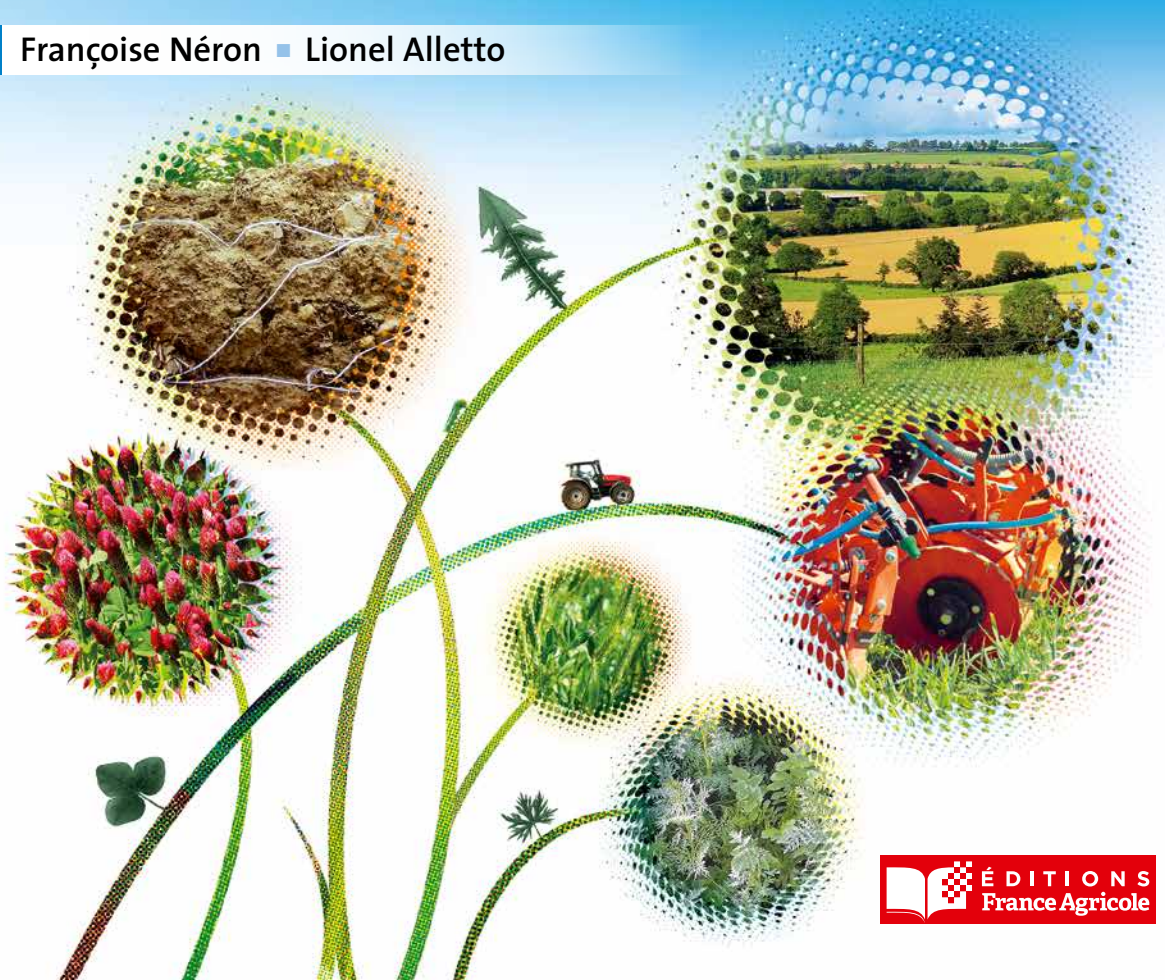


Petit précis d'agronomie

- 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 interconnexions existant entre toutes ces composantes.

L'agronomie est une science complexe en pleine évolution. Les découvertes, et parfois même les (re) découvertes, s'accroissent 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

Introduction	V
Table des sigles	VII
1 Quelques notions pour comprendre et gérer durablement le sol.	1
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
1.3.3	Quelques méthodes d'évaluation de l'état physique des sols. . . .	28
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
1.4	État chimique du sol	38
1.4.1	Composition chimique du sol	38
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
1.4.2	Les matières organiques du sol (MOS)	43
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	Le pH du sol	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	État biologique du sol	61
1.5.1	Les principaux organismes vivants d'un sol.	61
1.5.2	Rôles principaux des organismes vivants d'un sol.	62
1.5.3	Quelques méthodes de classification des organismes vivants d'un sol.	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	Quelques tests d'évaluation de l'activité biologique d'un sol.	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	Conséquences des pratiques du travail du sol sur les états physiques, chimiques et biologiques des sols	73
1.6.1	Travail du sol : définition et objectifs principaux	73
1.6.2	Historique.	73
1.6.3	Les principales opérations de travail du sol	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	Conséquences des opérations de travail du sol sur le fonctionnement du sol	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

2	Principales conditions de développement et de croissance des cultures	97
2.1	Le cycle de vie des plantes	98
2.1.1	Définitions	98
2.1.1.1	Cycle de vie	98
2.1.1.2	Croissance et développement.	98
2.1.2	Les différents types de cycle	99
2.1.3	Les deux périodes du cycle de vie d'une plante : végétative et reproductrice	100
2.1.3.1	Période végétative.	100
2.1.3.2	Période reproductrice.	101
2.1.4	Utilisation et répartition de la matière sèche élaborée par la plante : la théorie « sources/puits »	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 culturels	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'efficacité de la transformation lumineuse en biomasse	123
2.3.4.4.1	R_g	123
2.3.4.4.2	$E_{\text{climatique}}$	123
2.3.4.4.3	$E_{\text{interception}}$	123
2.3.4.4.4	$E_{\text{transformation}}$	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

2.3.5	L'eau	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
2.3.6	Le vent	137
2.4	Les besoins nutritionnels du végétal	138
2.4.1	Les principaux éléments nutritifs et leurs effets	138
2.4.2	Les éléments de base : azote, phosphore, potassium	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
2.4.3	Les autres éléments majeurs : S, Ca et Mg	142
2.4.3.1	Soufre	142
2.4.3.2	Calcium	143
2.4.3.3	Magnésium	143
2.4.4	Les oligo-éléments : Fe, Mn, Zn....	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
2.4.5	La fertilisation des cultures	145
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 ^e 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 engrais phosphatés	154
2.4.5.4.5	Les engrais 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 engrais 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 engrais minéraux composés	161
2.4.5.6.3	Critères de choix des engrais	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
3	Vers la transition agro-écologique des systèmes	183
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

3.2	Les principales orientations des systèmes agricoles	188
3.2.1	Pourquoi faire évoluer les systèmes existants ?	188
3.2.2	Les différents modèles agricoles et la transition 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
4	Plantes de service et érosion (additifs autour de l'agronomie)	201
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 (CIVE)	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 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 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	Prédiction du taux annuel d'érosion à long terme	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	Analyse du risque d'érosion et pistes d'atténuation	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	Synthèse des grands principes de la lutte contre l'érosion	229
Conclusion		231
Bibliographie		232
Liste des photos		235
Liste des tableaux		237
Liste des figures		240
Index		245

Quelques notions pour comprendre et gérer durablement le sol

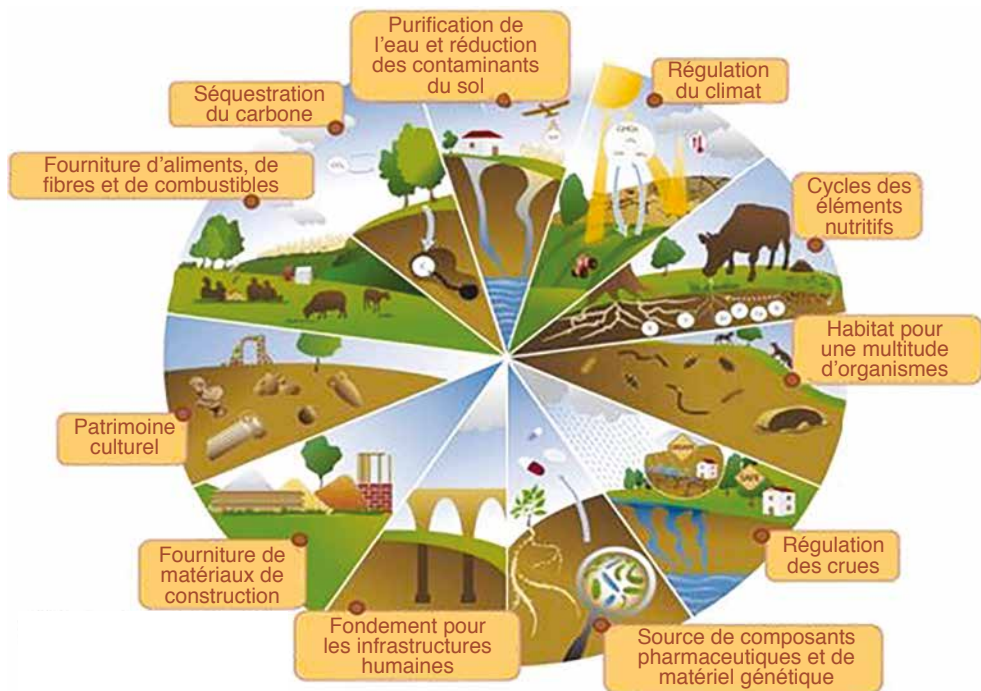
La **pédologie** est la science étudiant la formation et l'évolution des sols.

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

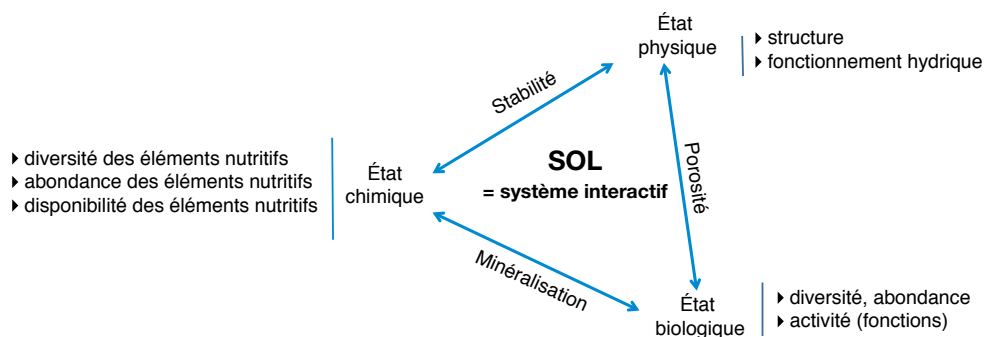
Le sol assure différentes fonctions :

- 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.

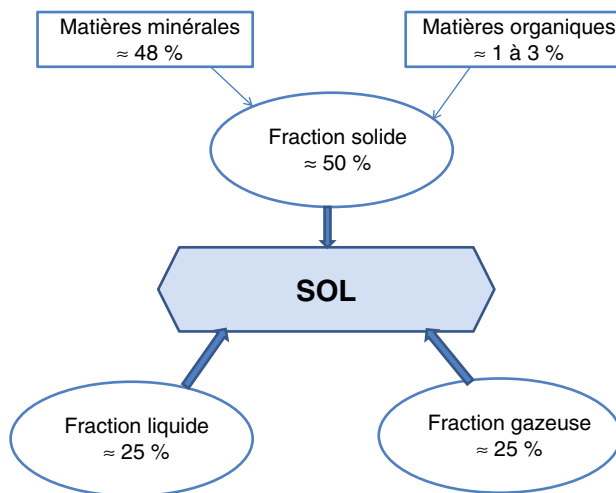
Avertissement

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 10 après une pluie	21
Azote	78,5 à 80	78
Gaz carbonique	0,2 à 3,5 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 $\leq 2 \text{ nm}$ ($2 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$). 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 $> 0,1 \text{ mm}$, 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

1.2.2.2.1 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 %



Sol 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 :

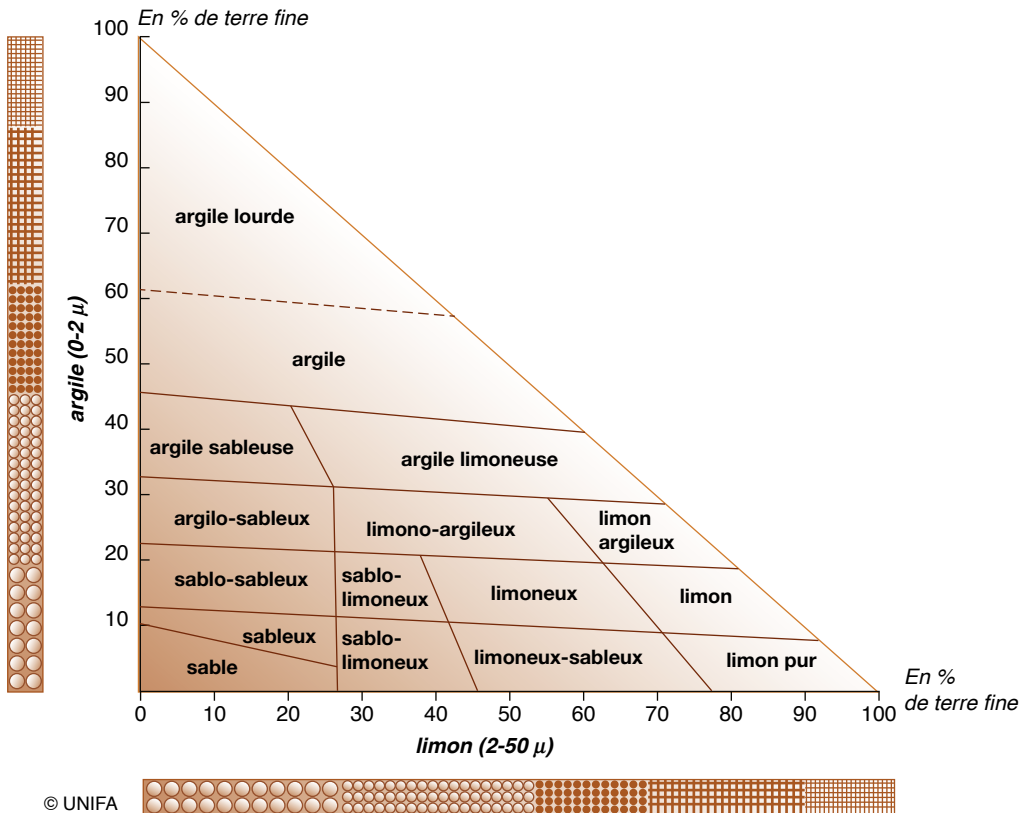
- prendre une poignée de terre humide et en faire une boule ;
- lancer la boule en l'air à 50 cm environ et la rattraper ;
- interpréter selon le tableau ci-dessous.

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

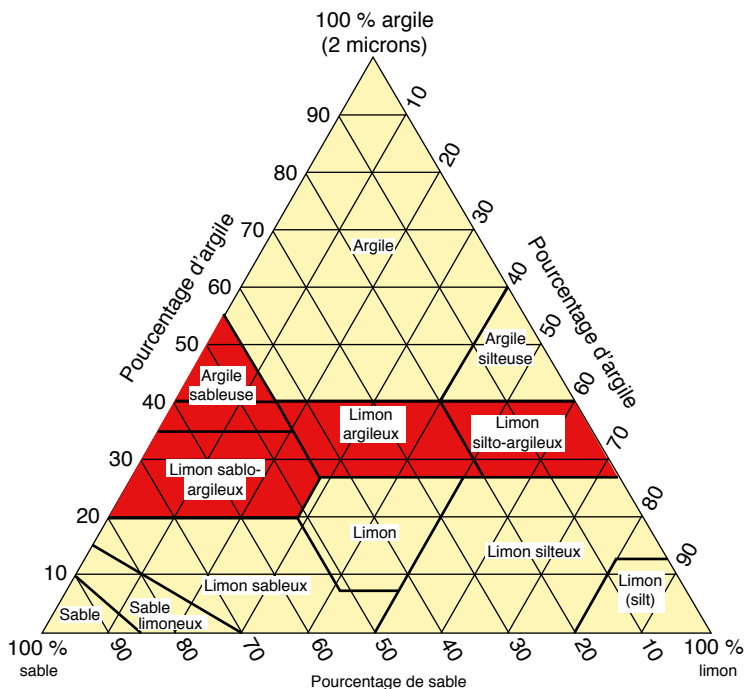
1.2.2.2 En laboratoire : le triangle de texture

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...

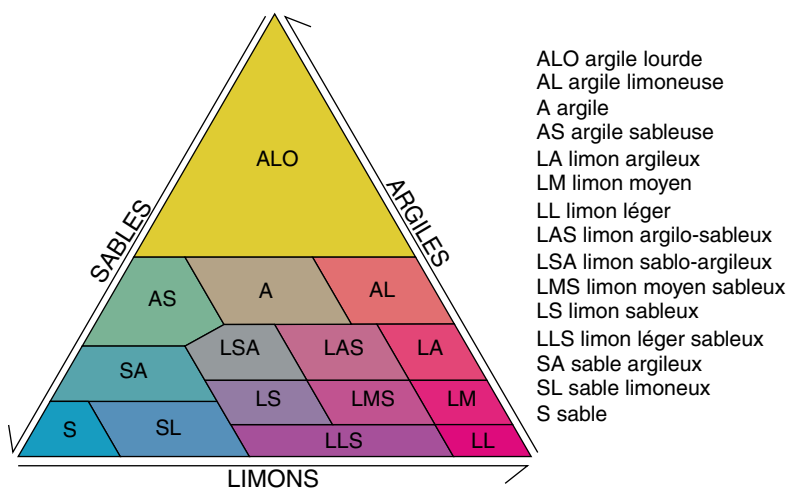
Après avoir positionné sur les axes la proportion de l'élément correspondant, il suffit de faire une projection perpendiculaire à l'axe et le croisement des 2 ou 3 projections se situe dans une zone portant le nom du sol.



▲ **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

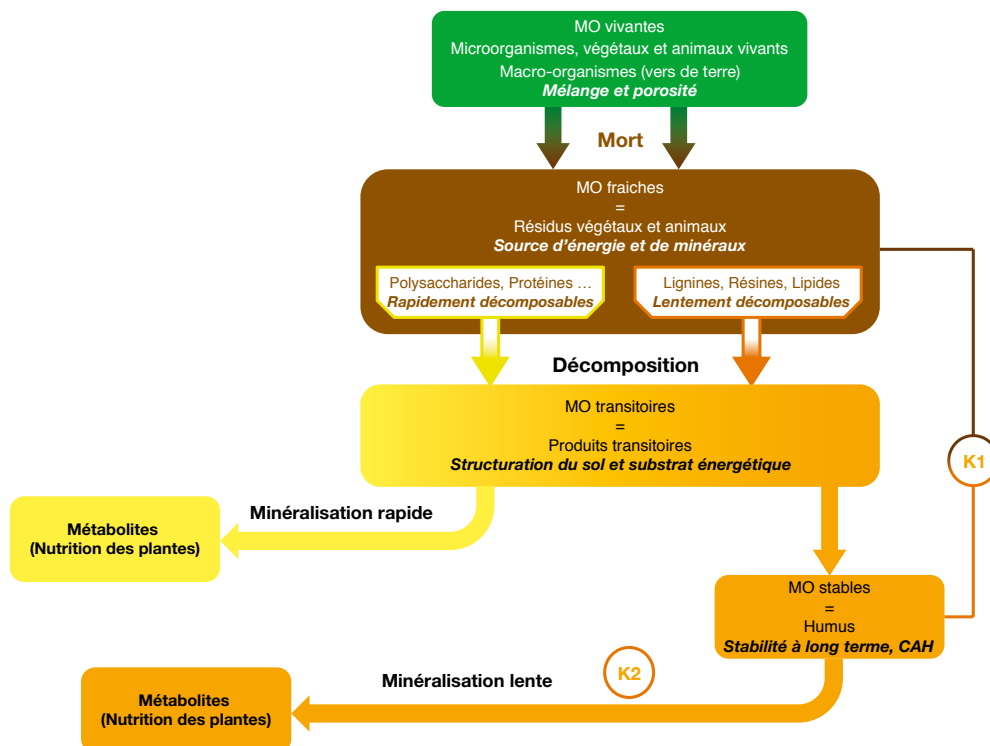
Différents composés polyphénoliques (lignine notamment) et, dans une moindre mesure, les protéides sont les principales formes moléculaires des matières organiques présentes dans le sol.

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.

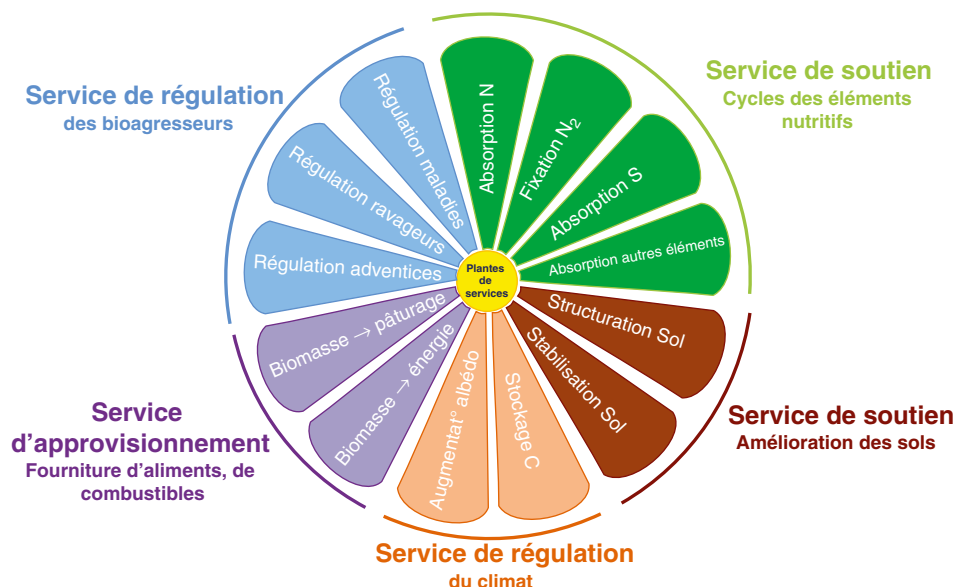
Elles regroupent principalement des cultures intermédiaires ou des plantes compagnes.

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 clarifier 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 sèches à sols superficiels) ;
- de la période d'implantation (semis précoces à tardifs) et d'exploitation ;
- du mode d'exploitation (pâturage, 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 multicut 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 :

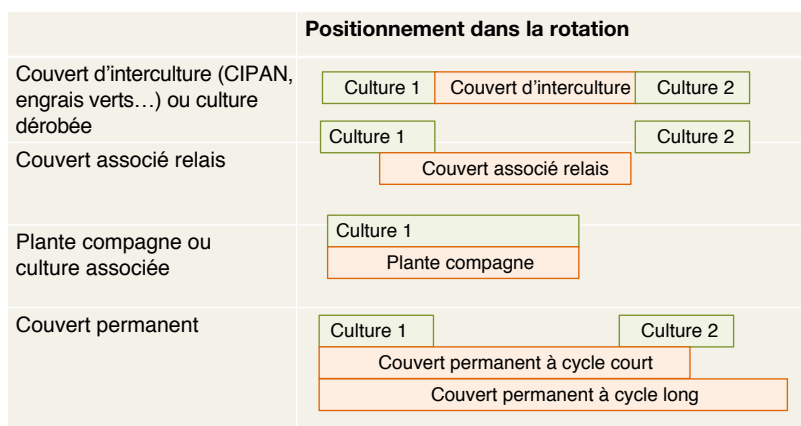
- Le contrôle de certains bioagresseurs. Par exemple, la régulation de certains insectes du colza, la limitation du développement d'adventices...
- La fourniture d'azote aux cultures marchandes. Par exemple, des légumineuses semées en inter-rangs d'une céréale, pratique qui se rencontre principalement 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 compagne (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).

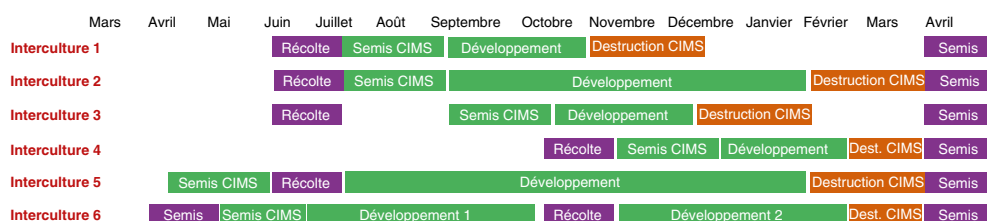
4.1.3 L'implantation des plantes de service

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

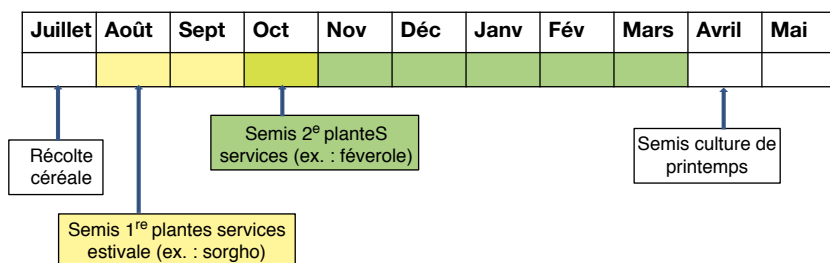
Quels que soient les objectifs visés, les plantes de service peuvent être semées à l'intérieur des cultures de rente, on parle alors de culture en relais.



▲ **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_2 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 pousse rapide et importante de la biomasse végétale ;

- la facilité d'implantation. Précision : même si la technique de semis à la volée a longtemps 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, ingénieure 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.