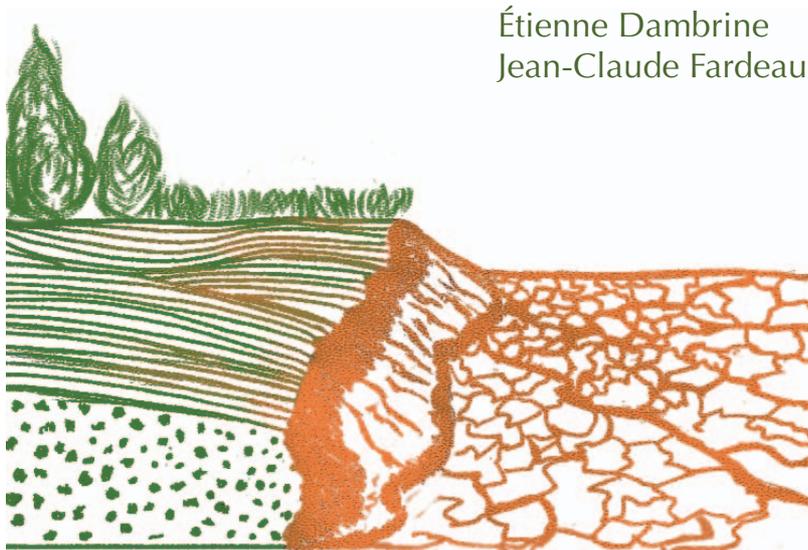


# 80 CLÉS POUR COMPRENDRE LES SOLS

Jérôme Balesdent  
Étienne Dambrine  
Jean-Claude Fardeau



éditions  
**Quæ**



# 80 clés pour comprendre **les sols**

Jérôme Balesdent, Étienne Dambrine,  
Jean-Claude Fardeau

éditions  
**Quæ**

## Les auteurs

**Jérôme Balesdent** était ingénieur agronome, pédologue, docteur en sciences du sol et directeur de recherche à l'Inra d'Aix-en-Provence. Ses travaux portaient sur les matières organiques, l'écologie microbienne, les cycles biogéochimiques et l'évolution des sols.

**Étienne Dambrine** est pédologue, auteur d'une thèse sur les sols de haute montagne. Il a développé des recherches sur les cycles biogéochimiques dans les écosystèmes forestiers et lacustres, à l'Inra et à l'Université de Savoie.

**Jean-Claude Fardeau** était ingénieur agronome et docteur en sciences du sol. Chercheur au CEA et à l'Inra, pionnier des méthodes de la radio-agronomie, il est mondialement connu pour ses recherches sur la disponibilité des éléments minéraux.

*Jérôme Balesdent est décédé avant la réédition de cet ouvrage.  
Ce livre perpétue sa mémoire.*

Cet ouvrage a fait l'objet d'une première publication, illustrée, en 2015, dans la collection Clés pour comprendre.

© Éditions Quæ, 2023

ISBN papier : 978-2-7592-3826-2

ISBN PDF : 978-2-7592-3827-9

ISBN ePub : 978-2-7592-3828-6

Éditions Quæ

RD 10, 78026 Versailles Cedex

Le code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup>.

# Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>5</b>
<b>Chapitre 1. Entre sol et sous-sol.....</b>	<b>9</b>
1. Qu'est-ce qu'un sol ? .....	9
2. De quoi le sol est-il constitué ?.....	10
3. Combien de temps faut-il pour former un sol ? .....	14
4. Sable, graviers et rochers font-ils partie du sol ?.....	15
5. Comment se fabrique un sol ?.....	16
6. Tous les sols se ressemblent-ils ? .....	18
7. Quel pH a le sol ? .....	19
8. Les sols ont-ils des noms ?.....	20
9. Comment le sol peut-il devenir pierre ? .....	21
10. Qu'est-ce que les argiles ont de si particulier ?.....	23
11. Le sol est-il plus riche en minéraux ou en matière organique ? .....	25
12. Comment le sol retient-il les éléments nutritifs ?.....	26
13. Que fait l'eau dans un sol ? .....	27
14. La Terre manque-t-elle d'eau ? .....	29
15. Y a-t-il des terres salées ? .....	31
16. Quels trésors recèlent les puits ? .....	34
17. Y a-t-il de la Terre dans l'espace ? .....	36
18. Où sont passées les météorites ? .....	37
19. En quoi les sols lunaires sont-ils différents des sols terriens ? .....	38
20. À quoi nous servent les sols ? .....	39
<b>Chapitre 2. Le sol vivant .....</b>	<b>43</b>
21. Qu'est-ce qui grouille et fossoie dans les sols ?.....	43
22. Les habitants du sol sont-ils paisibles ?.....	45
23. Quelles bactéries trouve-t-on dans les sols ?.....	47
24. Qui a la plus belle maison de terre ?.....	49
25. Qui fait les plus gros terriers ? .....	50
26. Pourquoi les oiseaux avalent-ils des cailloux ?.....	51
27. Quel est le plus grand organisme vivant sur Terre ? .....	52
28. À quoi sert le sol pour une plante ? .....	53
29. Les champignons font-ils pousser la forêt ? .....	55
30. Y a-t-il plus de racines ou de champignons dans le sol ?.....	56
31. Jusqu'où vont les racines des arbres ?.....	57
32. Comment le pin et le châtaignier poussent-ils sur les sols pauvres ?.....	58
33. D'où vient l'humus des forêts ? .....	58
34. Les matières organiques se renouvellent-elles ? .....	59
35. Les lichens ont-ils inventé le sol ?.....	61
36. Des déserts bien vivants ?.....	62
37. Les sols peuvent-ils digérer nos déchets ?.....	63
38. Les plantes peuvent-elles vraiment dépolluer des sols ?.....	65
39. Les champs maudits sont-ils un mythe ? .....	67
40. Peut-on manger de la terre ?.....	68
41. Vers une empreinte génétique des sols ? .....	69

<b>Chapitre 3. Sol et agriculture .....</b>	<b>73</b>
42. Comment les alluvions ont-elles nourri les anciennes civilisations ? .....	73
43. À quels sols doit-on les « greniers à blé » ? .....	76
44. Où se trouve le sol le plus riche du monde ? .....	79
45. Le maïs peut-il pousser n'importe où ? .....	80
46. Depuis quand se pratique la rotation de cultures ? .....	84
47. L'alternance des cultures est-elle nécessaire à la terre ? .....	85
48. Pourquoi cultiver plusieurs espèces en même temps ? .....	88
49. Les vers de terre ont-ils déserté nos champs ? .....	89
50. Comment la luzerne et le trèfle peuvent-ils enrichir la terre ? .....	91
51. Les tracteurs sont-ils trop lourds ? .....	93
52. Est-il vraiment nécessaire de labourer ? .....	95
53. Quels sont les impacts des haies végétales ? .....	97
54. L'agriculture peut-elle vivre sans fertilisants ? .....	99
55. Faut-il fertiliser la forêt ? .....	101
56. Où vont les pesticides ? .....	103
57. Les pesticides empoisonnent-ils la terre ? .....	106
58. Apporte-t-on trop d'azote aux sols ? .....	108
59. Pourquoi la disponibilité du phosphore est-elle cruciale ? .....	110
60. Quels sont les enjeux de l'agriculture écologiquement intensive ? .....	111
61. Fatigue des sols : mythe ou réalité ? .....	113
<b>Chapitre 4. Sol, risques et climat .....</b>	<b>115</b>
62. Pourquoi recevons-nous la poussière du Sahara ? .....	115
63. Le sol fabrique-t-il l'atmosphère ? .....	117
64. Le sol peut-il influencer le climat de notre planète ? .....	119
65. Comment le changement climatique va-t-il influencer nos sols ? .....	121
66. Que se passe-t-il s'il y a trop d'eau dans les sols ? .....	123
67. Le sol est-il un puits de carbone ? .....	125
68. Pourquoi l'érosion est-elle plus forte aujourd'hui ? .....	127
69. Comment conserver le sol ? .....	129
70. Radioactif, le sol ? .....	131
71. Pourquoi le sol de la forêt amazonienne est-il si fragile ? .....	134
72. L'acidité des sols réduit-elle la biodiversité ? .....	135
73. Les sols sont-ils sédentaires ? .....	137
<b>Chapitre 5. Les métamorphoses du sol.....</b>	<b>139</b>
74. Qui incarne la fertilité des sols ? .....	139
75. Comment fabrique-t-on les maisons de terre ? .....	140
76. Existe-t-il des sols vierges ? .....	141
77. La terre porte-t-elle des verres ? .....	143
78. Quels sont les secrets du pot de terre ? .....	145
79. Les sols ont-ils de la mémoire ? .....	147
80. Vers une culture hors sol ? .....	149
<b>Post-scriptum.....</b>	<b>152</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>153</b>
<b>Crédits iconographiques.....</b>	<b>155</b>

# Introduction

Questionner le sol, n'est-ce pas lui reconnaître sa place d'être vivant à part entière, et pas seulement celle d'un bien, d'un moyen, d'un matériau ou d'une ressource ? Nos sols ont été et sont encore pour beaucoup comme un parent proche, tendre et rebelle, fidèle et capricieux, sensible, odorant ou malodorant, sain, mais parfois malade... Il s'éduque, s'engraisse, se cultive, se retourne, se relève, s'épuise, se perd... Terriens nous sommes, et produits d'un terroir. Ou nous l'étions...

Le sol source de vie est présent dans nos mythes fondateurs, nos religions, notre culture. Parce que l'agriculture alimente depuis plus de dix mille ans nos sociétés, et que la fertilité du sol conditionne la production alimentaire, son affaiblissement ébranle les civilisations. Jean Boulaïne attribuait ainsi à l'épuisement des sols en phosphore la stagnation des rendements céréaliers qui avaient conduit au déclenchement de la Révolution française. Jared Diamond, dans son ouvrage *Collapse*, montre que les civilisations de l'île de Pâques et des Mayas s'effondrent lorsque les sols sont épuisés. Bien sûr, les causes en sont multiples.

Le sol est une surface que l'on peut vendre et acheter et un volume que l'on peut mettre en valeur. Arpenteurs, notaires, géographes, juristes sont les métiers de la surface. Le volume est l'affaire des pédologues, cette sorte de prospecteur-cartographe des propriétés des sols, des agronomes, qui se préoccupent de la mise en valeur des sols à des fins agricoles, et plus généralement des scientifiques des sols, qui étudient l'ensemble de leurs propriétés comme le produit d'une interaction complexe entre roche, relief, climat, biocénoses, temps (la durée) et l'homme. Évidemment, le prix de la surface donné par le notaire, ou estimé par un État qui loue ses terres, devrait dépendre du potentiel de production estimé par l'agronome, des propriétés intrinsèques analysées par les scientifiques des sols. Mais pas seulement. On roule et on bâtit sur la surface, l'eau sourd du volume... le cultivateur n'est pas le seul utilisateur du sol. Ces usages multiples, c'est aussi l'affaire de l'économiste.

En France, la surface a une valeur et le volume n'en aurait presque pas, ou plus. Placez un panneau « Terre à vendre » devant votre maison, personne ne viendra ; presque partout, il vous faudra la donner pour ne pas la perdre. Pourtant, il s'agit d'une ressource indispensable, non renouvelable à court et moyen terme. Quel paradoxe ! Un autre : dans tel vignoble

d'une zone d'appellation d'origine contrôlée très cotée du Sud-Ouest, les propriétaires, constatant l'état de dégradation avancé des sols de quelque parcelle, l'ont dégarnie de sa partie supérieure et remplacée par une terre de meilleure qualité prélevée à faible distance dans une zone peu cotée. Nos sols seraient-ils une survivance périmée, une valeur marginale, un simple support mécanique à des spéculations ? Ailleurs, dans des pays plus pauvres et moins peuplés, où surface et mise en valeur ne coûtent rien ou presque, des compagnies privées (qui peuvent être les nôtres) voire des États achètent d'immenses surfaces, et l'usage qu'ils en font contraint les sociétés locales et conditionne leur devenir.

Dans le même temps, l'Union européenne répertorie huit menaces les plus importantes pour les sols, contre lesquelles il faut lutter : érosion, tassement, salinisation, perte de matières organiques, perte de biodiversité, contamination, imperméabilisation, inondations et glissements de terrains.

Dans le vaste débat qui lie l'augmentation des gaz à effets de serre et les changements climatiques, le sol occupe une place centrale, car, suivant la manière dont il est géré, il peut accumuler ou déstocker une masse considérable de matière organique, c'est-à-dire de CO<sub>2</sub>. Or cette matière organique soutient sa fertilité et alimente l'extraordinaire diversité des organismes qui l'habitent.

Tous ces enjeux environnementaux seraient-ils liés, et pourrait-on gagner sur tous les tableaux ? Globalement, oui. Localement... pas nécessairement. La vigne aime les sols pierreux, les carottes le sable, les villes le bitume... et nous aimons les trois ! L'imagination n'est pas interdite : on pourrait mettre les carottes sur les toits et les vignes sur les gravats ! Mais si l'on veut alimenter une population mondiale croissante, il faudra bien protéger nos meilleures terres à céréales. Et nos exigences justifiées de qualité de vie ne peuvent s'accommoder de sols pollués, maltraités, car ceux-ci conditionnent la qualité de nos produits, donc de notre santé, mais aussi, et c'est essentiel, notre plaisir de savourer. Devant ces enjeux immenses et de grande actualité, les polémiques et les opinions manichéennes ont tendance à prendre le dessus sur l'analyse et l'éclairage des choix : « les sols sont morts » ; « l'agriculture biologique ne peut pas nourrir la planète » ; « les sols sont malades ou pollués »... Le but premier de cet ouvrage est de donner à chacun quelques connaissances de base, en particulier physiques, biologiques, écologiques, indispensables pour suivre ces débats, ou tout simplement pour le plaisir de découvrir ce monde caché merveilleux qu'est le sol.

Ce petit livre est écrit par trois compagnons de longue date de la science des sols. Jean-Claude a cassé son soc juste avant la fin de son sillon, Jérôme et Étienne l'ont complété, sans changer de coutre, en réglant un peu le versoir. Véronique Leclerc et Sylvie Blanchard nous ont sollicités, guidés, relancés, mis en pages et en images avec constance et doigté. Nous les remercions très chaleureusement.



# Chapitre 1

## Entre sol et sous-sol

### 1. Qu'est-ce qu'un sol ?

De façon générale, c'est la surface de la terre, sur laquelle nous évoluons. Le mot sol peut prendre des significations différentes selon celui qui en parle. Pour l'architecte, ce sera le plancher, construit ou aménagé pour notre circulation. Pour l'économiste ou le juriste, ce sera un bien, dit foncier : un espace de terrain ou de territoire, régi par des droits et sujet à diverses utilisations. Le sol qui nous intéresse ici est ce qu'il y a sous cette surface : c'est le sol des naturalistes. Il s'agit d'une couche de quelques décimètres à plusieurs mètres d'épaisseur, formée par l'interaction entre la roche (la lithosphère), l'air et les précipitations (l'atmosphère) et les organismes vivants (la biosphère). C'est un milieu unique, à la fois matériau et monde vivant. On peut faire un parallèle avec l'autre grande surface de notre planète, l'océan. Ce terme désigne à la fois la surface sur laquelle se déplacent les bateaux et qui est représentée sur les cartes, et toute la couche d'eau qui est en dessous, avec ce qu'elle contient – algues, poissons, etc. – et ce qui s'y passe – sa biologie, ses échanges physiques et chimiques. Sur les continents, il a aussi tout un monde sous nos pieds : le sol. Il est moins épais que son frère salé, mais tout aussi riche. Bien que familier, il reste mystérieux et nous fournit bien des services.

### **Depuis quand étudie-t-on les sols ?**

Les agronomes de l'Antiquité chinoise, romaine ou du Moyen Âge arabe témoignent, dans leurs traités, d'observation des sols et de savoir-faire empiriques qu'ils en ont tirés. De réelles études scientifiques sont aussi rapportées par des savants de la Renaissance comme Bernard Palissy, céramiste, géologue et agronome. Mais l'avènement de la chimie, entre 1770 et 1800, a constitué un événement majeur. Lavoisier énonça les principes de la conservation de la matière et, en grand agronome expérimentateur, expliqua les grandes lignes du fonctionnement du système eau-sol-plante-atmosphère. Dans la foulée, la découverte, à la suite de travaux comme ceux de l'Anglais Priestley, que les plantes prélèvent leur carbone dans l'atmosphère et non pas dans le sol met fin à la théorie selon laquelle l'humus était à l'origine de la matière végétale, théorie qui avait régné de l'Antiquité romaine jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle.

L'agronomie moderne, complétée par les découvertes microbiologiques de Pasteur, s'est ensuite développée considérablement tout au long du XIX<sup>e</sup> siècle. Un autre grand tournant a eu lieu à la fin de ce siècle : des scientifiques, comme E.W. Hilgard aux États-Unis et Vassili Dokoutchaev en Russie, analysent le sol selon une approche intégrée, non plus comme un matériau géologique, mais comme une entité, résultant d'une genèse et d'une évolution propre, distribuée dans l'espace en fonction des caractéristiques de la géologie, de la végétation et du climat. Ils sont les véritables pères de la science moderne des sols, la pédologie. Philippe Duchaufour (1912-2000) et Jean Boulaine (1922-2012) furent de grands pédologues français ; on doit d'ailleurs à ce dernier une remarquable Histoire des pédologues et de la science des sols.

## **2. De quoi le sol est-il constitué ?**

D'abord de minéraux. Il y a ceux des roches qui ne sont pas encore transformés, mais simplement libérés par une désagrégation chimique ou physique comme l'action du gel. On parle de « minéraux primaires » : les grains de quartz, de feldspath, de mica ou bien de pyroxène provenant des granites ou des laves. Ce sont les plus gros morceaux dans les sols : leurs tailles vont de quelques centièmes de mm à quelques mm de diamètre. Et puis il y a des

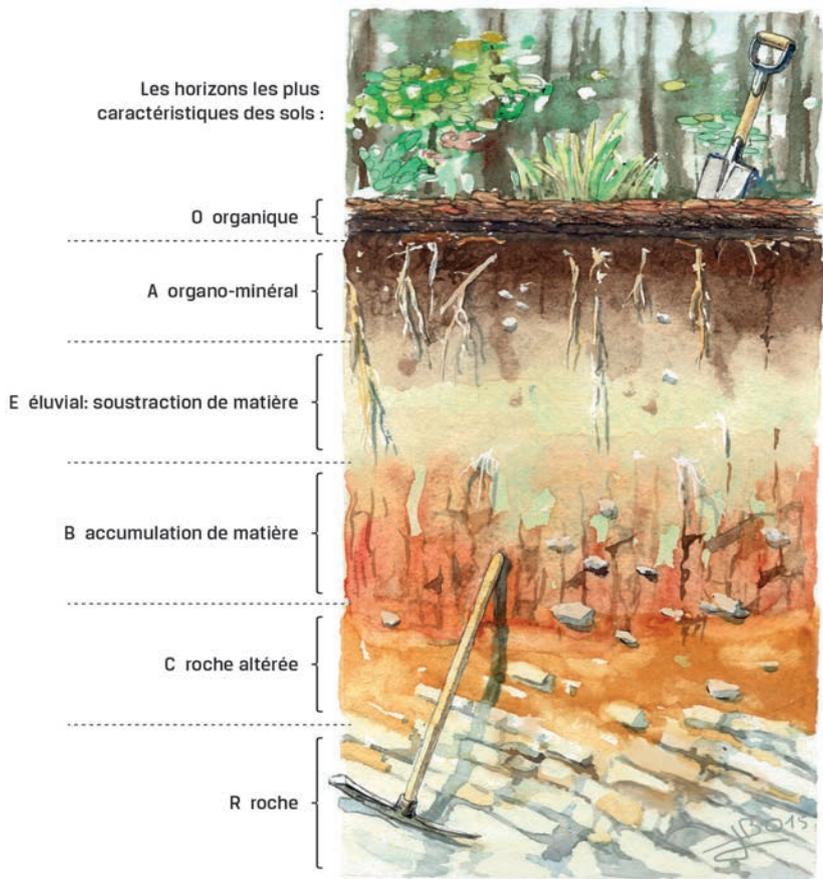
minéraux secondaires, qui se sont formés dans les sols eux-mêmes à partir des premiers, sous l'action de la pluie et de l'oxygène de l'air, des acides et du gaz carbonique libérés par les plantes et les microorganismes. Les plus précieux sont les argiles. Ils sont faits des atomes de silicium et d'aluminium de la roche, combinés avec l'oxygène et l'hydrogène de l'eau, réorganisés en feuilles de quelques millièmes de millimètre d'épaisseur et, au plus, de millièmes de mm de longueur. D'autres constituants secondaires sont les oxydes et hydroxydes du fer et de l'aluminium, termes ultimes de l'oxydation des minéraux au contact de l'atmosphère. Le fer des roches rouille, ce qui donne aux sols leurs belles couleurs jaunes, marron, orange ou rouges. Beaucoup de roches dites sédimentaires comme les schistes, les argiles, les marnes et les calcaires contiennent déjà ces minéraux secondaires, issus de l'érosion de sols anciens. Une fois ces roches émergées, ces minéraux seront repris dans un nouveau cycle de formation des sols.

Ensuite il y a les matières organiques. Les organismes vivants et morts, ainsi que les microbes qui les décomposent, libèrent dans le sol les briques élémentaires de leurs molécules : acides aminés, sucres, lipides, composés phénoliques, etc. Ces molécules s'associent entre elles par des liaisons faibles pour former des structures supramoléculaires : les composés humiques (de humus, « la terre », en latin). Elles peuvent également se lier aux argiles et former des associations organo-minérales. Les matières organiques aussi ont une réactivité extraordinaire. Elles lient les minéraux entre eux et retiennent de nombreux éléments nutritifs.

Autres contenus du sol : de l'eau et des solutions. Elles contiennent calcium, magnésium, potassium, sodium, ammonium, chlorures, sulfates, bicarbonates, nitrates, qu'elles vont transporter vers les rivières ou les racines des plantes.

Mais ce n'est pas tout, car un sol comprend aussi les organismes qui y vivent : racines, champignons, bactéries et invertébrés.

Tous ces composants sont organisés en couches que l'on nomme horizons, qui se sont formées lors du développement du sol. Il y a un grand nombre de types d'horizons différents, mais on rencontre assez fréquemment une succession, de haut en bas, d'horizon O (organiques), A (organo-minéraux), E (pour « éluviation ») appauvris en argiles ou oxydes, B d'accumulation d'argiles, d'oxydes ou d'autres composants, S ou C d'altération de la roche, et R de roche dure non altérée.



### Un exemple des constituants d'un sol

Dans un cube de  $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$  d'un sol sur limon du bassin parisien (luvisol), sous prairie, un petit matin de printemps, il y a :

- 520 litres de solide
- + 480 litres de vide, remplis ce jour-là de 320 litres d'eau et 160 litres d'air.

.../...

.../...

- **Soit 1 350 kg de solides, faits de :**
  - **1 325 kg de minéraux**
    - 920 kg de grains de quartz
    - 280 kg d'argiles kaolinite, illite, chlorite, vermiculite, montmorillinite et d'autres interstratifiés
    - 50 kg de grains de feldspaths orthose et plagioclase
    - 40 kg d'oxydes et hydroxydes de fer : ferrihydrite, goethite et hématite
    - 20 kg de calcaire (carbonate de calcium)
    - 10 kg de cristaux de micas
    - 5 kg d'oxydes de titane et de zirconium
    - 1 kg d'oxydes de manganèse
    - 1 kg de phosphates divers
  - Ce qui représente environ 550 kg de silicium, 50 d'aluminium, 25 de fer, 10 de calcium, 10 de potassium, 4 de titane, 2 de sodium, 2 de magnésium, 600 g de manganèse et 200 g de phosphore ; le reste étant 680 kg d'oxygène et 10 d'hydrogène.
  - **20 kg de matière organique**
    - 3 kg de peptides et protéines
    - 2,5 kg de sucres et polysaccharides
    - 5 kg de lignines, composés phénoliques et aromatiques divers
    - 1,5 kg de lipides : cires, alcanes, acides gras, stérols
    - 600 g de pigments, tannins, résines
    - 250 g d'amino-polysaccharides
    - 250 g d'acides organiques
    - 4,8 kg de composés organiques non identifiés
    - 2 kg de charbon de bois, suies et produits de pyrolyse
    - 100 g de plastiques
  - Ce qui représente 10 kg de C ; 8 kg de O ; 800 g de H ; 800 g de N ; 150 g de P ; 100 g de S.
  - **5 kg d'organismes vivants (500 g de matière sèche)**
    - 2 kg (soit 300 m) de racines et rhizomes
    - 1,6 kg de bactéries, soit 100 000 milliards d'individus
    - 1,3 kg de champignons, soit 100 km d'hyphes mycéliens
    - 40 g de vers de terre (vidés) soit 80 individus
    - 25 g d'arthropodes et d'autres invertébrés
    - quelques campagnols

### 3. Combien de temps faut-il pour former un sol ?

Entre une nuit et plusieurs millions d'années...

En une nuit, ce pourra être le sol d'une dune du Grand Erg, que le vent de tempête aura déplacé de quelques décimètres depuis la veille.

Plusieurs dizaines de millions d'années, ce sera le temps nécessaire pour former, à partir de la roche, la couche d'argile d'un mètre d'épaisseur de certains sols africains ou australiens en climat semi-aride.

Cependant, en moyenne sur la planète, la désagrégation et l'altération des roches par les intempéries et la végétation fabriquent une quantité de sables et d'argiles de l'ordre d'un millimètre par siècle. Pour faire 20 cm de sol, il faut donc compter vingt mille ans. C'est la durée pour obtenir un sol jeune, mais l'évolution du sol est un processus ininterrompu qui se poursuit ensuite sur des centaines de milliers d'années.

La vitesse de formation est modulée par la nature de la roche et le climat : elle sera plus rapide pour un basalte, dont les minéraux sont plus altérables, que pour un granite ; plus rapide en climat humide et chaud, mais aussi facilitée en climat froid par le gel et les acides organiques libérés par la végétation, que les microbes n'auront pas pu biodégrader. Pour la mesure de telles durées, il faut des chronomètres adaptés. Les scientifiques utilisent des atomes rares, comme le beryllium-10 ou l'aluminium-27, formés par les rayons cosmiques qui frappent en permanence la surface de l'écorce terrestre. La quantité accumulée indique depuis quand la matière est exposée à la surface. Les sols les plus anciens, formés sur des dizaines de millions d'années, sont ceux des grands boucliers sud-américains et africains, où aucun mouvement de l'écorce terrestre, ni même le changement du niveau des mers, n'a induit de cycle d'érosion ou de dépôt de sédiments.

Ce qu'il est important de retenir, c'est que les activités humaines, agricoles en particulier, risquent d'accélérer considérablement l'érosion des sols, et que si le sol est érodé, il faudra attendre au moins une dizaine de milliers d'années, mais peut-être bien plus, pour retrouver un sol fertile. Si le sol est fait des alluvions d'un fleuve, il faudra attendre de nombreuses crues. Si c'est un dépôt volcanique, il faudra attendre une autre éruption cataclysmique à même de déposer plusieurs décimètres de ponces ou de cendres. Si la couche de sol érodée est le dépôt de lœss, il faudra attendre la fin de la prochaine glaciation pour en obtenir un nouveau, soit environ cent vingt mille ans, mais sans garantie car l'avenir de notre climat est bien incertain. Un sol érodé est perdu pour des centaines de générations.

Certes, il n'est pas perdu pour tout le monde si la terre érodée par l'eau ou le vent enrichit d'autres sols, ou même en crée de nouveaux, mais cela ne représente qu'une partie de la matière emportée.

#### 4. Sable, graviers et rochers font-ils partie du sol ?

Bien sûr. Mais, dans le détail, c'est une question de définition. Ceux qui étudient le sol définissent par convention la terre fine comme la partie qui passe à travers un tamis de mailles de 2 mm après un broyage modéré. Il suffit de se mettre d'accord sur le broyage. C'est cette terre fine qui sert de référence pour les analyses chimiques. Au-delà, il y a les éléments grossiers, que l'on ne prend pas en compte dans l'analyse chimique, peut-être pas assez d'ailleurs. Ainsi, on parle de graviers pour les particules comprises entre 2 mm et 2 cm, de cailloux entre 2 et 7,5 cm, de pierres entre 7,5 et 25 cm et de blocs au-dessus (d'après la norme NF X 31-003). Au sein de la terre fine, la distribution des tailles des particules gouverne beaucoup de propriétés des sols. On parle de sables entre 0,05 et 2 mm, de limon entre 0,002 et 0,05 mm et d'argiles en dessous de 0,002 mm. Le mot « argile » désigne ainsi soit une nature minérale, soit une taille de particules, les deux se recoupant largement.

On peut apprécier à la main cette granulométrie, car les sables donnent un toucher rugueux, les limons un toucher soyeux, et une terre contenant plus de 35 % d'argiles devient plastique quand elle est mouillée : on peut la modeler. On parle de « texture du sol », et celui-ci reçoit différents qualificatifs en fonction de la proportion précise de chaque composante granulométrique : sableux, argilo-sableux, limono-argileux, etc. Les propriétés les plus évidentes que la granulométrie confère au sol sont les propriétés mécaniques. Les laboureurs les connaissent bien. Les sols sableux, par exemple ceux des landes de Gascogne, sont très faciles à travailler, mais usent les socs de charrue. Les textures argileuses sont difficiles à travailler, car elles collent quand elles sont humides et sont dures comme du béton quand elles sont sèches ; elles requièrent beaucoup d'énergie, qu'il s'agisse de celle du tracteur ou du bras qui tient la bêche ou la houe. Les textures limoneuses des terres dites légères sont, elles, faciles à travailler mais fragiles car elles sont sensibles à l'érosion, à la battance et au tassement.

On néglige souvent le rôle des cailloux. En effet, ces derniers peuvent contenir une quantité d'eau non négligeable, réduire la sensibilité de la terre au tassement ; ils peuvent enfin servir de réserve d'éléments minéraux.

### **Pourquoi les cailloux reviennent-ils à la surface du sol ?**

Eh oui, c'est pénible : plus on enlève de cailloux dans les champs ou les jardins, plus il en revient. À tel point que certains ont même imaginé que la terre formait les cailloux ! Le mécanisme est simple : dès qu'une racine, un ver, un outil ou une fissure forme une petite cavité dans le sol, elle est comblée par les particules fines, et non pas par les grosses. C'est donc plutôt la terre qui tombe au fond, et ainsi les cailloux qui remontent.

## **5. Comment se fabrique un sol ?**

Les gouttes d'eau de pluie se chargent du gaz carbonique et de l'oxygène de l'air qui s'y dissolvent. Lorsque cette eau circule dans les fissures de la roche, la combinaison des deux, acide pour le premier et oxydant pour le second, dissout une infime partie des minéraux les plus altérables. Les cycles de gel et de dégel tendent, eux, à fragmenter les roches. Parfois, les seuls rayons du soleil échauffent suffisamment la surface de pierres encore froides pour les dilater et les fendre. Ainsi les agents météoriques commencent à fabriquer du sol par altération physique et chimique.

Cependant, ces phénomènes seraient extrêmement lents si les organismes vivants n'accéléraient pas ce processus. Les racines, de façon générale, acidifient leur milieu : elles libèrent des protons, en échange des éléments minéraux nutritifs (calcium, magnésium ou potassium) qu'elles prélèvent. De plus, racines, champignons, lichens, bactéries, insectes et autres excrètent toutes sortes d'acides organiques plus ou moins corrosifs, comme l'acide acétique (celui du vinaigre), l'acide malique (celui de la pomme verte), l'acide oxalique (celui de l'oseille), l'acide citrique (rencontré dans le citron par exemple). Ce dernier est capable de dissoudre les métaux comme le fer et l'aluminium, à partir des minéraux des roches comme d'un clou ou d'une casserole. Une partie des éléments solubilisés lors de l'altération des roches ne disparaît pas complètement du sol, mais forme sur place de nouveaux minéraux typiques des sols : argiles, oxydes de fer, oxydes d'aluminium.

L'altération est la plus rapide dans les pays les plus chauds. Cependant, dans les régions froides et suffisamment humides, par exemple au

Canada, en Scandinavie ou en Russie, la dégradation des litières produit des composés organiques acides, que les microbes n'auront pas eu le temps biodégrader complètement faute de températures suffisantes. Ces composés vont extraire le fer et l'aluminium des minéraux et les entraîner en profondeur pour les déposer quelques décimètres plus bas. Dans ces sols, il ne restera en surface que des grains de quartz et de la matière organique. On dénomme ces sols podzols, nom russe venant de leur couleur de cendre.

### **Le sol et le maréchal-ferrant**

Dans un petit village agricole de l'Yonne, il y avait, au début du xx<sup>e</sup> siècle, quatre maréchaux-ferrants pour quelques centaines d'habitants seulement ! Cela peut paraître surprenant, sauf quand on sait que les sols, en partie hérités d'argiles à silex, y sont un mélange d'argile très lourde et de cailloux très durs. Des attelages à deux bœufs étaient nécessaires pour les labourer et la terre usait considérablement les outils, dont... les fers des bœufs. Certains maréchaux-ferrants étaient donc spécialisés dans la fabrication de petits fers en deux parties pour chaque sabot, avec parfois une patte qui tient le doigt par-dessus, comme dans une petite tong. Les poser n'était pas une mince affaire !

L'homme, enfin, contribue à l'altération chimique des roches. L'un des effets de son action est connu sous le nom de pluies acides : l'azote et surtout le soufre des charbons et pétroles brûlés se retrouvent dans les fumées et s'oxydent en acide nitrique et sulfurique qui retombent au sol, contribuant à dissoudre les minéraux. Cela a été particulièrement le cas dans les années 1960-1980 dans les massifs forestiers de l'est de l'Europe, sous les vents des industries. L'agriculture peut également contribuer à acidifier les sols en apportant certains engrais acides comme le sulfate d'ammonium ou le nitrate d'ammonium, ou en exportant les éléments calcium et magnésium qui peuvent neutraliser l'acidité naturelle.

En résumé, on peut dire que c'est la biosphère elle-même, dont la matière est d'ailleurs aussi issue de l'atmosphère et de la lithosphère, qui produit le sol, son propre milieu, pour s'y installer de façon durable.

### Les roches, mères des sols

La roche fournit la matière minérale des sols et on l'appelle parfois « roche mère ». On en distingue trois grandes classes par leur origine.

- Les roches magmatiques viennent du manteau terrestre et sont arrivées à la surface soit par les volcans, comme les *basaltes*, soit par une remontée progressive du magma, comme les *granites*.

- Les roches sédimentaires, elles, sont formées à partir de matériaux de la surface de l'écorce terrestre, le plus souvent déposés en strates au fond des mers ou des lacs (les sédiments). Elles sont très diverses : les plus abondantes sont les *calcaires*, issus des squelettes de carbonate de calcium de coraux, d'algues ou de coquillages, et des roches qui proviennent de l'érosion des continents. Ces dernières sont plutôt siliceuses, comme les *argiles* ou les *schistes*, les *sables* ou les *grès*. Elles sont plus ou moins consolidées par la pression et les transformations chimiques qu'elles ont subies.

- Une troisième classe, les roches dites métamorphiques, comme les *gneiss*, correspondent à la recristallisation des types précédents lors de leur enfouissement en profondeur, où ils ont subi des pressions et températures élevées ; leurs propriétés sont assez proches de celle des roches magmatiques.

Les roches sont des assemblages de différents minéraux – ce dernier terme désignant une espèce chimique et cristalline pure. Par exemple, le calcaire est fait de calcite, le granite de quartz, de feldspaths et de micas, etc. On peut avoir des variétés de roches qui sont meubles, donc prêtes à former un sol très vite. C'est le cas de certaines roches sédimentaires et de laves : cendres volcaniques, calcaires non consolidés, argiles, sables. Si la nature de la roche conditionne au départ la composition chimique du sol et son acidité, après des dizaines de milliers d'années de transformations, des roches très différentes pourront donner des sols identiques, correspondant à un nouvel équilibre de la surface de la croûte terrestre.

## 6. Tous les sols se ressemblent-ils ?

Sûrement pas : ceux des Africains sont rouges, ceux des Nord-Américains du Middle West sont noirs, ceux des Méditerranéens plutôt blancs et rouges ; ceux des Bengalais sont bleu-vert et il y a des sols jaunes un peu partout sous les tropiques. En Russie, il y a beaucoup de gris et de châtaîns, en Europe, de bruns. Au-delà de cette diversité visible, due essentiellement à l'abondance et à la forme chimique du fer et des matières organiques, il