



Les sols agricoles

- Comprendre
- Observer
- Diagnostiquer

Matthieu Archambeaud ■ Frédéric Thomas

Introduction

Le sol est un écosystème très complexe qui abrite un quart de la vie terrestre identifiée. C'est un milieu très peu connu et encore peu étudié malgré son importance: il nous porte, nous nourrit, recycle les déchets, purifie notre eau et régule notre climat.

Vu de l'espace, le sol n'est que la peau de la croûte terrestre émergée, celle qui porte les animaux et les plantes, les forêts, les prairies, les déserts, nos villes et nos routes. Mais c'est aussi la surface qui nous permet de cultiver des arbres, de l'herbe ou des cultures pour nourrir, chauffer, construire, habiller. Si on prend la peine de l'ouvrir et de l'observer, le sol révèle un monde en trois dimensions, « immergé » sous nos pieds. Il est le milieu dans lequel vivent une flore et une faune méconnues, diverses, abondantes et prolifiques. C'est aussi un filtre et un réservoir d'eau, de nutriments organiques et minéraux, indispensables à la croissance des plantes et donc à la subsistance des animaux et des hommes.

Tel est le but de ce livre, faire connaissance avec le sol, comprendre son fonctionnement et celui de l'écosystème qui lui est lié. Si nous chaussons parfois les lunettes du naturaliste, de l'écologue, du pédologue, du chimiste ou du géologue, nous gardons avant tout un regard de praticien agricole qui doit le cultiver et en vivre. Le paysan peut gérer ses sols de manière « agressive » et les conduire à se dégrader ou, au contraire, en améliorer la fertilité, dans son intérêt propre et celui de la société. Si l'impact négatif de l'agriculture est malheureusement aujourd'hui une réalité, il n'est pas une fatalité: il appelle à une prise de conscience et à une mise en œuvre de pratiques, aujourd'hui éprouvées, pour repartir à la conquête de ce monde inconnu, à quelques centimètres sous nos pieds.

Sommaire

Introduction	V
PARTIE I – CONNAISSANCE DES SOLS AGRICOLES	1
1 Genèse, vie et mort des sols	3
Formation des sols	3
Évolution des sols	5
Mort d'un sol	8
<i>Lixiviation et éluviation</i>	<i>8</i>
<i>Érosion et décapage.....</i>	<i>10</i>
Le grand recycleur	12
2 Le sol, un monde minéral	15
Texture et structure	15
<i>La texture, un indicateur simple et efficace</i>	<i>15</i>
<i>Plasma et porosité structurale</i>	<i>19</i>
<i>Le sol et la dynamique de l'eau.....</i>	<i>21</i>
Le complexe argilo-humique	24
<i>Un agent de structuration du sol</i>	<i>24</i>
<i>Un réservoir d'éléments minéraux</i>	<i>25</i>
<i>Acidité du sol, chaulage et disponibilité des éléments minéraux</i>	<i>26</i>
<i>Le rapport calcium/magnésium.....</i>	<i>27</i>
<i>Carences et déséquilibres: déterminer et surmonter d'éventuels facteurs limitants ..</i>	<i>29</i>
3 Le sol, un habitat peuplé.....	33
La vie dans le sol	34
<i>Le sol, protecteur de la vie primitive aquatique</i>	<i>34</i>
<i>Importance et diversité de la vie dans un sol.....</i>	<i>36</i>
<i>Diverses tailles et milieux de vie</i>	<i>37</i>
<i>Diverses fonctions.....</i>	<i>38</i>
<i>Divers régimes alimentaires et chaînes trophiques.....</i>	<i>39</i>
<i>Les vers de terre, ingénieurs de l'écosystème</i>	<i>41</i>
Les interactions entre le sol et la plante	46
<i>La rhizosphère et les exsudats racinaires</i>	<i>46</i>
<i>Les symbiotes: rhizobium et mycorhize</i>	<i>49</i>

4	La fertilité organique du sol	51
	Photosynthèse et respiration, le cycle du carbone	51
	<i>Photosynthèse et respiration</i>	51
	<i>La matière organique, c'est avant tout du carbone, mais pas seulement...</i>	52
	<i>Cycle organique du carbone</i>	54
	<i>Le sol et la plante, un « mini-cycle » du carbone</i>	54
	Les matières organiques du sol	55
	<i>Des matériaux très différents</i>	55
	<i>Qualité de l'humus</i>	57
	<i>Quelle quantité d'humus faut-il dans un sol?</i>	58
	<i>Compostage, matières organiques et énergie</i>	59
	Fertilité des sols et fertilisation des cultures	64
	<i>Humus, carbone et azote</i>	64
	<i>Pourquoi les sols agricoles sont-ils pauvres en humus?</i>	66
5	La place du sol dans le changement global	70
	Le sol et le cycle du carbone	70
	<i>Le sol, un réservoir de carbone</i>	70
	<i>La prairie et la forêt: une rivalité millénaire</i>	71
	<i>Le carbone et le changement climatique</i>	73
	Le sol, l'eau et le changement climatique	75
	<i>L'eau, un régulateur global de l'énergie</i>	75
	<i>L'eau, le climat et le microclimat</i>	76
	<i>La pluie ne vient pas de la mer</i>	77
	<i>Faire pousser des végétaux pour qu'il pleuve</i>	79
	<i>Des sols asséchés</i>	80
	PARTIE II – DÉGRADATION DES SOLS AGRICOLES	81
6	Menaces sur les sols agricoles	83
	Artificialisation des sols, uniformisation des paysages	84
	<i>Des surfaces cultivées en régression</i>	84
	<i>Bouleversement du paysage agricole traditionnel</i>	85
	Érosion des sols agricoles	87
	<i>Érosion aratoire</i>	87
	<i>Érosion éolienne</i>	89
	<i>Érosion hydrique</i>	90
	<i>Érosion organique et biologique</i>	91
7	Les causes de la dégradation des sols agricoles	95
	Les sols agricoles sont souvent nus	95
	Le travail du sol a un impact fort	97
	<i>Travail du sol: lissage et terre fine</i>	97

<i>Imperméabilisation : battance et compaction</i>	98
<i>Des ruptures dans le profil</i>	99
Trafic agricole et compaction des sols	101
<i>Le pneu, la pression et le poids</i>	102
<i>La masse : un très grand facteur de risque</i>	106
Autres facteurs de dégradation des sols	108
<i>Irrigation</i>	108
<i>Traitements de protection des cultures et pesticides</i>	112
<i>Produit, dose, fréquence et utilisation</i>	112
<i>La « phyto » n'est pas seule coupable</i>	113
<i>Surpâturage : compaction et épuisement des sols</i>	116
<i>Déforestation</i>	118
8 Optimisation des techniques culturales	121
Lutter contre l'érosion des sols	121
<i>Accueillir l'eau de pluie</i>	121
<i>Infiltrer et stocker l'eau disponible</i>	122
<i>Mise en pratique sur la ferme</i>	124
Éviter la compaction des sols	125
Diminuer le travail du sol et développer une structure performante	126
<i>Organisation du sol</i>	128
<i>Gestion de la surface</i>	129
<i>Le travail profond</i>	130
Vers une couverture végétale maximale des sols	132
<i>Recycler et produire de l'azote</i>	132
<i>Protéger le sol pour éviter l'érosion et la compaction</i>	134
<i>Les couverts végétaux sont un outil agronomique puissant</i>	135
<i>Quelques règles simples pour bien démarrer</i>	135
Repenser la rotation	136
PARTIE III – TOUR DE FRANCE DES SOLS AGRICOLES	139
9 Champagne: les sols sur roche calcaire tendre	143
Le fond de mers anciennes	143
Une matière organique indispensable	144
Un impact positif de la chimie agricole	145
Que peut apporter l'agriculture de conservation ?	145
10 Groies et causses: les sols sur calcaire dur	149
Les reliquats d'anciens sols tropicaux	149
Une faible fertilité	149
Fallait-il vraiment les labourer ?	150
Une très bonne adaptabilité à l'agriculture de conservation	150

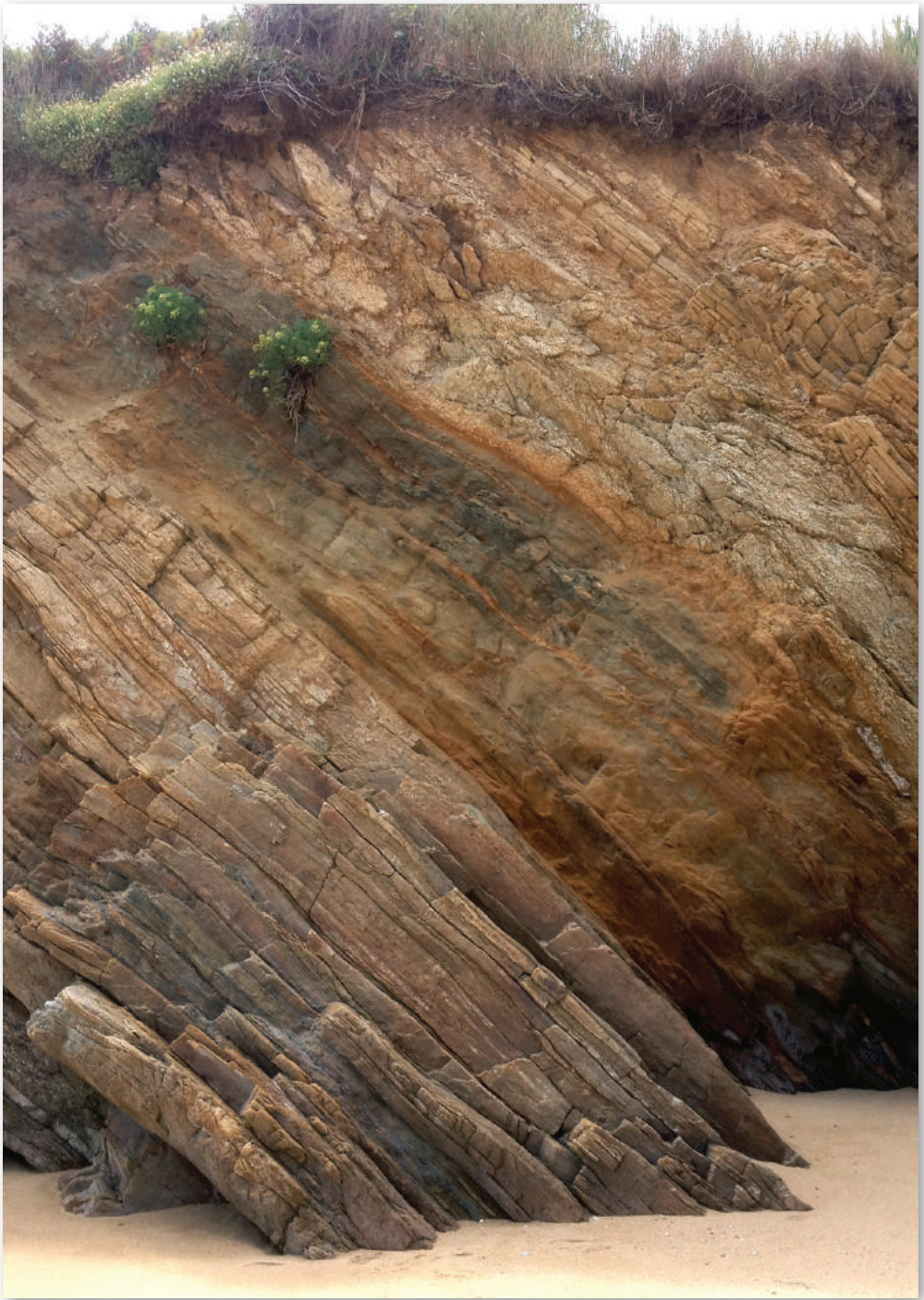
11 Les limons du Bassin parisien	155
Des sols venus d'ailleurs	155
Une forte capacité à stocker et restituer l'eau	155
Adaptabilité à la simplification du travail du sol	157
12 Les limons à tendance hydromorphe	163
Des sols lessivés, hydromorphes et dégradés	163
<i>Des sols lessivés</i>	163
<i>Des sols hydromorphes</i>	163
<i>Des sols dégradés</i>	163
Comment soigner ces sols?	164
<i>Drainer</i>	164
<i>Amender</i>	164
<i>Conserver la matière organique</i>	164
<i>Couvrir le sol en hiver</i>	164
Que peut apporter la simplification du travail du sol?	165
<i>Préférer le non-retournement du sol</i>	165
<i>Limiter la minéralisation rapide de l'humus</i>	165
<i>Installer, tôt en saison, des couverts végétaux performants</i>	165
<i>Réduire le trafic sur les parcelles</i>	166
Hydromorphie: explication de texte	166
13 Les sols bruns sur roches dures	173
Des sols assez rustiques	173
Des sols où il est facile de se passer de travail aratoire	174
14 Les argiles lourdes	177
Des sols riches mais difficiles à travailler	178
Le « self-mulching », une (trop) forte capacité d'autostructuration	178
De fortes économies liées à la simplification du travail du sol	179
15 Les sols sableux	183
Pauvres et souvent trop secs ou trop humides	183
Les podzols: une végétation et un humus acidifiants	183
Comment valoriser les sables?	185
Adaptabilité à la simplification du travail du sol	186
16 Les sols des vallées	189
Des sols hétérogènes fortement liés au bassin versant	189
Le drainage: une option difficile	189
Un rôle de tampon et d'épurateur	191
Un bon niveau de fertilité	192
Agriculture de conservation, une nécessité sociétale	193

17 Les terres à cailloux	195
Les cailloux ne remontent pas naturellement à la surface	195
Les cailloux sont source de casse et d'usure	195
Les cailloux ne sont pas du sol	196
Les cailloux influencent le réchauffement du sol	197
Les TCS pour limiter la pénibilité et le coût du travail mécanique	197
PARTIE IV – OBSERVER ET DIAGNOSTIQUER	201
18 Observer la surface du sol	203
Coloration des parcelles	204
Comportement des sols sous la pluie	204
Traces de battance	206
Traces de ruissellement et d'érosion	207
Traces d'activité biologique	209
Vitesse de dégradation des résidus	211
Flore indicatrice	213
<i>État de la couverture du sol</i>	213
<i>Présence de « champignons »</i>	214
<i>Présence de « mousses »</i>	214
<i>Flore spécifique</i>	215
19 Observer le sol dans son épaisseur	217
Le commentaire de profil agronomique	217
<i>Le profil d'état des lieux ou point zéro</i>	217
<i>Le profil de suivi</i>	217
<i>Le profil de comparaison</i>	219
<i>Profil de sol, mode d'emploi</i>	219
<i>Le profil de sol aux « fourches transpalettes »</i>	220
<i>Quand creuser ?</i>	221
<i>Comment observer ?</i>	221
<i>Quelques astuces et conseils complémentaires</i>	224
Que regarder ?	225
<i>Repérer l'organisation optimale du profil</i>	225
<i>Observer les différences de couleur</i>	227
<i>Diagnostiquer une semelle ou une compaction</i>	231
<i>Observer l'enracinement</i>	233
D'autres outils d'évaluation de la structure du sol	239
<i>Le « coup de bêche »</i>	239
<i>Le test à la bêche</i>	240
<i>Le test à la tarière</i>	241
<i>La sonde manuelle et le pénétromètre</i>	241

20 Quelques tests simples (et amusants)	243
Apprécier la texture du sol	243
<i>Au champ</i>	243
<i>Technique de la bouteille</i>	243
Calcium disponible: test à l'acide	244
Acidité: test du pH	245
Test « nitrates »	246
Matière organique disponible: test à l'eau oxygénée	247
Tests d'humectation et d'infiltration	247
Test à l'eau colorée	250
Test de stabilité structurale (« slake test »)	251
Compter les vers de terre	253
Analyse chimique du sol	255
<i>Analyse de routine ou de surveillance</i>	256
<i>Analyse d'investigation</i>	256
Prendre des photos	257
Pour aller plus loin	259



Connaissance des sols agricoles



▲ Photo 1.1

Genèse, vie et mort des sols

Formation des sols

Le sol est la résultante de l'interaction entre un substrat géologique, une géographie, un climat et les êtres vivants qui colonisent sa surface et sa profondeur. De la diversité des substrats, des climats et des communautés d'êtres vivants naît la grande diversité des sols que nous connaissons.

Initialement, le sol n'est composé que d'un substrat minéral inerte (roche-mère géologique) qui est progressivement altéré par le climat et colonisé par de la végétation, des microorganismes et des animaux. Un substrat rocheux est, par exemple, attaqué par l'acide carbonique contenu dans l'eau de pluie ou par l'action érosive d'un cours d'eau. Le substrat est ensuite fragmenté et fissuré sous l'action du climat : dessiccation en été, humectation au retour des pluies, éclatement lors des gelées. Les racines des plantes, leurs sécrétions (exsudats) ou celles des microorganismes et des animaux poursuivent cette action de désagrégation, de dissolution et d'oxydation de la matière brute et vont progressivement la transformer en un milieu habitable et nutritif. On parle alors de formation ou d'aggradation du sol, qui est l'agencement d'un substrat en un milieu organisé, constitué d'agrégats stables et d'espaces vides. Cette organisation permet le stockage et la circulation de l'eau et des gaz, et l'épanouissement de la vie : les organismes vivants peuvent alors se développer et se diversifier et le sol devient fertile.

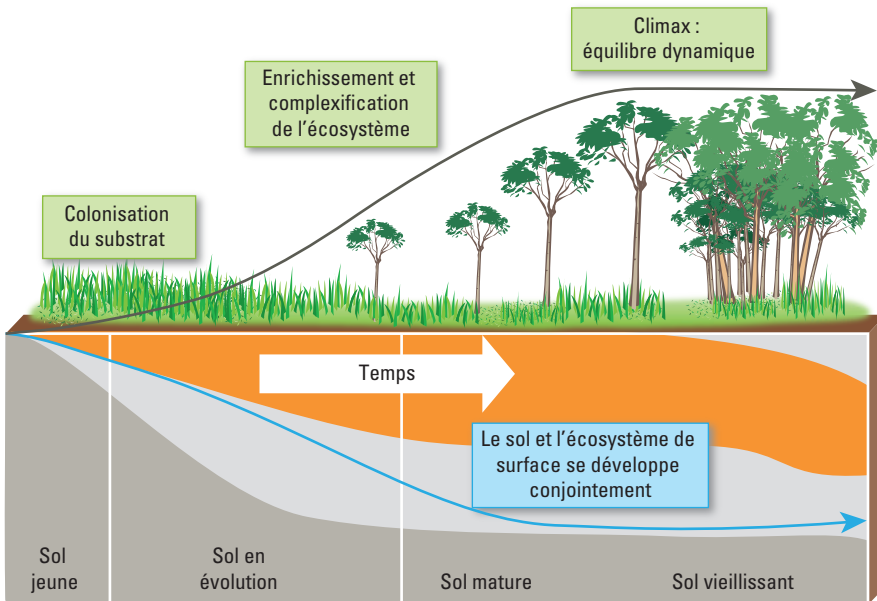
► **Photo 1.2 : Lichen sur un rocher.** Les organismes vivants les plus anciens ont dû s'adapter à des milieux extrêmes et à des conditions de vie difficiles ; ils sont donc généralement spécialisés dans la colonisation des matériaux bruts, à l'exemple de ce lichen, associant un champignon et une algue, et vivant sur ce bloc de granit en Bretagne. Le champignon fournit aux algues protection, alimentation en eau et en minéraux ; en retour, l'algue assure la photosynthèse et donc la synthèse de sucres (une source d'énergie dont elle reverse 20 à 30 % à son protecteur) : une répartition des tâches que nous retrouvons dans l'association plante cultivée-mycorhizes. Le binôme peut vivre et survivre de $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.





◀ **Photo 1.3 : Vignes dans le Jura.** Les mousses sont des végétaux primitifs qui peuvent vivre dans les milieux pauvres et minéraux (trunks d'arbres, rochers, béton, etc.). Elles sont présentes dans tous les sols, y compris les sols cultivés. Lorsqu'elles sont dominantes dans une parcelle agricole, cela peut parfois indiquer une acidification de la surface. Cela peut aussi signifier que le sol est trop « minéral », que les matières organiques ne sont plus digestibles: on assiste à la recolonisation par la vie du milieu, d'abord par des mousses, des lichens, des algues, avant

que des communautés plus complexes ne reviennent vivre dans un milieu plus évolué et enrichi. L'absence de litière et de matière organique en surface accroît le phénomène, tout comme l'application répétée d'herbicides et de fongicides (ce qui est le cas dans ce vignoble).



▲ **Figure 1.1 : Schéma de l'évolution d'un sol à partir de la roche-mère.** Même s'ils sont très jeunes à l'échelle géologique (la plupart de nos sols datent de la dernière glaciation, soit de – 100 000 ans à – 10 000 ans), la pédogenèse est un processus long à l'échelle de l'homme. On estime qu'il faut en moyenne un siècle pour fabriquer un centimètre de sol fertile sous nos climats. Après la colonisation d'un substrat géologique par la vie, un équilibre est atteint après plusieurs millénaires entre des processus opposés: pédogenèse d'un côté, érosion et lessivage de l'autre. On parle alors de climax, un état dans lequel le sol, le climat, la végétation et la faune sont dans un état d'équilibre dynamique stable. Sous nos climats, le climax est généralement la forêt de feuillus. Cependant, cet état peut changer si les conditions du milieu évoluent: changement climatique, changement d'usage anthropique, etc.

1. Cf. Gobat et al., *Le Sol vivant*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2013.

Pendant que le sous-sol minéral est fragmenté et colonisé par la vie, il s'enrichit parallèlement en matières organiques provenant des résidus végétaux et de leurs sécrétions, et des déjections et cadavres des microorganismes et des animaux. Cette abondante ressource organique morte va servir de ressource alimentaire pour une foule d'organismes recycleurs : lombriciens, gastéropodes, petits et grands insectes phytophages, nématodes, champignons décomposeurs, etc. Ces communautés vont aménager et construire le sol afin qu'il leur soit favorable : un habitat solide et résilient pour y résider confortablement en permanence, un milieu aéré pour pouvoir respirer et donc vivre et se reproduire.

TABLEAU 1.1 : DURÉE NÉCESSAIRE À LA FORMATION D'UN HORIZON DE SOL ET À SON ÉQUILIBRAGE AVEC L'ENVIRONNEMENT¹

Litière, matières organiques fraîches (OL)	1 an
Horizon organique humifié (OF, OH)	3 à 10 ans
Horizon d'accumulation minéral dans un podzol (BP)	500 à 4 000 ans
Horizon lessivé (S) et horizon d'accumulation minéral dans un sol lessivé (BT)	6 000 à 10 000 ans
Horizon d'altération de la roche-mère (S)	5 000 ans minimum

▲ Si l'agriculteur n'a aucun impact sur la formation des horizons profonds du sol, il en a sur la pédogénèse en ce qui concerne notamment les horizons organiques qui mettent entre 3 et 10 ans pour se former.

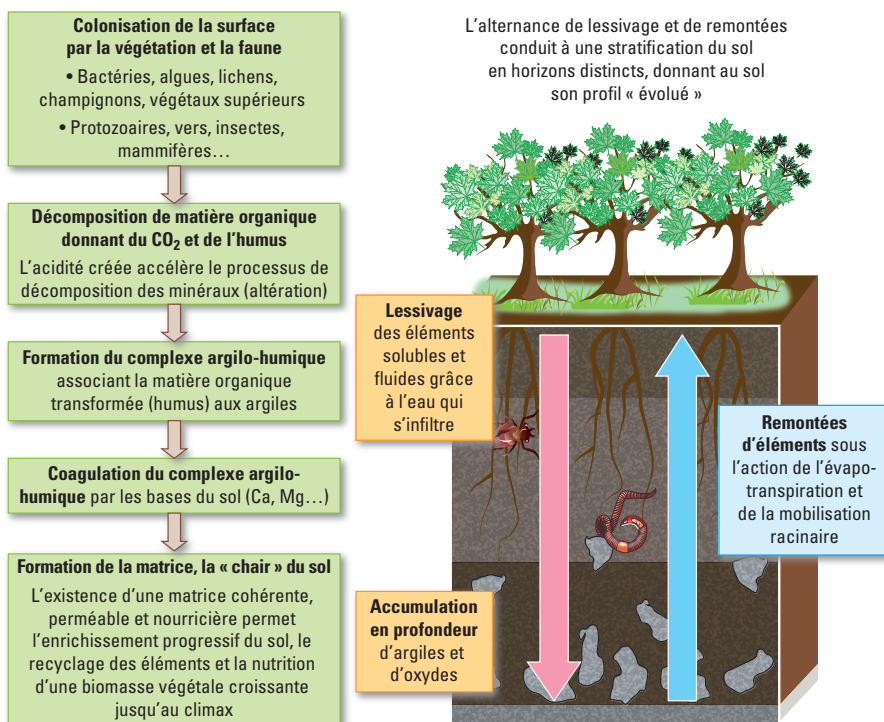
► **Photo 1.4 : Colonisation d'une roche et formation d'un sol.** Les végétaux, en lien avec l'activité biologique, participent à la fracturation et à la décomposition du substrat géologique. Ils captent et permettent l'accumulation des poussières et dépôts atmosphériques (notamment azotés) qui participeront aussi à la fertilité du système en étant réintégrés au sol.

Évolution des sols

La dynamique de création du sol est liée à son activité biologique, elle-même déterminée par le climat et les ressources en éléments minéraux issus du substrat géologique. Des conditions climatiques favorables (chaleur et humidité constantes) permettent des peuplements végétaux et animaux denses et productifs : ces organismes sont une source de matière organique abondante pour l'activité biologique du sol qui sera



elle-même nombreuse et diversifiée et pourra entretenir la fertilité du sol et nourrir en retour des peuplements végétaux et animaux denses et productifs, etc. Lorsque les conditions sont plus difficiles (sécheresse, excès d'eau, acidité, pente, froid, chaleur), le processus est inversé: la production végétale est réduite, entraînant une réduction des ressources pour la vie du sol, etc.



▲ **Figure 1.2: Formation et évolution d'un sol.** On peut voir la vie d'un sol (et la vie en général) comme l'équilibre entre des facteurs de création et des facteurs de destruction (érosion, lessivage des argiles, lixiviation des nutriments). La dégradation et la destruction ne sont pas mauvaises en soi car elles permettent de nouvelles adaptations et l'apparition de nouvelles formes de vie face aux changements du milieu. Bien entendu, si les forces de dégradation deviennent supérieures aux forces de création, le sol tend à la podzolisation ou à la désertification: c'est le cas des déserts arides ou de la haute-montagne, mais aussi des zones désertifiées par une agriculture « minière », le surpâturage, la déforestation et l'urbanisation.

Sous nos climats dits tempérés, les précipitations sont automnales et hivernales, alors que l'évaporation et la transpiration sont printanières et estivales. Il se crée par conséquent une alternance de mouvements d'eau descendants en période humide et ascendants en période sèche. La quantité de pluie annuelle étant plus importante que la quantité d'eau « évapotranspirée », il se produit très progressivement une accumulation des éléments en profondeur: il peut s'agir d'argiles (lessivage ou éluviation), de matières organiques complexées au fer (chéluviation ou podzolisation) ou encore de pertes d'éléments minéraux nutritifs (lixiviation des nitrates, sulfates, calcium, potassium). L'abondance des précipitations, si elle permet une végétation florissante, est également un facteur de lessivage destructif: elle doit être

compensée par une forte production de biomasse qui entraîne l'évaporation d'un maximum d'eau et donc la remontée d'une grande partie de ces mêmes éléments.

► **Photo 1.5: Falaise sur une plage.** L'évolution d'un sol est indissociable de la végétation qui le colonise et le protège.

▼ **Photo 1.6: Essai des 42 parcelles à l'INRA de Versailles.** Dans cet essai sont appliqués depuis 1928 divers fertilisants et amendements sans qu'aucune végétation ne pousse sur le sol laissé nu. Les engrais acidifiants ont un impact sur l'acidification et la déstructuration du sol. Cette expérimentation, si elle est simpliste et extrême, montre cependant à quel point un seul élément (en l'occurrence un engrais ou un amendement) peut avoir un impact très important sur l'évolution et le fonctionnement du sol.



Menaces sur les sols agricoles

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, le sol est un milieu vivant, complexe et autonome. Avec la disparition du chasseur-cueilleur et l'avènement de l'agriculteur, l'homme a commencé à modifier son milieu pour en tirer sa subsistance: supprimer les arbres pour améliorer l'ensoleillement et gagner de la surface, aérer le sol pour le réchauffer et doper la minéralisation, supprimer les indésirables, sélectionner des espèces comestibles faciles à reproduire, amender, drainer, irriguer, etc. Cette artificialisation n'est pas bonne ou mauvaise en soi mais elle peut porter l'équilibre de l'écosystème plus haut (améliorer la productivité et augmenter la diversité) ou au contraire l'épuiser et réduire par conséquent sa productivité voire sa pérennité (désertification). Appliqué à nos systèmes agricoles modernes, cela signifie qu'un système complexe et diversifié devient « durable » (reproductible, économiquement intéressant et plus autonome). À l'inverse, un système simpliste risque fort de se dégrader et de devenir anti-économique à plus ou moins long terme (recours croissant à l'énergie fossile, à la mécanisation et aux intrants de toutes sortes); il devient également polluant, c'est-à-dire qu'il ne se comporte plus comme un système naturel qui absorbe et recycle les flux de matière et d'énergie mais les subit et se dégrade.



▲ Photo 6.1 : Culture de colza en souffrance dans une parcelle fortement dégradée.



◀ **Photo 6.2 : Érosion en Espagne dans le massif des Bardenas Reales.** Un grand nombre de civilisations se sont effondrées suite à l'épuisement et à la désertification de leurs sols. Cette érosion de la fertilité a pu survenir suite à des changements climatiques mais également à cause d'une déforestation et d'une surexploitation des sols: déforestation du Liban, surpâturage en Espagne et en Grèce...

« Il est aujourd'hui difficile de croire que, 300 ans avant Jésus-Christ, de grandes parties du Moyen-Orient étaient couvertes de grandes forêts de cèdres. Elles ont été dévastées à tel point que l'empereur Hadrien a dû ordonner l'interdiction de les abattre au I^{er} siècle avant J.-C.¹ »

Artificialisation des sols, uniformisation des paysages

Des surfaces cultivées en régression

L'imperméabilisation et l'artificialisation des surfaces sous les coups de l'urbanisation et du développement des réseaux de transport ensevelissent le sol sous une couche inerte d'as-



phalte et de béton: il n'est plus qu'une surface aménagée et ne pourra remplir son rôle d'accueil de l'eau et de filtration, d'évaporation ou de terre cultivable. Qui plus est, les villes s'étant généralement développées au cœur de bassins fertiles capables de nourrir des populations importantes, les surfaces sacrifiées sont souvent les plus productives. L'extension de l'agglomération parisienne sur la Brie en est un exemple.

◀ **Photo 6.3 : Paysage de la Brie vu d'avion.**

Le développement des voies de communication et l'urbanisation consomment beaucoup de terres agricoles. En cinquante ans, la France a perdu 20 % de sa surface agri-

cole, soit 7 millions d'hectares (livre blanc SAFER, 2013); 4,5 millions d'hectares ont été délaissés faute de rentabilité mais 2,5 millions, le plus souvent fertiles, ont été consommés

1. Kravčík et al., op. cit

par l'extension du tissu urbain de manière irréversible. Si la population française croît de 2,2 % par an, la superficie des villes augmente quant à elle de 6,8 % par an : entre 2009 et 2013, 314 000 hectares de terres agricoles ont disparu, soit la surface d'un département agricole moyen.

À l'échelle mondiale, on estime que ce sont environ 13 millions d'hectares qui sont perdus chaque année sur les 1 500 millions de surface agricole totale (soit quasiment 1 %), dont 8 millions de façon définitive, par l'urbanisation. Pour compenser cette perte, 15 millions d'hectares sont gagnés chaque année sur la forêt en Amérique du Sud, en Asie et en Afrique. Mais ces hectares conquis sur les biotopes naturels sont souvent des terres marginales fragiles, tandis que la disparition de la végétation aggrave la crise climatique et compromet la biodiversité.

► **Photo 6.4 : Chantier de ligne LGV en Ille-et-Vilaine.** À l'échelle du globe, les terres émergées représentent 29 % de la surface terrestre, les sols « productifs » 18 % et les terres cultivées 2,7 %. Cette surface peut sembler faible, mais elle est en réalité très peu extensible à cause du relief, des villes, de la qualité des terres, de la forêt, etc. En France, en 2015, 6 % de la surface est artificialisée.



Bouleversement du paysage agricole traditionnel

La révolution agricole de ces cinquante dernières années a permis d'augmenter fortement la production agricole mais surtout la production par travailleur dans une économie où l'énergie est beaucoup moins coûteuse que la main-d'œuvre. Cette uniformisation et cette simplification permettent la conduite de systèmes simples qui répondent aux besoins standardisés de l'industrie agroalimentaire. À l'opposé, un hectare de jardin-forêt de Sumatra est beaucoup plus productif et diversifié qu'un champ de blé beauceron, mais il occupe une vingtaine de travailleurs par hectare.

► **Photo 6.5**





Ce changement a conduit à un bouleversement du paysage agricole traditionnel. D'une part, la mécanisation et l'exode rural ont entraîné un agrandissement toujours plus important des parcelles. D'autre part, les prairies, les talus, les haies et les arbres sont devenus non rentables dans une économie agricole fondée sur le pétrole et la machine.

◀ **Photo 6.6 : « Avez-vous un arbre âgé de plus de 500 ans sur votre ferme ? »**. Le maintien de zones non perturbées est primordial pour répondre aux ruptures d'équilibre des systèmes agricoles : il peut s'agir de pullulations (limaces, rongeurs, criquets, etc.), d'épidémies (*Xylella fastidiosa* sur l'olivier, mildiou, etc.) ou encore d'invasions végétales ou animales (ambrosie, frelon asiatique, etc.). Dans un écosystème, plus les espèces sont diversifiées et âgées, plus le nombre d'espèces et leurs interactions sont nombreuses. Cette biodiversité rend le système résilient, c'est-à-dire capable de se rétablir suite à une perturbation. Le degré zéro de résilience est typique d'une culture annuelle où l'on ne garde qu'une seule espèce végétale qui est âgée, au mieux, d'un an. Il s'ensuit que la culture annuelle est très sensible et fragile face aux agressions extérieures, à l'inverse d'un bosquet ou d'une jachère laissés à « l'abandon » et qui développent naturellement des solutions. Cela fait dire à Hervé Covès² que « les zones naturelles de diversité » sont la « mémoire du lieu », le « disque dur des solutions », les zones à partir desquelles peut s'opérer une reconquête du territoire suite à un bouleversement. La réponse est d'autant plus efficace que la structure naturelle est âgée : « Avez-vous un arbre de plus de 500 ans sur votre ferme ? » ; sinon il n'est jamais trop tard pour commencer.

qu'une seule espèce végétale qui est âgée, au mieux, d'un an. Il s'ensuit que la culture annuelle est très sensible et fragile face aux agressions extérieures, à l'inverse d'un bosquet ou d'une jachère laissés à « l'abandon » et qui développent naturellement des solutions. Cela fait dire à Hervé Covès² que « les zones naturelles de diversité » sont la « mémoire du lieu », le « disque dur des solutions », les zones à partir desquelles peut s'opérer une reconquête du territoire suite à un bouleversement. La réponse est d'autant plus efficace que la structure naturelle est âgée : « Avez-vous un arbre de plus de 500 ans sur votre ferme ? » ; sinon il n'est jamais trop tard pour commencer.



◀ **Photo 6.7 : Parcelle agroforestière de Restinclières dans l'Hérault.** La recombinaison des arbres et des cultures de façon adaptée à l'agriculture moderne permet de concilier une haute productivité avec un aménagement favorable du paysage agricole. L'arbre peut être de haut jet ou conduit en haie, en bandes continues ou avec des sujets isolés ; l'usage peut être traditionnel (brise-vent, clôture, bois d'œuvre, chauffage, fruitier, fourrager) ou plus innovant (énergie, chimie verte, fertilisation, matériaux).

2. Technicien à la chambre d'agriculture de Corrèze.

Les argiles lourdes

14



▲ Photo 14.1

Des sols riches mais difficiles à travailler

Différents des argilo-calcaires ou des sols de groie, ces sols sont cependant présents dans les mêmes régions de France. Ils sont soit issus d'un matériau marneux, mélange de calcaire et d'argiles (région de Nancy), soit le résultat d'une sédimentation marine ancienne (argile de Vaux, dans l'Aisne), voire fluviale, comme c'est le cas du marais poitevin ou de l'estuaire de la Gironde; pour ces derniers, l'argile provient de l'érosion des plaines et plateaux environnants et s'est accumulée dans les zones basses.

Avec des taux d'argile compris entre 40 et 50 %, voire frôlant les 80 % pour certains, ces sols sont à juste titre qualifiés de lourds. Ils sont capricieux à travailler, durs et impénétrables lorsqu'ils sont secs, plastiques et collants en conditions humides. Ils sont essentiellement composés d'argiles de type smectite, composées de trois feuillets dans lesquels l'aluminium a été partiellement remplacé par des ions magnésium et calcium, ce qui leur confère une capacité de retrait et de gonflement exceptionnelle. Dans les cas où l'argile est quasiment pure, les variations de volume peuvent aller du simple au double, créant ces fissures béantes que l'on peut observer en été.

Les argiles gonflantes leur attribuant une très bonne capacité d'échange (CEC), ces sols ont peu de problèmes d'acidification malgré un risque de lessivage rapide des ions calcium par l'intermédiaire des fissures. La remontée biologique des éléments par les racines des plantes suffit en général à entretenir l'état calcique de surface. Si, toutefois, un apport de calcium s'avère nécessaire, le gypse (sulfate de calcium), moins vite lessivable et n'ayant pas d'impact sur le pH, est à privilégier: il stabilise durablement la structure, sans risque de la resserrer comme peut le faire la dolomie (chaux magnésienne dont l'ion magnésium a tendance à « resserrer » les colloïdes).

Le « self-mulching », une (trop) forte capacité d'autostructuration

Grâce au gonflement de leurs argiles, ces sols n'ont a priori pas de problème de structuration. Lors du retrait, la terre se morcelle en de nombreux prismes avec des fissurations verticales qui peuvent dépasser le mètre de profondeur; la progression du dessèchement à l'intérieur des blocs finit ensuite le travail de structuration horizontale.

Cet avantage notable est en revanche un calvaire pour les racines et l'activité biologique: les fissures peuvent entraîner des ruptures racinaires en cas de sécheresse prolongée, ce qui en fait généralement un terrain peu adapté aux cultures pérennes telles que la luzerne; cette fissuration excessive favorise aussi une évaporation violente et profonde, vecteur d'échaudage pour les céréales. Par ailleurs, transformée en petits blocs désagrégés, une partie des horizons de surface peut s'écrouler sur elle-même et remplir les crevasses; ce phénomène est fortement accentué par tout travail du sol réalisé en période sèche. Pour finir, lors de la réhydratation, le gonflement de l'ensemble produit d'importantes forces

de compression, pouvant entraîner une reprise en masse et la remontée de certains prismes. Écrasées et torturées, les racines en forme « d'arêtes de poisson » témoignent de ces difficultés. Ce dessèchement rapide et cette violente fissuration ne fournissent pas non plus un milieu très favorable à l'activité biologique et notamment aux vers de terre. Mais la forte capacité d'autostructuration les remplace en partie.

Lorsque les pluies reviennent, et avant que les argiles ne se remettent à gonfler, l'eau est rapidement éliminée en profondeur où elle peut se retrouver piégée avec la matière organique qu'elle a entraînée dans sa course en suivant les fentes de retrait. Une fois le profil humecté, l'eau piégée circule difficilement. L'association de ces deux phénomènes entraîne ainsi de l'hydromorphie ponctuelle, qui se traduit par une réduction des ions ferriques en ions ferreux : cela donne à ces sols argileux leur couleur gris-vert caractéristique.

Gros consommateurs de matières organiques avec leur excellent niveau d'aération, ces sols ont des taux d'humus compris entre 3 et 5 % dans les trente premiers centimètres. Si la teneur peut sembler correcte au premier abord, ce niveau est cependant faible étant donné la masse d'argile présente qui va avoir tendance à lier la matière organique et à la rendre indisponible aux micro-organismes. En l'absence d'un complexe argilo-humique suffisant, ces sols adoptent une structure encore plus polyédrique, qui se dessèche vite et n'est pas toujours favorable à la fabrication d'un lit de semence (mauvais contact entre la terre et la graine).

De fortes économies liées à la simplification du travail du sol

Leur forte capacité d'autostructuration est un formidable atout pour les agriculteurs vivant de ces sols. L'eau est facilement évacuée hors du lit de semence et bien qu'elles puissent être plastiques en conditions humides, les zones de compaction ne subsisteront pas une fois le profil sec. Par ailleurs, puisque ce sont des terres qui requièrent énormément de puissance, toute réduction de travail du sol (en profondeur et en nombre de passages) se traduira par des économies très significatives. Les interventions en conditions sèches se résument le plus souvent à un déplacement de blocs plutôt qu'à un travail effectif de structuration proprement dit, et augmentent fortement le risque de faire descendre, par brassage, le précieux mulch de surface (matière organique et argiles flocculées) ; phénomène qui sera ensuite amplifié par la descente rapide des premières pluies dans le sous-sol.

Le non-retournement du sol permet également de limiter la minéralisation de l'humus et d'enrichir mécaniquement la surface en matière organique, et donc de développer en quantité et en qualité le complexe argilo-humique (CAH) de cette zone. Avec quelques années de recul, cette stratégie aboutit à la fabrication d'un « coussin de sécurité » qui, d'une part, limite la fissuration excessive et l'évaporation de l'eau et, d'autre part, facilite la préparation des semis en créant un lit de semence plus intime et donc une meilleure qualité de levée avec le minimum de préparation.

Enfin, le semis direct sur couvert végétal vert ou vivant est une astuce très intéressante dans ce type de situation. En plus de bénéficier des avantages agronomiques du couvert (comme c'est le cas pour tous les sols), la présence d'une végétation verte au moment du semis isole la terre de l'acier du semoir et réduit très significativement les risques de collage et de bourrage. Sans compter que la présence d'un système racinaire vivant évite la descente de terre fine dans les fentes et réduit considérablement les risques de lissage du sillon. Vue sous cet angle, la suppression du travail du sol, au lieu de réduire les fenêtres d'intervention, les élargit, tout en apportant plus de sécurité et de flexibilité.



▲ **Photo 14.2 : Argile lourde.** Ce cliché, pris en Dordogne, montre bien le côté très argileux et organique de ce type de sol. Bien que productifs (en fonction des zones et des climats), il s'agit de sols assez compliqués à gérer au quotidien. La simplification du travail du sol et surtout le semis direct permettent de faire d'importantes économies de traction et de mécanisation et apportent des avantages agronomiques notables.



▲ **Photo 14.3 : Sol du marais vendéen.** L'un des plus gros défauts de ce type de sols est leur capacité de fissuration si caractéristique en été. Bien que le retrait apporte de la structure et de l'organisation verticale en profondeur, il occasionne des pertes d'eau conséquentes et rapides et nuit tellement à l'enracinement et à l'activité biologique qu'il est globalement négatif. La stratégie consiste à couvrir la surface par un mulch organique afin de minimiser l'ouverture du sol et d'y conserver le maximum d'humidité.

Traces de ruissellement et d'érosion



▲ **Photo 18.7 : Sédimentation d'un flux de terre arraché par l'eau à l'amont de cette parcelle du Lot-et-Garonne.** Dans cette parcelle en pente, les éléments fins (limons) qui ont été arrachés en amont ont été entraînés en aval et ont sédimenté. On observe également une ravine qui s'est formée, indiquant le chemin préférentiel de l'eau de ruissellement.

La battance s'accompagne souvent de traces de ruissellement et d'érosion hydrique dans les secteurs les plus pentus de la parcelle qui collectent les flux d'eau. L'eau, qui n'a pu s'infiltrer dans le sol, a fini par ruisseler en surface, entraînant avec elle des particules minérales et organiques arrachées à la surface du sol. Une érosion importante signifie une perte de sol irrémédiable, puisqu'il faut environ un siècle pour former 1 cm de sol fertile sous nos climats.

L'érosion est bien entendu fonction de la nature des sols, de l'agressivité du climat, et de la pente, mais elle dépend également beaucoup de l'activité agricole qui peut amplifier le phénomène : sol nu et fortement émietté avant des épisodes de pluie ou de vent, absence ou faiblesse de la végétation, relief et longueur des pentes, surpâturage, etc.

TABLEAU 18.1 : CARACTÉRISATION DE L'ÉROSION HYDRIQUE	
Description	Signification agronomique
Absence de ruissellement	Excellent
Ruissellement d'eau claire uniquement	Très bien
Ruissellement d'eau trouble, érosion diffuse	Bien, à améliorer
Présence de quelques griffes d'érosion (profondeur < 5 cm), pas tous les ans	Bien, à améliorer
Présence de griffes d'érosion (profondeur < 5 cm), régulièrement (tous les 2 à 4 ans)	Érosion faible à moyenne
Présence de rigoles peu profondes (5 à 10 cm de profondeur), régulièrement (tous les 2 à 4 ans)	Érosion moyenne, modifier les pratiques culturales
Présence de rigoles profondes (10 à 30 cm de profondeur), régulièrement (tous les 2 à 4 ans)	Érosion importante, modifier rapidement les pratiques culturales
Présence de ravines (profondeur > 30 cm)	Érosion grave

Note: L'érosion n'est pas toujours un phénomène aussi facilement quantifiable; on observe plus difficilement l'érosion éolienne (nuages de poussière), l'érosion diffuse (eau boueuse) ou l'érosion hypodermique (arrachement de sol sous la surface par ruissellement sur un fond de labour par exemple).

Source: A. Delaunois, *Guide de description des sols*, Chambre d'agriculture 81 (Tarn), 2007



◀ **Photo 18.8 : Bordure de parcelle dans le Lot-et-Garonne.** L'érosion est ici extrêmement visible et par conséquent très importante. On observe la mise à nu de la roche sous-jacente, ainsi que l'accumulation de particules sableuses laissées par le ruissellement: cela signifie que les particules les plus fines (argiles, limons, matières organiques et fertilisants) sont déjà sorties de la parcelle.

► **Photo 18.9: Érosion en Algérie.** Si la géologie, le vent et l'eau façonnent lentement les paysages, l'action de l'homme est souvent beaucoup plus rapide. De brusques changements de pente, la formation de terrasses ou de chemins encaissés traduisent souvent des problèmes d'érosion. La photo ci-contre, prise en Algérie, est un exemple typique. De la même manière, le décapage des socles des poteaux électriques ou des clôtures renseigne sur l'ampleur de l'érosion au fil des années.



► **Photo 18.10: Traces de ruissellement dans une parcelle en semis direct.** Lors de pluies particulièrement violentes, un ruissellement parfois important peut être observé, y compris sur des sols bien structurés et couverts. Dans ce cas, c'est la limpidité de l'eau à la sortie qui indiquera le niveau d'érosion auquel est soumis le sol.



Traces d'activité biologique

La plupart des organismes vivant dans le sol sont peu ou pas visibles à l'œil nu ; à l'inverse, l'activité des vers de terre (lombrics) l'est parfaitement et reflète bien le fonctionnement du sol. Plus leurs traces sont visibles (déjections sous forme de turricules et « cabanes »), plus le sol est actif, c'est-à-dire structuré, vivant, riche en matières organiques et peu perturbé par le travail du sol et les pesticides.

► **Photo 18.11: Cabanes de ver de terre.** Ici, on peut observer des « cabanes » de lombric, comme aiment à les appeler nos cousins québécois: il s'agit de l'accumulation de débris végétaux par les vers de terre anécliques autour du débouché de leur galerie à la surface. Cette cabane leur sert de protection contre les intempéries et les prédateurs et de garde-manger. Le comptage de ces cabanes est facile et donne un aperçu immédiat du niveau d'activité biologique du sol et de la macroporosité potentielle. Attention, toutefois, cela ne renseigne pas sur l'état de la structure sous-jacente: la présence de nombreuses déjections en surface peut aussi indiquer que le sol est compacté mais que ses habitants sont en train de recréer de la porosité !





◀ **Photo 18.12: Compter les galeries.** Sur cette photo sont entourées en rouge les traces d'activité biologique (cabanes, galeries et turricules): le bilan est moyen puisqu'il faut compter au moins dix turricules/m² de gros lombrics pour estimer une activité biologique suffisante. Les vers de terre craignant le froid et le sec, ce type d'observation ne peut avoir lieu qu'en période d'activité maximale, soit à l'automne et au début du printemps.



▲ **Photos 18.13, 18.14 et 18.15 : État du sol après un chantier de récolte d'ensilage.** Seules les zones épargnées par le passage de l'ensileuse et des remorques gardent des traces d'activité biologique sous formes d'agrégats grumeleux: sur ces surfaces seulement la continuité avec l'atmosphère est assurée pour l'infiltration de l'eau et les échanges gazeux. Les zones de passages, quant à elles, souffrent de compaction et mettront plus de temps à être réparées biologiquement en raison de la stagnation de l'eau et de l'asphyxie. Dans ce cas de figure, il conviendra de passer rapidement un outil à dents pour ouvrir ces zones mais sans aller trop profond, ni faire de terre fine; l'idéal serait de coloniser rapidement le sol avec les racines d'une culture ou d'un couvert.

Il abrite un quart de la vie terrestre identifiée, nous porte, purifie notre eau, recycle nos déchets, régule notre climat et nous nourrit chaque jour. Le sol est ce milieu très peu connu et encore peu étudié, alors qu'il est fondamental pour l'agriculteur d'en comprendre l'exact et fragile fonctionnement.

En effet, le paysan a tout intérêt à gérer ses sols de manière à en améliorer la fertilité et à garantir sa bonne santé, afin d'assurer la sécurité économique et l'autonomie de son système agricole. L'impact négatif de l'agriculture n'est pas une fatalité : il appelle à une prise de conscience et à une mise en œuvre de pratiques, aujourd'hui éprouvées.

Dans cet ouvrage, les auteurs se font tour à tour agronomes, naturalistes, écologues, pédologues, chimistes ou géologues pour exposer les problématiques du sol ainsi que l'écosystème très complexe qu'il renferme. Mais ils conservent d'abord et avant tout le regard du praticien agricole qui doit le cultiver et en vivre.

Ce livre propose donc une démarche cohérente et pratique pour comprendre le sol, apprendre à l'observer et à le diagnostiquer :

- Fonctionnement et problématique d'un sol agricole
- Dégradation des sols agricoles et optimisation des techniques culturales
- Tour de France des sols agricoles
- Observation et diagnostic d'un sol

***Matthieu Archambeaud** découvre les techniques de semis direct en Asie du Sud-Est, après des études de biologie et d'écologie. Passionné d'agronomie et d'écologie, il travaille au développement de systèmes de production fondés sur la connaissance des espèces vivantes et de leurs interactions. Il forme et conseille les agriculteurs et les techniciens à la mise en œuvre de l'agroécologie, aussi bien en agriculture de conservation des sols, qu'en agriculture biologique ou qu'en viticulture. Il anime depuis 2007 le site [Internet agriculture-de-conservation.com](http://Internet.agriculture-de-conservation.com).*

***Frédéric Thomas** est agriculteur et spécialiste des techniques de conservation des sols depuis une vingtaine d'années. En 1999, il crée la revue agronomique TCS devenue depuis la référence des agriculteurs, des techniciens et des chercheurs, intéressés par la mise en œuvre des pratiques agricoles alternatives. Il forme et accompagne les producteurs tournés vers le non-labour et le semis direct, et plus largement vers l'agronomie et les systèmes innovants, en France et à l'étranger. Par ailleurs, il met en œuvre son savoir et son expérience dans sa ferme familiale en Sologne, dans des conditions difficiles.*

ISBN : 978-2-85557-458-5

