l'eau et/ou l'air. Elle varie en fonction des modes de gestion du sol. La porosité est divisée arbitrairement (et sans réel consensus) selon la taille des pores en :

- Microporosité  $\Rightarrow$  le diamètre des pores est  $\leq 2$  nm ( $2 \cdot 10^{-6}$  mm). L'eau y circule principalement par capillarité.
- Mésoporosité  $\Rightarrow$  le diamètre des pores est compris entre 2 nm et 0,1 mm. L'eau y circule principalement par capillarité.
- Macroporosité  $\Rightarrow$  le diamètre des pores est  $> 0,1$  mm, donnée variable selon les auteurs (critère retenu : visible à l'œil nu). L'eau y circule principalement par gravité.

(cf. § 1.3.2 « L'eau du sol et le fonctionnement hydrique »)

## 1.2.2 La texture ou granulométrie

### 1.2.2.1 Définition

La texture est la composition du sol décrite selon la proportion de ses particules solides (constituants minéraux) classées en fonction de leur taille.

| TABLEAU 1-2 : LES CONSTITUANTS MINÉRAUX (CONSTITUANTS DE LA TEXTURE) 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                  |

## Ne pas confondre

Les argiles minéralogiques ou phyllosilicates sont classés selon leur composition chimique. Parmi elles, on trouve la smectite (dans certaines préparations médicamenteuses), la kaolinite (émaux), l'illite, la montmorillonite et des composés très proches tels que le talc ou l'amiante.

Les argiles granulométriques sont classées selon la taille des particules. Dans ces argiles granulométriques se trouvent des fragments de quartz fins, des oxydes et hydroxydes fer et de la silice, éléments ne présentant pas les propriétés de réactivité des argiles minéralogiques.

## Cas particulier des sols carbonatés

Il peut être pertinent de réaliser une évaluation de la texture du sol après décarbonatation (suppression des carbonates à l'acide chlorhydrique), car les carbonates de calcium peuvent être suffisamment fins pour être comptabilisés dans la classe des argiles (granulométriques) et contribuer à « fausser » l'évaluation de la texture d'un sol.

### 1.2.2.2 Méthodes d'évaluation

#### 1.2.2.1 Au champ

Plusieurs méthodes, faciles à mettre en œuvre, peuvent être utilisées sur la parcelle.

##### Évaluation des teneurs en limons et sables en mobilisant l'ouïe et le toucher

Il est possible de recueillir des informations sur la texture en utilisant l'ouïe et le toucher :

- La terre qui « crisse » (ouïe) sous les doigts indique une teneur en sables > 20 à 25 %.
- Un sol doux et soyeux qui laisse les doigts sales (toucher) est un sol où les limons sont dominants.

## Conseil

Pour cela, il est nécessaire de s'entraîner afin de parvenir à une calibration personnelle en acceptant, dans un premier temps, de comparer le ressenti à des analyses de terre réalisées en laboratoire.

### Le test du pâton, indicateur de la teneur en argile

Un pâton est un boudin fabriqué en prenant de la terre humide que l'on fait rouler entre les deux paumes des mains.

**TABLEAU 1-3 : ÉVALUATION DE LA TENEUR EN ARGILE PAR LE TEST DU « PÂTON » OU DU « BOUDIN ».**

| Boudin                            | Teneur en argile |
|-----------------------------------|------------------|
| Impossible à fabriquer            | < 10 –12 %       |
| Désagrégation immédiate du boudin | 10 à 18 %        |
| Rupture du boudin à la courbure   | 18 à 25 %        |
| Réalisation d'un anneau           | > 25 – 30 %      |



Soi qui « crisse » sous les doigts,  
une pellicule de terre se forme sur  
la main et le boudin ne tient pas  
= sol sablo-limoneux, argile < 15 %  
(analyse de terre : sables 40 %,  
limons 47 %, argiles 10 %, MO 3%)

Sol soyeux sous les doigts,  
une pellicule de terre se forme  
sur la main et le boudin tient bien  
= sol argileux, argile > 25-30 %  
(analyse de terre : sables 8 %,  
limons 55 %, argiles 35 %, MO 1,8%)

▲ Photo 1-1 : Réalisation d'un boudin.

#### Le test de la boule (FAO 2020)

Facile à réaliser et ludique, il consiste à :

- prendre une poignée de terre humide et en faire une boule ;
- lancer la boule en l'air à 50 cm environ et la rattraper ;
- interpréter selon le tableau ci-dessous.

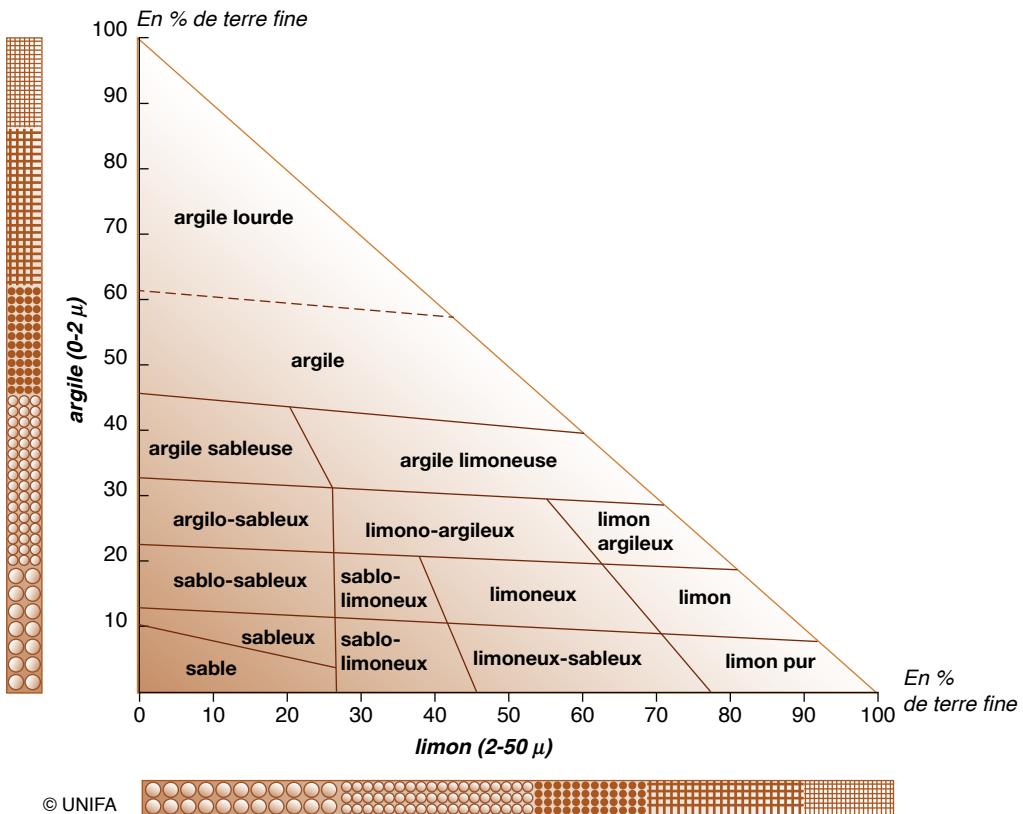
TABLEAU 1-4 : INTERPRÉTATION DU TEST DE LA BOULE (FAO).

| État de la boule après lancer | Composition du sol             |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Désagrégation                 | Dominante sableuse (et pauvre) |
| Conservation de la forme      | Dominante argile               |

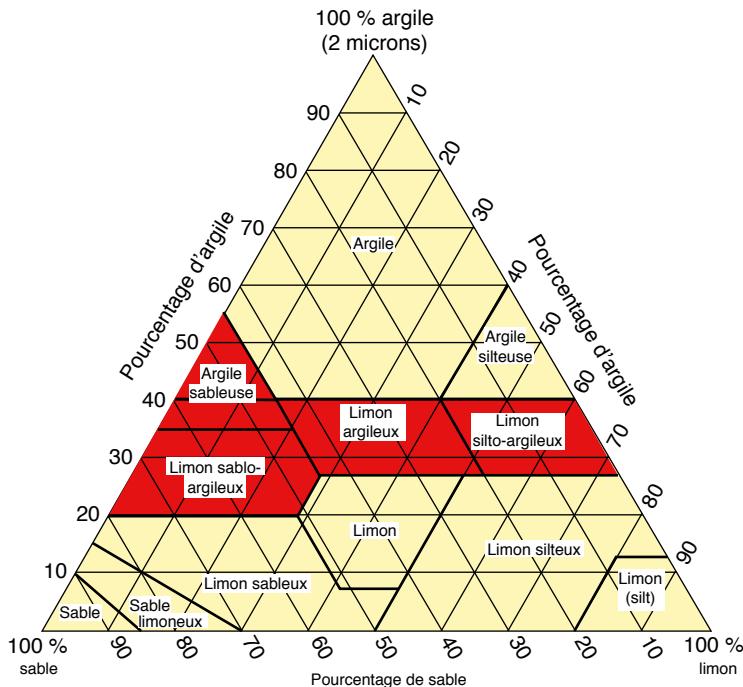
#### 1.2.2.2 En laboratoire : le triangle de texture

L'évaluation des proportions respectives en chacun des constituants de la texture repose le plus souvent sur la méthode de la pipette de Robinson. Cette détermination des proportions respectives d'argiles, de limons et de sables permet de donner un nom à la terre grâce au triangle de texture. Plusieurs triangles coexistent, le choix s'effectue en fonction des origines géographiques, des habitudes de travail...

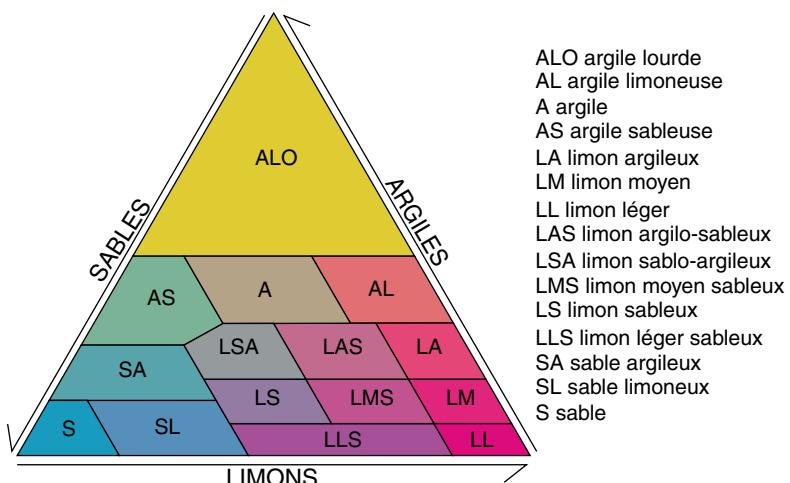
Après avoir positionné sur les axes la proportion de l'élément correspondant, il suffit de faire une projection perpendiculaire à l'axe et le croisement des 2 ou 3 projections se situe dans une zone portant le nom du sol.



▲ **Figure 1-4 :** Triangle de texture GEPPA (© Unifa).



▲ **Figure 1-5 :** Triangle de texture d'après les dimensions des particules USDA (© FAO).



▲ **Figure 1-6 :** Triangle de texture de l'Aisne (© Service de la carte des sols de l'Aisne).

### 1.2.3 Les matières organiques des sols (MOS)

La qualité d'un sol est étroitement liée à sa teneur en matières organiques et à la composition de ces dernières.

#### 1.2.3.1 Composition des matières organiques

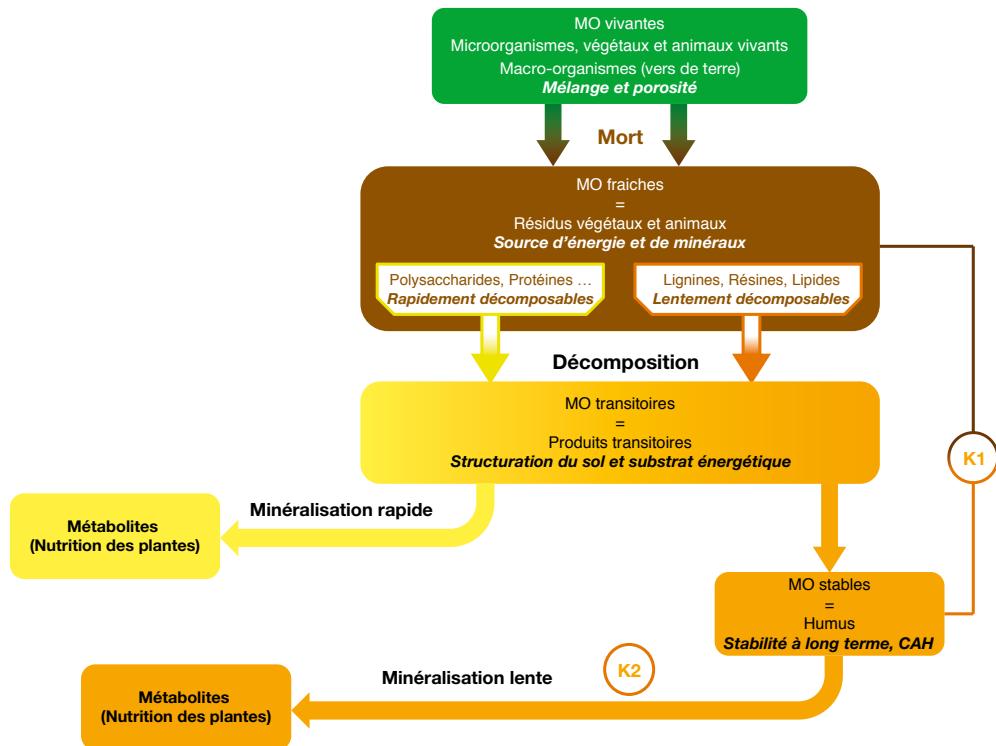
Différents composés polyphénoliques (lignine notamment) et, dans une moindre mesure, les protides sont les principales formes moléculaires des matières organiques présentes dans le sol.

**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 (%) |
|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 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                        |

#### 1.2.3.2 Évolution des matières organiques des sols

Les MOS ne sont pas stables, mais évoluent dans le temps sous l'effet de différents facteurs.



▲ Figure 1-7 : Évolution des matières organiques.

### Les matières organiques (MO) fraîches

Elles sont composées des végétaux et animaux morts attaqués par la faune (vers, insectes, etc.) et la microflore (champignons et bactéries) du sol. Une partie de ces matières organiques fraîches disparaît, utilisée par le métabolisme de ces êtres vivants et l'autre partie est réduite en molécules plus simples.

Durée de l'état : quelques jours à 1 à 2 ans.

### Les matières organiques transitoires ou humus jeune

Elles sont soit minéralisées, soit réorganisées en molécules complexes pour donner la matière organique stable. Durée de l'état : 15 à 30 ans.

### Les matières organiques stables ou humus stable

Elles constituent la principale forme de la MO du sol et sont composées de :

- 95 % de matière vivante, matière carbonée qui comprend du C ( $\approx 50\%$ ), H, O et N.
- 5 % de matières minérales dont 5 macro-éléments : S, P, K, Ca, Mg (<1 % MS, matière sèche) et une vingtaine d'oligo-éléments (Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Mo, etc.), présents à de faibles concentrations (< 0,1 % MS).

Durée de l'état : 30 à 1 000 ans et plus.

# Plantes de service et érosion (additifs autour de l'agronomie)

## 4.1 Les plantes de service

Les plantes de service sont des espèces végétales implantées en culture pure ou en mélange avant, pendant ou après une culture de rente. Elles sont destinées à fournir un ou plusieurs services écosystémiques à l'échelle de la parcelle ou à des échelles supra-parcellaires.

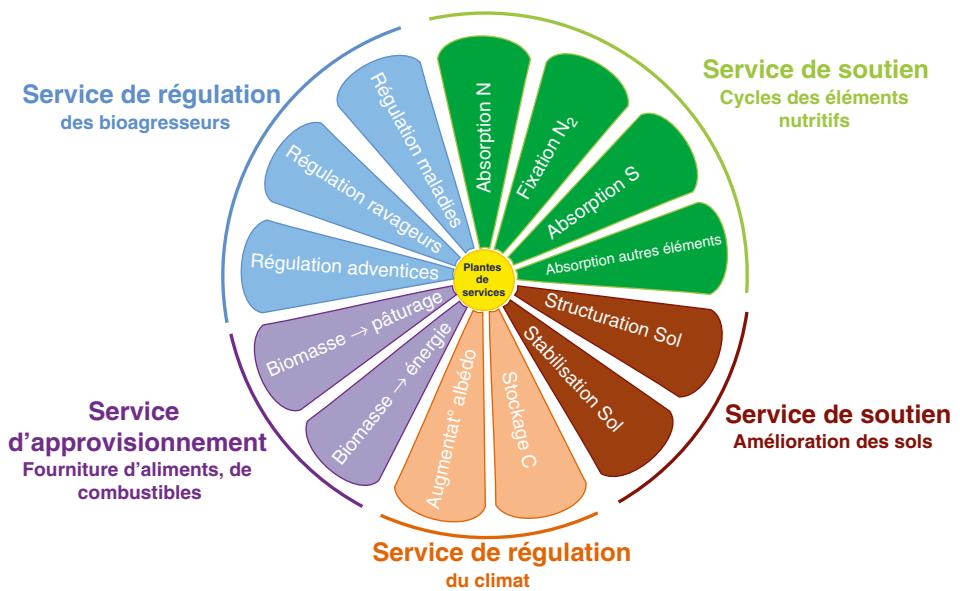
Elles regroupent principalement des cultures intermédiaires ou des plantes compagnes.

### 4.1.1 Les fonctions écosystémiques des plantes de service

Les fonctions écosystémiques fournies par ces plantes sont diverses telles que, de façon non exhaustive :

- La fourniture d'éléments nutritifs par piégeage, puis relargage généralement après leur destruction.
- Un meilleur recyclage d'éléments minéraux en « remontant » vers les horizons supérieurs, par absorption racinaire, des éléments nutritifs présents en profondeur.
- La limitation de la lixiviation des nitrates et des produits phytosanitaires vers les nappes phréatiques.
- La limitation de l'érosion hydrique de surface et de la battance :
  - en protégeant la surface du sol de l'impact des gouttes d'eau susceptibles de désolidariser les particules terreuses et de les emporter ;
  - en fixant la terre grâce aux racines.
- Une amélioration des taux de matières organiques des sols.
- La gestion de certains bioagresseurs, comme la régulation de certaines adventices par des espèces « étouffantes », les effets allélopathiques de certaines plantes (quelques crucifères sont nématicides)...
- La fourniture de refuge aux auxiliaires.
- Le maintien ou la favorisation d'une activité biologique des sols.
- Une amélioration de la structure du sol par le travail des racines et l'enrichissement du sol en matière organique...

Ces fonctions sous-tendent différents services écosystémiques fournis par les plantes de service et sont présentées de façon synthétique sur la figure 4-1.



▲ **Figure 4-1 :** Illustrations de fonctions et services écosystémiques offerts par les plantes de service.

## 4.1.2 Terminologie des plantes de service selon leur utilisation

Les définitions entre catégories de plantes de service ne sont pas clairement établies : suivant l'objectif, l'usage, le contexte, les techniques culturales... la « classification » d'une même plante peut changer.

### 4.1.2.1 Les Cultures Intermédiaires Multi-Services (CIMS)

Les CIMS sont implantées pendant les périodes d'interculture (période entre deux cultures marchandes) dont la durée varie de 1 semaine à 9 mois selon les systèmes de culture. Comme leur nom l'indique, leurs objectifs sont multiples. Leur dénomination a évolué : initialement dénommées **CIPAN** (cultures intermédiaires pièges à nitrates), elles étaient en lien avec la directive européenne 91/676/CEE dite « Directive Nitrates » et leur fonction première était de piéger l'azote minéral du sol pour éviter les transferts vers les ressources en eaux. Puis, la terminologie a progressivement intégré le caractère multifonctions écosystémiques sous-tendant différents services écosystémiques (voir § 4.1.1. « Les fonctions écosystémiques des plantes de service »).

Le terme « **d'engrais vert** » est aussi encore présent : il s'agit de plantes de service principalement composées de légumineuses (Fabacées) qui vont avoir un ratio C/N plus bas que d'autres plantes de service et ainsi, une fois détruites, restituer une quantité d'azote plus importante pour la culture suivante d'où cette dénomination d'engrais.

#### 4.1.2.2 Les cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE)

Les CIVE assurent deux fonctions principales :

- La fourniture d'une grande masse végétale (biomasse). Actuellement, le principal débouché est la méthanisation, mais les CIVE pourraient, à l'avenir, aussi alimenter certaines industries : bioraffineries (bioplastiques, biolubrifiants...).
- La fourniture de services écosystémiques :
  - soit de même niveau que des CIMS ;
  - soit moins efficaces (ex. : stockage de C dans les sols).

Mais ces évaluations sont à confirmer : des références sont en cours d'acquisition pour classifier les niveaux de performances obtenus et les éventuels compromis à faire.

Les CIVE sont le plus souvent implantées entre 2 cultures principales (en dérobé). Elles sont de 2 types :

- Les CIVE d'hiver (semis d'août à octobre et récolte entre le 20 mars et le 20 avril) sont surtout des graminées (avoine, triticale, orge...) ou des associations graminées-légumineuses (vesce, féverole...). Ces dernières ont une quantité de biomasses plus limitée, mais elles contribuent à l'autonomie azotée de la culture et de l'exploitation et, dans le cas de la méthanisation, elles permettent de produire un digestat avec une teneur plus élevée en azote.
- Les CIVE d'été sont caractérisées par une interculture brève, il faut donc choisir des espèces productives sur un cycle court (90 jours) : maïs, sorgho, tournesol, moha...

#### Remarque

D'autres cultures principales peuvent avoir une vocation énergétique :

- Des cultures annuelles (maïs, betterave, colza, céréales...) dont la seule distinction avec les cultures classiques est leur utilisation à des fins énergétiques.
- Des cultures pérennes :
  - Miscanthus (durée de vie/d'exploitation : 15 à 20 ans)
  - Switchgrass ou panic érigé (12 à 15 ans)
  - Saule en taillis très courte rotation (TTCR) (20 à 25 ans)
  - Peuplier en taillis courte rotation (TCR) (21 ans)
  - Graminées ou légumineuses pluriannuelles (fétuque, luzerne...)

#### 4.1.2.3 Les plantes de service à vocation fourragère

Elles offrent à la fois un service de couverture du sol et des services inhérents à la plupart des plantes de service à vocation agronomique mais, en plus, elles fournissent du fourrage destiné à l'alimentation animale.

Le choix des espèces et des variétés se fait en fonction :

- des conditions pédoclimatiques (zones à climat océanique et sols profonds versus zones séchantes à sols superficiels) ;
- de la période d'implantation (semis précoces à tardifs) et d'exploitation ;
- du mode d'exploitation (pâture, ensilage...) ;
- des objectifs en matière d'alimentation pour le bétail (richesse en protéines, productivité, appétence...).

### Remarque

Dans la majorité des cas, les couverts végétaux valorisés en élevage sont surtout choisis pour leur capacité à produire de la matière sèche dans les périodes non « poussantes » des prairies (déficit hydrique ou thermique).

Par exemple, le sorgho fourrager multicoupe est particulièrement intéressant pour une pousse estivale en situation de déficit hydrique.

#### 4.1.2.4 Les plantes compagnes

Comme leur nom l'indique, elles sont associées (« accompagnent ») à une culture marchande à laquelle elles peuvent fournir différents services :

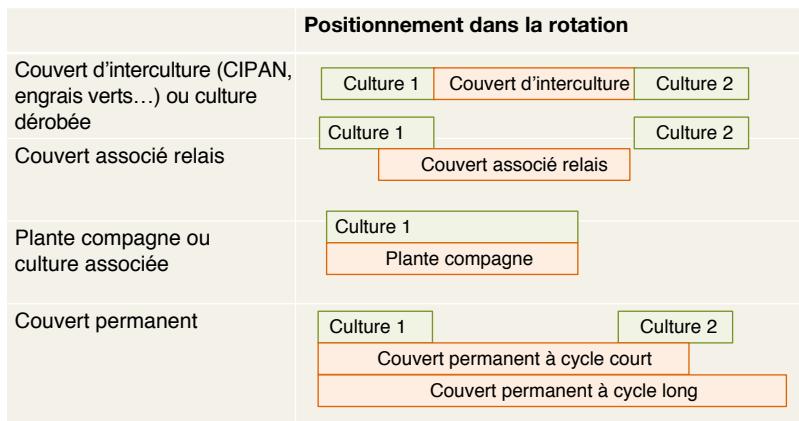
- Le contrôle de certains bioagresseurs. Par exemple, la régulation de certains insectes du colza, la limitation du développement d'adventices...
- La fourniture d'azote aux cultures marchandes. Par exemple, des légumineuses semées en inter-rangs d'une céréale, pratique qui se rencontre principalement dans des systèmes en agriculture biologique.
- Le soutien de certaines cultures. Par exemple, dans l'association lentille-cameline ou lentille-céréales, la lentille utilise la plante compagne comme tuteur ce qui favorise son développement puis sa récolte.



▲ **Photo 4-1 :** Colza avec plantes compagnes (à gauche) et sans plante compagnie (à droite) (il s'agit ici de microparcelles visant à étudier différents mélanges d'espèces-variétés de plantes compagnes pour réduire les pressions d'insectes sur le colza).

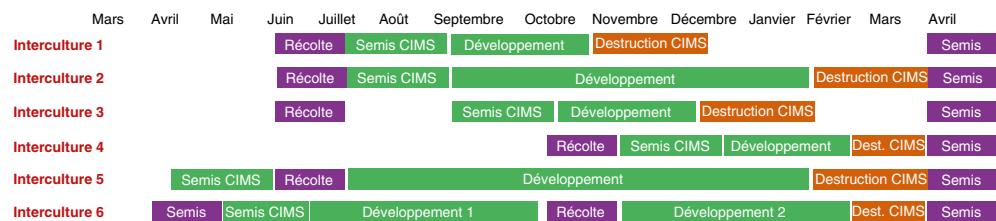
### 4.1.3 L'implantation des plantes de service

De nombreux types de positionnement en termes d'implantation sont possibles débouchant sur des dénominations non moins nombreuses (figure 4-2). Un même système peut avoir plusieurs dénominations selon le contexte.



▲ **Figure 4-2 :** Les différentes dénominations de plantes de service selon leur positionnement.

La durée et la position dans l'année de la période d'interculture offrent de multiples possibilités. En complément de la figure 4-2 le document ci-dessous (figure 4-3) permet une bonne visualisation sur l'année de différents types d'implantation de CIMS.



▲ **Figure 4-3 :** Quelques exemples de durée de périodes d'interculture et de possibilité d'implantation de cultures intermédiaires multi-services (CIMS).

#### Cas de la culture relais

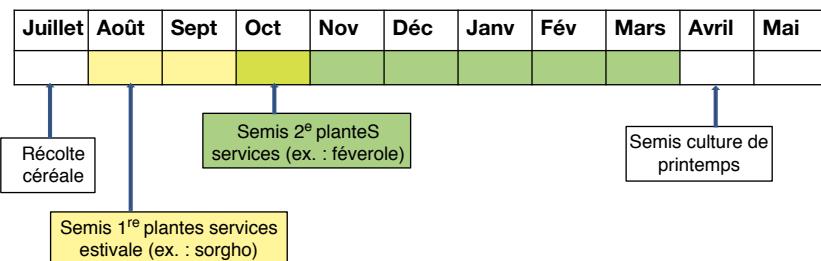
Quels que soient les objectifs visés, les plantes de service peuvent être semées à l'intérieur des cultures de rente, on parle alors de culture en relais.



▲ **Photos 4-2** : Sous-semis de ray-grass hybride + trèfle incarnat dans du maïs et développement du couvert post-récolte du maïs (couvert en relais).

#### Cas de deux couverts successifs en relais (figure 4-4).

Dans le cas d'une période d'interculture longue (*i.e.* après une culture d'hiver et avant une culture de printemps) un premier semis de plantes de service peut être réalisé avec des cultures estivales (par exemple du sorgho fourrager), puis à l'automne, un semis direct d'une autre plante de service (voire d'un mélange d'espèces) peut être effectué dans la première, par exemple un semis d'une féverole. Cette dernière prendra alors le relais du sorgho et couvrira le sol en hiver jusqu'au printemps en fixant en plus du N<sub>2</sub> alors que, sous climat tempéré, le premier couvert aura gelé.



▲ **Figure 4-4** : Exemple de 2 plantes/cultures de service successives en relais.

#### 4.1.4 Les qualités d'un couvert

Au-delà des objectifs environnementaux des plantes de service, l'agriculteur recherche une culture facile à conduire. Elle doit donc posséder les qualités suivantes :

- la rusticité, c'est-à-dire une bonne capacité à se développer même dans des conditions difficiles. À la différence d'une culture de rente qui va le plus souvent être fertilisée et protégée des attaques de bioagresseurs pour assurer leur homogénéité de développement, les plantes de service épousent les hétérogénéités du milieu ou liées aux pratiques agricoles ;
- l'agressivité, principalement vis-à-vis de plantes concurrentes. Elle est souvent liée à une poussée rapide et importante de la biomasse végétale ;

- la facilité d'implantation. Précision : même si la technique de semis à la volée a long-temps été privilégiée, on constate qu'un semis réalisé avec soin (i.e. dans des conditions quasiéquivalentes à celles des cultures de rente) permet de sécuriser la levée et l'implantation et donc les performances des plantes de service ;
- des semences peu coûteuses et faciles à se procurer ;
- l'absence de risques sanitaires pour elle et la culture suivante, que ce soit parce qu'elle est résistante/tolérante aux bioagresseurs ou parce qu'elle appartient à une famille botanique n'apparaissant pas dans la rotation afin de rompre le cycle des ravageurs. Il faut donc être très vigilant dans le choix des espèces à introduire comme plantes de service et bien les considérer comme une composante du système de culture ;
- la facilité de destruction. Même si aujourd'hui la destruction demeure le plus souvent chimique (au moins en complément), il faut chercher à privilégier une destruction mécanique, sans toutefois avoir besoin de travailler intensément le sol. Certaines espèces végétales sont gélives, ce qui peut présenter un intérêt si l'on cherche à détruire assez tôt le couvert ;
- la rapidité de destruction/évolution des résidus. Elle est étroitement liée à la composition chimique de la plante et, en particulier, à l'absence de lignification.

#### 4.1.5 Quelques familles botaniques et espèces utilisées comme plantes de service

Plus de 40 espèces sont régulièrement utilisées. La plupart appartiennent à trois grandes familles végétales : les crucifères (Brassicacées), les graminées (Poacées) et les légumineuses (Fabacées).

**TABLEAU 4-1 : EXEMPLES (LISTE NON EXHAUSTIVE) D'ESPÈCES VÉGÉTALES UTILISÉES COMME PLANTES DE SERVICE.**

|             |  |                            |
|-------------|--|----------------------------|
| Astéracée   | Nyger  | <i>Guizotia abyssinica</i> |
| Astéracée   | Tournesol                                    | <i>Helianthus annuus</i>   |
| Brassicacée | Moutarde éthiopienne ou moutarde d'Abyssinie | <i>Brassica carinata</i>   |
| Brassicacée | Moutarde brune                               | <i>Brassica juncea</i>     |
| Brassicacée | Moutarde blanche                             | <i>Sinapis alba</i>        |
| Brassicacée | Colza fourrager                              | <i>Brassica napus</i>      |
| Brassicacée | Navete fourragère                            | <i>Brassica rapa</i>       |
| Brassicacée | Cameline                                     | <i>Camelina sativa</i>     |
| Brassicacée | Roquette                                     | <i>Eruca sativa</i>        |
| Brassicacée | Radis fourrager                              | <i>Raphanus sativus</i>    |
| Fabacée     | Gesse commune                                | <i>Lathyrus sativus</i>    |
| Fabacée     | Lentille                                     | <i>Lens nigricans</i>      |

|                |                                   |                                  |
|----------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Fabacée        | Lupin bleu                        | <i>Lupinus angustifolius</i>     |
| Fabacée        | Luzerne lupuline                  | <i>Medicago lupulina</i>         |
| Fabacée        | Mélilot officinal                 | <i>Melilotus officinalis</i>     |
| Fabacée        | Sainfoin                          | <i>Onobrychis vicifolia</i>      |
| Fabacée        | Pois commun                       | <i>Pisum sativum</i>             |
| Fabacée        | Trèfle d'Alexandrie               | <i>Trifolium alexandrium</i>     |
| Fabacée        | Trèfle incarnat                   | <i>Trifolium incarnatum</i>      |
| Fabacée        | Fenugrec                          | <i>Trigonella foenum-graecum</i> |
| Fabacée        | Vesce pourpre ou vesce du Bengale | <i>Vicia benghalensis</i>        |
| Fabacée        | Vesce velue                       | <i>Vicia villosa</i>             |
| Fabacée        | Vesce commune                     | <i>Vicia sativa</i>              |
| Fabacée        | Féverole                          | <i>Vicia faba</i>                |
| Hydrophyllacée | Phacélie                          | <i>Phacelia tanacetifolia</i>    |
| Poacée         | Avoine commune                    | <i>Avena sativa</i>              |
| Poacée         | Avoine diploïde                   | <i>Avena strigosa</i>            |
| Poacée         | Ray-grass hybride                 | <i>Lolium hybridum</i>           |
| Poacée         | Ray-grass italien                 | <i>Lolium multiflorum</i>        |
| Poacée         | Seigle                            | <i>Secale cereale</i>            |
| Poacée         | Seigle multicaule                 | <i>Secale multicaule</i>         |
| Poacée         | Moha                              | <i>Setaria italica</i>           |
| Poacée         | Sorgho fourrager                  | <i>Sorghum sudanense</i>         |
| Polygonacée    | Sarrasin                          | <i>Polygonum fagopyrum</i>       |

#### 4.1.5.1 Les crucifères (Brassicacées)

##### Les principaux avantages

Très utilisées les crucifères présentent de nombreux avantages :

- facilité de semis ;
- faible coût ;
- développement rapide et bonne adaptation aux intercultures courtes ;
- production d'une importante biomasse (meilleur contrôle des adventices) ;
- système racinaire pivotant puissant permettant une amélioration de la structure du sol et une remontée des éléments nutritifs présents en profondeur ;

- richesse en glucosinolates qui sont des molécules à effets allélopathiques (contrôle potentiel de certains bioagresseurs) ;
- exigence élevée en azote. Les crucifères sont de très bons pièges à nitrates ;
- exigence élevée en soufre, ce qui limite les pertes par lixiviation. Après sa destruction, une crucifère peut couvrir jusqu'à la moitié des besoins en S d'un blé qui lui succéderait dans la rotation (soit 25 kg de S/ha).

### Les principales espèces utilisées

- Les moutardes, faciles à cultiver, possèdent d'excellentes qualités allélopathiques. Certaines variétés de moutarde blanche sont par exemple efficaces pour contrôler les nématodes à kystes des betteraves. Certaines d'entre elles sont gélives, ce qui facilite leur destruction.
- La navette est une plante à la fois rustique et grande consommatrice d'azote.
- Les colzas sont de bons candidats comme plantes de service (peu coûteux, assez bonne production de biomasse...), mais présentent deux inconvénients majeurs : ils sont très appétents pour les limaces et ils favorisent le maintien de bioagresseurs spécifiques dans les rotations comprenant du colza graine. Mais la culture de colza a une spécificité : après sa récolte, il est possible d'utiliser les repousses de cette plante en tant que CIMS car elle s'égrène facilement lors de la moisson.
- Plusieurs variétés de radis sont utilisées en CIMS, notamment :
  - les radis fourragers, particulièrement efficaces en tant que « décompacteurs » des sols. Ils ont leur racine tubérisée qui se développe principalement dans le sol. Inconvénient : ils ne sont pas toujours simples à détruire mécaniquement et peuvent redémarrer au printemps si une partie de leur système racinaire reste installé ;
  - les radis chinois plus polyvalents et susceptibles d'être utilisés pour l'alimentation animale. Ils ont leur racine tubérisée qui se développe principalement à l'extérieur du sol ce qui les rend assez facilement contrôlables par une destruction mécanique.



Moutarde blanche



Moutarde éthiopienne

▲ **Photos 4-3 :** Moutarde blanche et moutarde éthiopienne à la fin octobre (après un semis fin août suivi de 58 mm de pluies cumulées).

#### 4.1.5.2 Les graminées (Poacées)

Ce sont d'excellents couverts, polyvalents, mais à utiliser avec précaution dans les rotations céréalières en raison des problèmes de contrôle des bioagresseurs communs. Elles fournissent une forte biomasse qui concurrence efficacement les adventices et une faible teneur en azote (rapport C/N plus élevé que les légumineuses) ce qui peut induire une faim temporaire d'N après leur destruction.

De façon générale, les graminées utilisées comme plantes de service sont difficiles à détruire mécaniquement. Elles sont en revanche très sensibles au glyphosate, mais le retrait annoncé de cette molécule implique de développer de nouvelles stratégies de destruction de ces plantes. Leur système racinaire (fasciculé) a tendance à former des mottes au printemps qu'il est difficile de reprendre.

#### Les principales espèces utilisées

##### ■ Les avoines :

- l'avoine noire est peu coûteuse et facile à installer ;
- l'avoine rude, *Avena strigosa* (ou avoine diploïde ou avoine brésilienne), est plus productive, plus résistante à la rouille (attention il existe des variabilités variétales) mais plus sensible au froid.

■ Le seigle est rustique et peut avoir des effets allélopathiques (à priori pour la régulation de la folle avoine). Aujourd'hui, des variétés de seigle multicaule (ou seigle forestier) sont utilisées comme plantes de service, car produisant une forte biomasse dans laquelle des opérations de semis direct de la culture de rente suivante sont envisageables. Le seigle, couché au sol, forme alors un mulch assez épais permettant de réguler certaines adventices.

■ Le triticale et l'orge sont des céréales CIMS « passe-partout », le plus souvent intégrées dans des mélanges (rarement en culture pure aujourd'hui).

■ Le ray-grass italien a une installation lente, il est donc à réserver à des intercultures suffisamment longues. Mais il se révèle étouffant et fournit une importante masse végétale. C'est une plante exigeante en azote (bon piège à nitrates), en eau, ce qui peut poser problème à l'installation et pour la culture suivante et difficile à détruire. Le ray-grass italien peut être intéressant sur des exploitations d'élevage pour compléter la production fourragère, il n'est en revanche pas recommandé dans les exploitations céréalières.

■ Les graminées estivales (sorgho, moha, millet) doivent être installées suffisamment tôt pour recevoir la chaleur nécessaire à leur bon développement. Ce sont toutes des espèces gélives, ce qui facilite leur destruction. Attention, néanmoins, à certaines espèces/variétés qui peuvent rapidement monter en épi et émettre des graines qu'il faudra gérer dans la parcelle.

#### 4.1.5.3 Les légumineuses (Fabacées)

En raison de leur capacité à capter l'azote atmosphérique par leur activité symbiotique, les légumineuses combinent des effets de « pièges à nitrates » et d'enrichissement du sol en N. Elles sont généralement moins efficaces que les crucifères ou graminées pour le piégeage d'N, mais atteignent des niveaux équivalents à 2/3 de ceux observés sur ces familles botaniques ; considérer que les légumineuses ne permettent pas de capter l'azote minéral du

**L'objectif de cet ouvrage est de montrer l'étendue, la complexité et les interactions de l'agronomie. Il offre ainsi une vision transversale des attentes et questionnements agronomiques du milieu agricole et il marie à la fois une approche opérationnelle et une actualisation des connaissances scientifiques et techniques sur les sujets abordés.**

Ce petit précis d'agronomie se divise en quatre parties :

□ La première partie présente le sol, sa composition, ses fonctions et ses différents états à savoir les états physiques (texture, structure, fonctionnement hydrique ...) chimique (fertilité et fertilisation, pH ...) et biologique (organismes vivants du sol). Ces informations s'appuient sur des outils concrets, mobilisables pour raisonner certaines pratiques agricoles, dont le travail du sol.

□ La deuxième partie aborde :

- les principales conditions externes de développement et de croissance des végétaux : le climat, la température, la lumière, l'eau (et donc l'irrigation) et le vent ;
- les besoins nutritionnels des cultures et la gestion de la fertilisation.

Cette partie se termine sur un exercice de synthèse qui permet de manipuler toutes ces notions afin de se les approprier au mieux.

□ La troisième partie propose des éléments de raisonnement à l'échelle des systèmes de culture pour favoriser leur transition agro-écologique. Elle présente la notion d'itinéraire cultural et donne des exemples des principaux objectifs des systèmes de culture actuels.

□ La dernière partie apporte des compléments d'informations sur deux problématiques opérationnelles au cœur de réflexions agronomiques : l'introduction de plantes de service dans les systèmes et la lutte contre l'érosion des sols.

Cet ouvrage est destiné au monde de l'enseignement et de la formation, aux agriculteurs et aux acteurs du monde agricole qui recherchent un ouvrage accessible délivrant de solides notions et des références.

---

**Françoise Néron**, ingénierie en agriculture, a enseigné à l'École d'Ingénieurs de Purpan de Toulouse. Elle est l'auteure de Petit précis d'agriculture, Mémento d'agriculture et Petit précis d'élevage 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.