

# Friedrich Albert FALLOU (1794-1877)<sup>1</sup> et sa « Pedologie »

## IV - Chapitre 2 « État du sol »

E. Frossard<sub>(1)</sub>, J-P. Aeschlimann<sub>(2)</sub>, C. Feller<sub>(3)</sub> et A. Strigens<sub>(1)</sub>

- 1) Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zurich), Institute of Agricultural Sciences, Group of Plant Nutrition, Postfach 185, Eschikon 33, 8315 Lindau, Suisse. emmanuel.frossard@ipw.agrl.ethz.ch
- 2) AGROPOLIS-MUSEUM, 66 allée Mac Laren 34090, Montpellier, France
- 3) Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR Eco&Sols (Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols), INRA-IRD-SupAgro, Place Viala (Bt. 12), 34060 Montpellier cedex 1, France

### RÉSUMÉ

Dans trois articles précédents (Feller *et al.*, 2008, Frossard *et al.*, 2009 ; Aeschlimann *et al.*, 2010), nous avons publié et commenté la traduction intégrale en français de la Préface, de l'Introduction et du Chapitre 1 (consacré à la « Genèse du sol ») d'un ouvrage (1862) publié en allemand par F.A. Fallou (1794-1877) qui fut le créateur du terme « Pedologie » (en allemand). Dans la présente contribution, nous donnons quelques extraits commentés du chapitre 2 de cet ouvrage que Fallou a intitulé « État du sol ». Il y est question de la composition organique et minérale des sols, des éléments « importants » ou « négligeables » du sol, de tout ce qui a trait à la granulométrie et à la « forme des particules », mais aussi à quelques aspects de pédogenèse et relations sol-plante, notamment autour de l'altération et de la matière organique des sols.

### Mots clés

Pédologie, histoire, Fallou, humus, moder.

### SUMMARY

#### **FRIEDRICH ALBERT FALLOU (1794-1877) AND HIS « PEDOLOGIE » : IV. Chapter 2. "State of the soil"**

*In three previous papers (Feller et al., 2008, Frossard et al, 2009, Aeschlimann et al., 2010) a complete French translation of Fallou's Foreword, Introduction and Chapter 1 (Genesis of the soil) was published. The present contribution provides a French translation of the most significant extracts of his Chapter 2 entitled "State of the Soil", along with some comments. Under this term of "state" Fallou included the organic and mineral composition of the soil, its "important" or "negligible" elements, different considerations on its granulometric*

<sup>1</sup> : Nous avons gardé dans le titre le mot allemand « Pedologie » plutôt que le terme français « Pédologie »

aspects, the shape of its particles. In this chapter Fallou also discusses selected aspects of soil genesis and soil-plant relationships, and, in particular the role of weathering and soil organic matter.

**Key-words**

*Pedology, history, Fallou, humus, moder.*

**RESUMEN**

**FRIEDRICH ALBERT FALLOU (1794-1877) Y SU PEDOLOGÍA : IV - Capítulo 2 “estado del suelo”**

*En tres artículos precedentes (Feller et al., 2008, Frossard et al., 2009; Aeschlimann et al., 2010), publicamos y comentamos la traducción integral en francés del prefacio y del capítulo 1 (consagrado a la “génesis del suelo”) de una obra (1862) publicada en alemán por F.A. Fallou (1794 – 1877) quien fue el creador del término “pedología” (en alemán). En la presente contribución, damos algunos extractos comentados del capítulo 2 de esta obra que Fallou intituló “estado del suelo”. Se trata de la composición orgánica y mineral de los suelos, de los elementos “importantes” o “desdeñables” del suelo, de lo que se refiere a la granulometría y a la “forma de las partículas”, pero también a algunos aspectos de pedogénesis y de relaciones suelo-planta, en particular sobre la alteración y la materia orgánica de los suelos.*

**Palabras clave**

*Pedología, historia, Fallou, humus, moder.*

**A**vant d'aborder ce chapitre lui-même, il faut revenir, pour le lecteur, sur la démarche des auteurs de cette série d'articles consacrée à l'œuvre majeure de Fallou qu'est l'ouvrage *Pedologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde*.

À ce jour, cet ouvrage n'avait pas été, à notre connaissance, traduit ni en français, ni en anglais, et il nous a paru nécessaire, compte tenu de son importance pour l'histoire de la pédologie (voir Feller *et al.*, 2008), de mettre à disposition de la communauté francophone de science du sol de larges extraits traduits de l'allemand en français. Ceci nécessite une traduction complète de l'ouvrage, ce qui est évidemment un travail de longue haleine. Aussi avons-nous décidé d'opérer chapitre par chapitre sans avoir initialement traduit le livre dans sa totalité.

Autrement dit, nous avançons dans l'ouvrage et dans la découverte de la pensée de Fallou, pratiquement au même rythme que le lecteur. Ceci présente l'inconvénient que des notions qui peuvent paraître floues dans un chapitre et que nous avons du mal à interpréter peuvent être précisées – voire infirmées – dans des chapitres ultérieurs. C'est pourquoi ceci peut conduire à reprendre des discussions sur des concepts (comme la nutrition des plantes) ou des termes (comme celui de « moder » ici) déjà abordés lors des commentaires de chapitres précédents. Cet état de fait restera valable aussi pour les articles à venir au fur et à mesure de l'avancement de notre lecture et de la traduction de l'ouvrage.

L'organisation de ce chapitre 2 par Fallou figure ci-dessous. Nous avons ajouté entre parenthèses l'importance relative de chaque section par rapport au chapitre entier (% du nombre de mots) afin que s'apprécie le poids que Fallou donne à chacune d'elle.

- a. *Composition générale* (15,0 %)
  1. *Inorganique, ou composants non dégradables* (4,4 %)
  2. *Organique, ou composants dégradables du sol* (10,6 %)
- b. *Particules élémentaires ou fondamentales du sol* (7,8 %)
- c. *Particules importantes et négligeables* (18,9 %)
- d. *Forme des particules* (24,2 %)
- e. *Contenu du sol ou proportion du mélange de ses particules* (11,1 %)
- f. *Différenciations générales du sol par rapport à la substance, à la forme et à la taille de ses particules. Sol d'origine et alluvions* (23,0 %)

Nous suivrons ce plan, avec des résumés courts pour certaines sections et des extraits plus ou moins longs pour d'autres quand le caractère historique des propos paraît important (ceci est évidemment assez subjectif !).

Sur la base du poids relatif de chaque section, on constate que Fallou accorde une grande importance à tout ce qui touche à la description des « particules » du sol (granulométrie et forme, sections d, e, f) au moins équivalente, voire supérieure, à la composition elle-même du sol (sections a, b, c). Pour cette dernière,

on peut remarquer que l'attention portée au compartiment organique du sol (considéré comme « dégradable ») est plus grande que celle portée au compartiment minéral (« non dégradable »).

## a. Composition générale

### 1. Inorganique ou composants non dégradables

Dans cette partie, l'origine de la fraction minérale du sol est clairement réaffirmée, cette dernière est issue de l'altération de la roche. Cette partie reprend déjà des notions développées au chapitre 1 (Aeschlimann *et al.*, 2009).

*Nous savons déjà que la majeure partie de tout le sol répandu à la surface de la terre provient de la décomposition et de la désintégration de la roche sous-jacente, ces composants qui ne peuvent être de manière générale que des débris plus ou moins transformés de cette roche sous-jacente et de ses minéraux. La nature n'a cependant utilisé que quelques-uns des nombreux minéraux connus à ce jour pour la construction de l'écorce massive de notre planète, à savoir :*

*le quartz, le feldspath (surtout potassique), le mica (principalement potassique), la chlorite, le hornblende, l'augite, le talc, l'argile et le calcaire en partie carbonaté et en partie sulfaté ou le gypse...*

*Le sol se compose ainsi non de toutes, mais de certaines substances minérales seulement, celles qui figuraient parmi les composantes de la roche affleurant à la surface et jamais de minerais ou de métaux, exception faite d'oxyde de manganèse et de fer.*

### 2. Organique ou composants dégradables

Il nous paraît important ici de donner l'ensemble du texte de cette section car ceci pose, une fois de plus, la définition des mots « humus » et « moder » selon Fallou et l'usage qu'il en fait. Comme le sens dans lequel Fallou utilise ces termes n'est pas toujours très clair à la lecture, ils ont été laissés tels quels (mais en caractère normal au lieu d'italique) dans la traduction ci-dessous sans chercher à leur donner une signification particulière. Une discussion suivra à ce sujet. (On peut rappeler que quelques aspects historiques du terme « moder » ont été développés dans l'article consacré à l'introduction de l'ouvrage (Frossard *et al.*, 2009).

*Nous avons déjà mentionné comment, après que la surface de la terre s'est couverte de sol, la condition à l'existence d'êtres vivants a été donnée, tourbe et vase des marais se sont formées par décomposition de ceux-ci, surtout des plantes mortes. On peut aisément s'imaginer que la végétation ne se soit pas limitée aux fonds humides des vallées, aux plaines*

des fleuves et des mers, mais plutôt que partout où une plante pouvait subsister, des végétaux de toute sorte ont surgi du sol et que toute la surface de la terre ferme ait reçu une parure verte. Une forme de moder a donc dû se former jusque dans les forêts et les landes car elles ne furent pas moins épargnées par la décomposition que les plantes des prairies et des tourbières, leurs feuilles et aiguilles, leurs arbres et buissons et les herbes croissant dans leur ombre périrent afin, de temps en temps, de céder la place à une nouvelle génération. Dans les forêts se trouvaient aussi des animaux, le prédateur comme le chanteur ailé y trouvaient leur nourriture, ce moder à l'abri des arbres devint le gîte d'innombrables insectes où foisonnaient coléoptères et vers qui y déposaient œufs et larves, et comme les autres animaux de la forêt, y laissaient cadavres et excréments.

La masse entière de la végétation automnale, feuilles, aiguilles et fruits chutant continuellement, troncs morts, pourris, brisés par les tempêtes, tous les éléments pourris de la forêt enfin, devint peu à peu un moder formé d'un mélange d'animaux et de végétaux. La plus grande partie en fut toutefois livrée par les plantes, comme les analyses le montrent, car ce moder ne manque jamais d'azote et il n'est pas douteux que les animaux eux aussi, dont on sait que les forêts préhistoriques étaient bien plus densément peuplées qu'aujourd'hui, y ont également contribué, encore que de manière différente selon la nature et la situation du sol et toujours moins en hautes montagnes qu'en région basse, chaude et humide.

Dans les forêts et les landes, le moder constitue toujours une strate particulière par-dessus le sol originel composé uniquement de roche désintégrée, très fine couche seulement et le plus souvent mélangée à de la terre dans les régions habitées ; en effet, comme autrefois il n'y avait pas encore de gestion organisée des forêts, ces dernières étaient considérées comme un bien commun que chacun pouvait dévaster et exploiter, la litière de la forêt en particulier étant laissée à l'usage des habitants du voisinage<sup>a</sup>, cette couche protectrice ne pouvait se maintenir, elle était souvent ratissée jusqu'aux racines des arbres. Elle ne retrouvera pas non plus une épaisseur importante dans les conditions actuelles, car lors du replantage d'une coupe, elle se retrouve en général sous le sol originel et doit donc ainsi se constituer à nouveau chaque fois.

Le sol labouré ne contient de moder que comme une composante d'un mélange complexe, il s'agit en règle générale de la plus petite du tout, car lorsqu'on a défriché les forêts de régions inhabitées pour les cultiver, la couverture existante du sol a en partie été utilisée comme engrais, s'est

peu à peu décomposée dans le sol pour être utilisée par les plantes cultivées. Dans nos sols labourés actuels, il ne se développe ainsi de moder que grâce à la fumure artificielle et à la décomposition des chaumes et mauvaises herbes demeurant dans le sol après les récoltes et enfouies lors du labour.

On a donné le nom latin d'« humus »<sup>b</sup> à ces substances organiques présentes dans le sol même. C'est pourquoi aussi il a été expliqué de différentes manières, en sorte qu'aujourd'hui encore on ne semble pas d'accord sur sa véritable signification. Car tandis que certains veulent restreindre ce terme aux fibres ligneuses en décomposition, d'autres l'étendent à toutes les substances en cours de décomposition. L'un dit « l'humus est une substance organique en cours de décomposition », l'autre « l'humus est le résultat de la putréfaction de corps animaux et végétaux, non pas ces tissus eux-mêmes, l'humus est seulement le résultat de leur décomposition ». Ainsi par exemple Lampadius. Sprengel aussi le nomme un produit de décomposition, mais à un autre endroit il dit : « Sous humus, je comprends les restes animaux et végétaux non encore complètement en putréfaction, charbon d'humus<sup>c</sup> inclus ». Les explications suivantes peuvent se recouper peut-être plus aisément :

- 1) L'humus est une association de substances organiques décomposées jusqu'à un certain stade. Nous ne pouvons lui appliquer cette expression qu'une fois la décomposition amorcée.
- 2) Sous humus on comprend toutes les formations organiques, à côté des produits résultant de la décomposition de celles-ci, qui sont encore incorporées au sol sous une forme stable. En plus des résidus animaux et végétaux encore entiers et de toutes les substances ulmiques et humiques, nous devrions aussi par conséquent compter ici l'ammoniaque et l'acide nitrique<sup>d</sup>.

Cependant, la plupart ne considèrent pas l'humus comme étant les substances dérivant de la décomposition des

<sup>a</sup> Le ramassage de la litière était même considéré dans beaucoup de provinces allemandes comme un droit légitime opposable au propriétaire forestier

<sup>b</sup> Chez les Romains, ce terme avait une toute autre signification, ils désignaient ainsi le sol terrestre par opposition à l'atmosphère, pourtant Columelle l'utilise souvent dans le même sens que solum, comme dans les expressions soluta, pinguis, exilis humus, c.à.d. sol meuble, gras, maigre. Toutefois, quand un mot étranger ne correspond pas à son acception, ou lorsqu'il a un sens très différent dans la langue étrangère, son utilisation n'est pas acceptable car cela ne peut que créer des malentendus. Il vaut donc mieux que nous retenions le terme allemand "Moder" généralement compréhensible. S'il fallait lui trouver une correspondance latine, il ne pourrait se traduire que par stercus ou putredo, ce dernier dans le sens tropique.

<sup>c</sup> Bodenkunde. p. 478. (le terme allemand utilisé ici est Humuskohle)

<sup>d</sup> Trommer a. a. D. p. 135 et 384

*résidus végétaux et animaux, non plus que le produit de cette décomposition, mais bien plutôt ces restes eux-mêmes. Selon le point de vue concordant de la majorité on entend par là un mélange de parties végétales et animales mortes, commençant à se décomposer par opposition aux composés inorganiques ou non décomposables du sol, car on parle aussi de sol humique, tourbeux, ou de moder comme d'un sol composé uniquement de végétaux morts, on appelle aussi humus les parties végétales des chaumes et racines pourrissant dans un champ et même la terre de bruyère. Ces dernières ne sont pourtant pas encore complètement décomposées et ne sauraient l'être, car elles ne seraient alors même plus détectables.*

*Ainsi, nous devons aussi désigner tout engrais animal ou végétal comme humus ou moder, qu'il se trouve sur ou sous le sol, qu'il y soit déjà incorporé ou non. Il ne devient pas alors seulement moder, mais il est déjà moder, car la décomposition de toutes les matières organiques débute avec la mort de celles-ci. Le terme « décomposition » indique déjà que son existence disparaît avec la décomposition, qu'il cesse d'être ce qu'il était. En disant : « le moder se décompose », on reconnaît simultanément qu'il subit une transformation formelle et matérielle, il ne peut être utile à la plante qu'après avoir été complètement décomposé et transformé. Si cette transformation n'est plus du moder, alors on ne peut plus, non plus, nommer le moder ainsi, il ne l'est que jusqu'au moment où il s'est complètement décomposé, après la décomposition il n'est plus présent dans le sol comme moder ou humus.*

*Il s'ensuit qu'on ne peut considérer le produit de cette décomposition comme humus, mais seulement les substances organiques encore en cours de décomposition, donc encore visibles, ou uniquement modifiées dans leur forme jusqu'ici. Le produit de la décomposition n'est plus une composante du sol, dès le moment de sa transformation il est en partie appréhendé et assimilé par les plantes, en partie délivré dans l'atmosphère et les sources comme ammoniacque, eau et acide carbonique, et seul l'acide carbonique résiduel demeure dans le sol pour s'y lier aux minéraux présents encore non décomposés et accélérer leur décomposition.*

Concernant le mot « moder », sa traduction de l'allemand au français pourrait être le terme général de « pourriture ». Mais son usage scientifique en science du sol est assez spécifique d'une couche holoorganique formée de débris végétaux et animaux peu décomposés que l'on rencontre, entre autres, dans la litière des podzols (Kubierna, 1953 ; et revue par Jabiol et al., 2005). En terme historique d'identification d'horizons, il est donc important d'essayer de préciser la pensée – précurseur ou non – de Fallou à ce sujet. À la lecture du texte ci-dessus, il est des cas où le terme fait clairement référence à un horizon de litière

(cf. première phrase soulignée) et dans d'autres (cf. deuxième phrase soulignée) où il peut être interprété comme le produit de décomposition des matières végétales et animales, donc comme une « pourriture ».

Fallou a ensuite un discours intéressant sur l'usage du mot « humus » tant chez les Romains, avec la signification de « sol terrestre », qu'à son époque où il est considéré comme « une substance organique (« fibres ligneuses ») en décomposition », soit comme le résultat final de la décomposition des tissus végétaux et animaux, ce que l'on pourrait nommer maintenant les substances humiques. Le débat existait toujours au XX<sup>e</sup> siècle entre l'interprétation du mot « humus » comme horizon ou comme constituant (Feller et Boulaire, 1987 ; Feller, 1997). A propos du changement de signification du mot « humus » entre l'époque romaine et le XIX<sup>e</sup> siècle, dans la note de bas de page, Fallou indique qu'il vaut mieux utiliser le mot allemand courant (« moder ») plutôt que le terme latin « humus » qui peut porter à confusion. Et il précise que la correspondance latine de ce terme « moder » serait *sterco* (qui a trait au fumier) ou *putredo* (qui a trait à la putréfaction). Ceci nous laisse toujours sur nos interrogations !

Après divers exemples et explications, Fallou donne ce qui lui paraît être « le point de vue concordant de la majorité », à savoir que l'« on entend par là un mélange de parties végétales et animales mortes, commençant à se décomposer... ». Les explications qui suivent semblent bien confirmer que, pour Fallou, ce que l'on doit appeler « moder » ou « humus » doit inclure la fraction organique d'origine végétale ou animale en cours de décomposition, ce que l'on nommerait maintenant la « fraction figurée » ainsi que les produits de sa décomposition. A ce stade, on peut donc considérer que sa définition de « moder » rejoindrait assez largement notre actuelle définition de la « matière organique du sol ». Nous verrons, dans la suite de ce chapitre que la confusion qui existe sur le mot « humus » entre le concept de constituant ou le concept d'horizon existe aussi chez Fallou pour le terme « moder ».

## **b. Particules élémentaires ou fondamentales du sol**

Cette section n'apporte pas grand chose d'original par rapport à ce qui a été évoqué plus haut ou dans les chapitres précédents.

En voici quelques extraits.

*Jusqu'ici nous ne connaissons encore le sol que comme roche décomposée, mélangée en partie à des substances organiques. Mais ces parties minérales, animales et végétales, visibles et palpables ne sont point encore ses véritables composantes fondamentales, mais seulement la forme extérieure et l'enveloppe sous laquelle ces dernières*

se cachent, comme le noyau d'un fruit dans sa coquille. Hormis pour les sols tourbeux et les sols à moder, les premières sont toujours dominantes. Si ces composantes minérales ne sont que des débris de roches affleurant à la surface de la terre, alors leurs composantes élémentaires ne peuvent être autres que celles contenues dans cette roche ou dans les minéraux simples mentionnés ci-dessus, à savoir :

*silicium, calcium, magnésium, aluminium, sodium, potassium, soufre, manganèse et fer, ainsi que les quatre (sic !) éléments organogènes fondamentaux oxygène, carbone et hydrogène. Certes, le mode de leur liaison n'est plus pareil à ce qu'il était auparavant dans la roche solide, il s'est modifié justement par la décomposition. Du fait de la diversité des associations qui les lient maintenant dans le sol résultent aussi les divers types de sols. Dans la terre arable, l'azote vient encore s'ajouter aux éléments ci-dessus, mais le carbone reste l'élément dominant dans le moder, car il consiste principalement en humine et acide humique, qui contiennent 70% de cet élément, le moder lui-même n'étant pas un élément mais un simple oxyde organique...*

*Les plus importantes et les plus courantes de ces substances élémentaires sont :*

*silice, argile, calcaire et talc...*

*Dans sa liaison avec l'oxygène, la silice en particulier est la composante principale de toutes les roches composées de quartz, feldspath et mica. De façon générale, la plupart des minéraux des roches affleurant à la surface de la terre et qui sont à l'origine du sol sont des silicates ou des liaisons de silice avec de l'argile, du calcaire et du talc, du potassium ou du sodium.*

*Le calcaire est la composante principale des roches calcaires, et ici le plus souvent en liaison avec l'acide carbonique, plus rarement avec l'acide sulfurique comme dans le gypse. Il se trouve aussi mélangé au hasard dans beaucoup d'autres roches comme le basalte et le grès.*

*Le talc enfin se trouve, certes, dans beaucoup de roches, mais toujours en liaison avec argile ou calcaire comme avec un acide, comme l'acide silicique dans la serpentine, le schiste de talc, de chlorite et de hornblende, et l'acide carbonique dans la dolomie.*

*Comme la roche mère de la surface de la terre, pour autant qu'elle soit connue à l'heure actuelle sur la terre ferme, est composée pour l'essentiel des roches précédentes et surtout de granit, gneiss, schiste d'argile et de mica, basalte, grès et calcaire et que le sol à sa surface dérive principalement de ces roches, que leurs composantes minérales y sont en général non encore décomposées ou tout au moins dissoutes, il en découle que l'on doit aussi y retrouver les éléments ci-dessus, et tel est bien le cas, même si les proportions sont autres. Nous pouvons donc les considérer comme les composantes élémentaires*

*principales du sol, la silice restant la composante dominante de la plupart des types de sols.*

Dans cette section, la distinction est donc faite entre :

- les matières « élémentaires » qui correspondent à nos éléments chimiques (C, N, Si, Al, Fe, Ca, etc.) et
- les matières « fondamentales » qui peuvent être « organiques » comme le « moder » ou « minérales » comme les silicates etc.

### **c. Particules importantes et négligeables**

Dans cette section, à côté de la description des substances minérales et organiques fortement présentes ou non dans le sol, est abordé aussi leur rôle par rapport aux propriétés de la terre arable et à la nutrition des plantes. La question de savoir si le « moder » joue un rôle important ou non dans cette nutrition est posée. Voici donc quelques extraits significatifs de ces points.

*Par décomposition et dégradation des roches, c'est plus la forme que l'état de celles-ci qui a changé, elles sont devenues fragment, gravier, sable et poussière. En général, ces composantes visibles du sol restent donc, même après leur remodelage, les mêmes minéraux qui étaient auparavant rassemblés en masse compacte dans la roche d'origine...*

*Outre leurs minéraux principaux, la plupart des roches largement répandues, qu'elles soient simples ou composées, en contiennent cependant aussi d'autres dans leurs failles et cavités, dans leurs creux et pores... souvent aussi inclus seulement sous forme de petits cristaux, grains ou feuilletts... Lors de la décomposition de la roche avoisinante, ces ingrédients parviennent également dans le sol, par exemple souvent des grenats dans le sol de schiste, des éclats de tourmaline et cyanite dans le sol de granulite et de gneiss, du mica, de la chlorite et du minerai de fer dans le sol de calcaire et de grès. Comme ces minéraux ne sont pas primordiaux pour leur roche d'origine, le schiste pouvant aisément se passer de grenat, tout comme le gneiss et la granulite de tourmaline et de cyanite, ils ne peuvent être considérés que comme composantes accessoires du sol qui en découle...*

*Pour le sol de manière générale, seuls sont importants les minéraux mentionnés ci-dessus, et pour chaque type de sol en particulier seuls quelques-uns d'entre eux, grâce auxquels il se différencie des autres... Cependant, dans la plupart des cas, deux ou trois de ceux-ci doivent être inclus, deux au moins dans la terre arable, aucune matière élémentaire seule ne pouvant offrir une alimentation complète à la plante, la véritable terre arable ne naît que de leur association.*

Ici, Fallou réintroduit le distinguo entre « sol » et « terre arable » qui avait été déjà évoqué dans le chapitre Introduction (Frossard et al., 2009).

...Le sol composé d'une seule de ces substances constitue bien un sol mais pas une terre arable, à tout le moins il ne supporte pas de plantes cultivées. Nous voyons parfois le sol de quartz ou de gravier mis en culture, cependant ce n'est pas alors le gravier qui nourrit les plantes, mais bien au contraire le moder ou l'engrais qui lui ont été apportés. Pour les plantes, deux au moins des matières élémentaires ci-dessus sont impérativement requises et de ce point de vue il en va du sol comme de l'air atmosphérique qui ne devient air de vie que par l'association de l'oxygène et de l'azote. Argile et craie sont en quelque sorte des métaphores de l'infertilité, mais s'ils sont mélangés, ils deviennent une véritable essence de vie pour le monde végétal.

Suivent quelques remarques sur le rôle des principaux constituants sur diverses propriétés des sols :

- l'argile dans son rôle physique :

...L'argile est aussi essentielle pour une grande partie du sol présent et nécessaire à la terre arable, au moins du point de vue physique, dans la mesure où elle cimente les parties minérales éparses, le gravier et le sable de la roche désagrégée en une masse compacte et ferme, qu'elle maintient ainsi plus longtemps dans un état humide qu'il ne serait possible autrement...

- le calcaire comme fournisseur d'acide carbonique avec diverses conséquences :

...Le calcaire est une composante essentielle à plusieurs types de sols très répandus et un ajout bienfaisant à tout type de sol arable, il y agit en désagrégant, en accélérant la décomposition du moder et contribue ainsi à la formation d'acide carbonique et par conséquent aussi à la désagrégation des fractions minérales solides restant encore dans le sol...

- le potassium qui est mentionné comme généralement « très peu représenté »,

- le fer qui se trouve dans « presque tous les sols » mais « n'y est pas essentiel ».

La coloration de sols est aussi abordée sous l'effet du manganèse et des oxydes de fer. C'est l'oxyde de fer qui :

...confère au sol une couleur brun rouge comme on la voit dans le sol de grès rouge ou de schistes. Comme le calcaire, il s'avère en outre utile sur sol arable en favorisant la décomposition du moder. En outre, il n'est pas rare de trouver le fer en liaison avec l'acide phosphorique comme composante essentielle du sol, ce qui n'est pas à l'avantage des plantes qui y croissent, ou tout au moins pas du propriétaire.

Les autres matières élémentaires, associées soit entre elles soit aux autres matières déjà citées, comme soufre et oxygène en acide sulfurique, azote, hydrogène et oxygène

en ammoniacque et acide nitrique, ne sont de loin pas aussi fréquentes que l'oxyde de fer et sont essentielles à peu de types de sols. Au sol arable, elles sont toutefois souhaitables, mais pas obligatoires, car elles peuvent lui être apportées par des fertilisants appropriés. Le carbone seul, dans sa liaison à l'oxygène, ou l'acide carbonique, est présent en grande quantité et constitue une composante essentielle à de très nombreux types de sols. Il n'est pas seulement contenu dès l'origine dans le sol dérivant de roches calcaires, mais encore se forme continuellement par fermentation du moder, lequel est donc à considérer comme une source principale de celui-ci (le carbone), cependant, il n'est pas une composante essentiel du sol en général, car il ne se trouve que dans le marais et le sol de tourbe, ce dernier étant composé presque entièrement ou du moins en majeure partie de plantes en putréfaction, ou sinon seulement dans la strate extérieure, en contact avec la lumière, de la terre arable. Cependant, si on compare cette partie au tout, aux couches massives de gravier, de sable et d'argile sur lesquelles elle repose, elle n'apparaît alors que comme une mince couverture de ce substrat.

Fallou aborde alors le rôle du « moder » dans la croissance végétale, et nous donnons ici de larges extraits qui permettent de lever un certain nombre d'imprécisions ou ambiguïtés rencontrées dans les chapitres précédents.

C'est aussi pourquoi le moder, bien qu'il forme une composante essentielle de la terre arable, n'est toutefois pas absolument nécessaire à la production végétale, car le sol dit « sauvage » (« wilder Boden ») se trouvant sous la terre arable ne contient en règle général pas de moder, alors que des végétaux peuvent pourtant y croître sitôt qu'il est découvert, mis en contact avec l'atmosphère, réchauffé par le soleil et humecté par la pluie. Le sol sauvage extrait de 50-100' de profondeur lors de forages de puits, voire même les ruines de roche éclatée, se recouvre d'herbe et d'arbres après peu d'années, comme nous le voyons sur les pentes des carrières. Le basalte désagrégé, en particulier, nourrit une foule de plantes même sans moder. Il s'ensuit, à l'évidence, que celui-ci n'est pas absolument nécessaire à la végétation ; la roche solide devient déjà sol fertile par simple désagrégation pour autant qu'elle contienne au moins les matières élémentaires nécessaires, les matières minérales nutritives et l'acide carbonique de l'air et de l'eau semblent déjà suffire à la végétation. Le moder n'est pas non plus une composante originelle du sol. Comme il consiste pour l'essentiel en plantes mortes, il ne peut s'être formé que seulement une fois que celles-ci étaient présentes, et comme les premières forêts se sont créées sans moder, des forêts peuvent bien naître aujourd'hui encore sans moder. Le moder n'est donc qu'un ajout fortuit et spontané du sol, la conséquence d'un amendement naturel ou

artificiel, il favorise, certes, la végétation mais ne lui est pas absolument indispensable, il est seulement nécessaire à une meilleure croissance et à une production durable des plantes cultivées, soit comme nutriment végétal, soit comme adjonction amélioratrice de l'état du sol. Il nourrit les plantes par l'intermédiaire de l'acide carbonique et de l'ammoniaque, deux très puissants nutriments pour les plantes qui se forment lors de sa décomposition. Le premier (l'acide carbonique) dissout simultanément les matières minérales encore incluses dans la roche non désagrégée et les rend ainsi accessibles aux plantes. Du point de vue physique, le moder devient bénéfique en ameublissant un sol compact et dur (argileux), en conférant du liant et de la rétention à un sol trop friable et perméable (sablonneux), donnant à tous les deux une couleur sombre, augmentant ainsi leur température. Il contribue ainsi doublement à la fertilité du sol, d'une part en lui garantissant la nutrition des plantes, de l'autre en améliorant humidité et chaleur, conditions fondamentales de la vie végétale.

Cependant, même dans la terre arable, le moder n'est que la plus petite partie du tout, l'essentiel restant toujours la roche désagrégée ; le moder se décompose, une partie en est consommée par les plantes sous forme d'acide carbonique et d'ammoniaque, une autre s'évapore et le reste est peu à peu lessivé et évacué par les sources et les eaux de drainage. Certes, la décomposition n'est pas partout pareille ; elle est ralentie dans l'eau, en sorte qu'une lente fermentation ou carbonisation se produit, et le moder n'est pas consommé et ne se décompose pas, il se forme un corps bitumineux-charbonneux, la tourbe ; cependant, dans la terre arable où, grâce à la présence de l'air, c'est-à-dire la libre intervention de l'oxygène, une décomposition plus rapide se produit, et le moder disparaît très rapidement de la manière décrite. Si les plantes cultivées doivent trouver assez de nourriture et se développer complètement, il faut alors remplacer de temps en temps le moder par la fertilisation<sup>2</sup>, car l'expérience montre que sinon, un champ peut être tellement épuisé qu'il retournera finalement à l'état de friche. Quelques types de sols seulement font exception ici. Les constituants minéraux du sol sont, certes, constamment dégradés, leurs nutriments dissous et consommés par les plantes, mais le sol n'en manque pas, en a même généralement en excès puisqu'il est composé pour l'essentiel de minéraux et que ces nutriments minéraux sont constamment renouvelés. Dans le sol non cultivé des forêts, le moder se remplace grâce aux débris végétaux, en sorte que les plantes croissant ici sont toujours suffisamment pourvues en éléments nutritifs organiques, mais dans le sol labourable, ces déchets sont insuffisants pour les grandes quantités de récoltes produites chaque

année, elles doivent recevoir ici l'apport nécessaire par la fertilisation.

... La grande diversité de sol, ou le nombre de types de sols ne réside donc pas dans le nombre des différentes composantes principales et secondaires, mais seulement dans le mélange variable de celles-ci.

Dans cette section, Fallou nous permet de mieux comprendre sa perception de l'origine des nutriments de la plante et du rôle de la matière organique du sol (le « moder ») sur les propriétés édaphiques et les relations sol-plante. Les quelques points suivants restaient encore assez obscurs à la lecture des chapitres précédents, ou pouvaient prêter à confusion :

- la plante se nourrit de substances minérales en solution qui proviennent, pour le carbone, de l'« acide carbonique » de l'atmosphère du sol (ou de l'air ?), pour l'azote de l'« ammoniaque », et, pour les autres éléments minéraux, de la solution du sol, celle-ci étant constamment enrichie par l'altération des roches en place ou en cours de décomposition dans le sol ;

- ce n'est pas le « moder » (riche en carbone) qui nourrit directement la plante, mais ses produits de décomposition comme l'acide carbonique et l'ammoniaque ; l'acide carbonique est aussi vu comme un agent d'altération des minéraux entraînant la libération d'éléments nutritifs assimilables pour les plantes.

- toutefois ce « moder » est important, car, non seulement il est source d'éléments nutritifs, mais aussi il permet d'améliorer d'autres propriétés du sol (physiques et coloration) favorables à la croissance des plantes.

On se trouve donc ici, avec Fallou, comme avec de nombreux autres théoriciens de cette époque, devant une forme d'acceptation, de la théorie minérale de la nutrition des plantes (*sensu* Liebig), mais accordant déjà un rôle important, et autre, à la matière organique du sol.

Toutefois, en ce qui concerne la nutrition carbonée de la plante, Fallou semblerait accorder plus d'importance au gaz carbonique contenu dans l'atmosphère du sol qu'à celui de l'air, ce qui reste à préciser.

#### **d. Forme des particules**

Cette section concerne différents aspects de la physique du sol (forme et granulométrie des particules minérales, assemblages, comportement hydrique du sol), mais aussi des réflexions sur les processus d'altération et les relations sol-plante.

Nous donnons ci-dessous de larges extraits du texte de Fallou, quelques commentaires suivent.

*La forme, c'est-à-dire la manière dont les diverses parties se trouvent assemblées en un tout, sous laquelle celui-ci se présente à la vue et se différencie d'autres objets,*

<sup>2</sup>: Il s'agit bien évidemment ici d'une fertilisation organique.

fait également partie de l'essence d'une chose. Toutefois, ce n'est pas aux matières élémentaires que le sol doit son apparence extérieure et par lesquelles il se distingue de manière certaine, mais bien à ses composantes minérales. Ces composantes immédiates ou visibles, sous l'apparence lesquelles les premières se trouvent masquées et déguisées, sont cependant surtout des ruines qui se sont détachées de la roche solide de notre surface terrestre et à nouveau assemblées en un tout indépendant comme décrit ci-dessus. De ce point de vue, le sol nous apparaît soit comme une pluralité, un amas de ruines distinctes et libres, un éboulis inerte, soit comme une masse de fine poussière compacte et agrégée, sous forme de terre, car une partie de ces ruines s'est conservée dans sa forme originelle, tandis que l'autre a été complètement broyée, désagrégée et transformée de telle sorte que sa forme d'origine ne se peut plus reconnaître. Cette forme différente justifie précisément la distinction entre sol et terre et elle est particulièrement importante du point de vue économique, car il n'est pas indifférent que les nutriments minéraux des plantes soient inclus dans le sol sous forme de roche désagrégée ou non. Si celui-ci n'est composé que de grossiers débris, les éléments nutritifs restent fortement enfermés dans ces derniers et ne peuvent donc en rien aider les plantes, si richement qu'ils y soient contenus, puisqu'elles ne peuvent les assimiler sous forme dissoute qu'avec l'aide de l'eau ou de l'acide carbonique. Les ruines inertes représentent donc bien un sol, mais pas une terre arable.

Les plus grosses composantes minérales se présentent tantôt comme fragments informes, tranchants, comme ruines polyédriques irrégulières, comme éclats et feuilletts schisteux, tantôt comme corps arrondis en forme de sphère ou de tubercule. Les premiers ne sont que de la roche désagrégée qui, en règle générale, s'est encore maintenue sur son emplacement d'origine, car, en général, nous trouvons encore la roche d'origine dans le socle rocheux immédiatement sous-jacent. Chez les derniers, leur forme démontre qu'ils ont été emportés loin de leur massif d'origine, charriés par des eaux tumultueuses et, de cette manière, ont peu à peu été arrondis et polis.

Selon taille et forme, nous distinguons blocs, palets, galets, pierraille, gravier et sable.

On appelle blocs les plus gros fragments de roche, de 50 kg au moins, qu'ils soient anguleux et tranchants ou arrondis et polis...

Les palets sont des ruines de roche arrondies, plates, en forme de lentille ou de haricot, par ailleurs plus petites que les blocs, comme il s'en forme dans les fleuves à partir de roches se fragmentant en strates ou en plaques. La cause de leur forme tient davantage à la structure de la roche qu'à la force du courant, ils sont plus poussés que roulés dans le lit du fleuve, d'où leur nom.

Les galets sont de petites ruines, polies, plutôt arrondies en forme de boule ou de tubercule, en général au plus de la taille d'un œuf de poule. Leur forme tient au fait qu'ils ont été plutôt roulés que poussés dans le lit rocheux des torrents et rivières et ont été polis par le frottement réciproque, à l'origine ce sont des fragments de roches solides à la structure dense ou à grain fin, comme quartz, calcaire, argile et porphyre. Sous le nom de pierraille ou « grand » (de *grando*, c.à.d. grêle) on désigne dans la vie courante un amas de petites pierres roulées de la taille d'un pois jusqu'à celle d'une noix, bien qu'on appelle certaines d'entre elles gravier sans trop se demander si elles sont bien constituées de silice ou d'un autre minéral, car en Allemagne du nord, le gravier est principalement composé de quartz blanc, en Bavière entre Füssen et Augsburg, à Ulm dans la vallée du Danube, dans les vallées de Traun, Ens et Salzach plutôt de calcaire blanc ou de dolomie.

Le gravier est fait de miettes anguleuses d'une roche dégradée ou en cours de désagrégation. Si cette dernière n'est que tendre et friable, mais sinon encore dans son association et relation d'origine avec la roche sous-jacente en profondeur encore non dégradée ou fraîche, elle est alors généralement appelée faille pourrie par les mineurs et les tailleurs de pierre. Dans les massifs de granit, ce gravier forme très souvent la base du sol, dans laquelle on peut suivre sa transformation progressive de pierre solide en terre (Remarque des auteurs : c'est l'arène granitique). Certains morceaux sont déjà tellement désagrégés qu'ils se laissent écraser entre les doigts. Dans le sol même, se trouvent aussi souvent de ces débris friables, pas encore complètement désagrégés, reconnaissables en général aux points ou taches rouge-brun ou noir sur leur ligne de fracture.

Par sable on désigne une quantité et un amas innombrable des plus petits débris, grains de forme polyédrique, mais aussi complètement arrondie et polie, par ailleurs libres et sans aucun lien avec ceux situés à-côté ou au-dessus. On le dit à grain fin jusqu'à la taille d'une semence de pavot, grossier entre la taille de la semence de pavot et celle du petit pois. S'il devient si fin qu'on ne peut plus distinguer les grains à l'œil nu, il s'agit alors de poussière, c.à.d. de terre sous la forme lâche. La notion de sable dépend de la présence d'une majorité de petits grains qui peuvent encore se distinguer à l'œil nu ; sinon il n'y aurait pas de différence entre sable et poussière. Il est vrai que certains sables ne se présentent pas sous forme de grains, mais de fines paillettes ou feuilletts tendres comme dans le sable de chlorite, argile et micaschiste, cela ne change rien à la chose, encore qu'il serait plus correct d'appeler ce dernier gravier. On appelle parfois aussi farine de sable les débris poussiéreux libres. Ce mot seul contient deux notions qui se contredisent, car la farine est poussière et ne saurait être simultanément sable, suivant la définition ci-dessus. L'expression farine correspond

à la chose, mais pas l'adjonction. Si cela ne doit pas être de la poussière, on devrait dire farine de pierre...

Dans toutes ces ruines, du bloc jusqu'au grain de sable, en règle générale la roche d'origine se peut encore reconnaître clairement à sa consistance ; une grande partie de celle-ci a cependant été entièrement broyée ou tout autant réduite en cendre par oxydation, elle est devenue poussière et terre pulvérulente, un amas de particules minérales microscopiques voire atomiques, qui ne se laisse plus reconnaître séparément mais uniquement dans l'ensemble de leur accumulation. Dans la nature, cette poussière minérale ne se trouve nulle part en grande quantité, elle est toujours mêlée à du sable, de la pierraille et de petits palets. Si elle est agrégée en une substance cohérente, apparemment uniforme nous l'appelons sol, terre arable si elle contient en outre des substances organiques. Cette dernière ne constitue cependant que la strate superficielle ou apparaissant au jour, tandis que le sol purement minéral se trouve aussi sous la terre arable.

Le caractère principal par lequel le sol se distingue de la roche solide non encore désagrégée est son comportement vis-à-vis de l'eau ; même sous l'eau la pierre reste de la pierre, c.à.d. un corps rigide solide, le sol en revanche s'amollit, se décompose, fond, ses parties pulvérulentes se dissolvent (de nos jours, on dirait « se dispersent ») et se séparent les unes des autres, elles deviennent une masse souple, malléable, voire même liquide selon le cas. Sous cet aspect, on lui donne le nom de vase (« Schlamm » en allemand). Sans ces parties pulvérulentes nous n'avons qu'un sol, et c'est en association avec elles seulement que les parties minérales massives non encore désagrégées deviennent de la terre.

La plus grande variabilité existe cependant dans cette association entre pierre et terre, tantôt cette dernière constitue la plus grosse fraction du tout, tantôt la plus petite, car aucun sol n'est complètement dépourvu de pierre, même le limon le plus fin, apparemment homogène, ou la marne contient encore quelques petits débris de roche non altérée, ne seraient-ce que quelques feuillets de mica.

Cette terre pulvérulente (« Stauberde » en allemand) est cependant la composante du sol dans laquelle la plante trouve les nutriments nécessaires à son développement, les autres fragments minéraux encore non désagrégés ne lui fournissant que le logis, non le couvert (Fallou ne manque pas d'humour !) pour l'heure tout au moins et aussi longtemps qu'ils ne se sont pas également désagrégés et dissous, ils demeurent roche inerte pour la plante. La terre pulvérulente est ainsi la composante la plus indispensable et importante de la terre arable.

Nous donnons à ces composantes principales de la terre arable distinctes de la roche brute et inerte (pierre de rebut), le nom de terre pure ou riche avec autant de droit qu'on appelle riches les minerais qu'on a raffinés et nettoyés de leurs scories et corps étrangers par plusieurs ébullitions et séparation

par fusion différentielle. C'est le raffinat de la terre arable. Le langage agricole l'appelle fractions argileuses car elles contiennent en effet de l'argile et doivent être considérées comme les éléments liants du sol, le reste solide ou la roche inerte en revanche sable, sans se soucier davantage de la forme et de la substance de celui-ci. En ce sens, il n'y rien non plus à objecter lorsqu'on dit : « les composantes minérales du sol sont l'argile et le sable ». Toutefois les fractions argileuses ne consistent pas uniquement en argile, non plus que celles de sable en quartz.

La terre pure est une poussière minérale dans laquelle le minéral d'origine ne peut plus être reconnu, en partie farine de pierre, c.à.d. roche mécaniquement broyée et moulue, en partie rouille de pierre, c.à.d. roche chimiquement désagrégée et altérée, mais nullement encore tout à fait dissoute, la plupart des substances élémentaires au contraire, la silice en particulier, y étant encore non dissoutes. Seule une petite partie, potassium et calcaire surtout, est libérée lors de la désagrégation, ce qui précisément déclenche ainsi la décomposition de la roche. La poussière de mica qu'on remarque très souvent sur la tranche de la terre pure sédimentée convainc à l'évidence qu'une grande partie du mica notamment est, certes, effectivement désagrégée dans le sol, mais ne peut être encore complètement décomposée en ses particules élémentaires. En fait, ce minéral ne semble pas susceptible d'une transformation totale, mais bien d'une division infiniment fine, il est souvent si finement divisé dans le sol qu'on ne le reconnaît pas à l'œil nu, ou le remarque seulement, poussière étincelant à la lumière du soleil, après que la terre a été rendue liquide et pour autant que l'eau tourbillonne.

La dissolution et transformation complète de la roche déjà désagrégée ne se poursuit que lentement, même dans la terre pure, voilà justement la précaution bienfaisante de la nature pour le monde végétal ; car si toutes les substances élémentaires étaient libérées simultanément lors de la désagrégation, elles seraient en peu de temps emportées par l'eau et ainsi perdues pour les plantes. Ces substances ne sont en fait dissoutes que peu à peu et apportées ainsi à la plante en continu et autant qu'elle requiert pour sa nutrition du moment, dès qu'elles sont en circulation après leur dissolution, elles peuvent être tout de suite saisies et aspirées par les racines. Ainsi seulement la terre pure devient-elle terre arable fertile, source nutritive durable pour la plante.

Il y a du sol qui contient jusqu'à 90% de terre pure dans laquelle cependant à peine 2% de substances élémentaires sont vraiment dissoutes, en sorte que la plus grande partie de la silice, du talc et calcaire etc. est pour l'heure encore bloquée. Des millénaires peuvent s'écouler avant que ceux-ci ne parviennent peu à peu à la liberté pour rejoindre le cycle de vie des plantes, sauf si l'homme leur vient en aide et par son art accélère la dissolution.

*Le sol peut donc bien manquer de matières organiques, mais à peu d'exceptions près jamais de substances minérales, elles n'y sont toutefois pas toujours présentes dans l'état qui leur permet de convenir immédiatement à la plante, puisqu'en culture continue elles sont plus vite consommées qu'elles ne sont dissoutes. Le sol en culture ne perd que les minéraux actuellement dissous et non pas tous ses nutriments minéraux, ils n'ont donc nul besoin de lui être aussi restitués, il est seulement nécessaire de stimuler leur dissolution par un amendement approprié. Qu'ils doivent être encore présents en abondance, nous l'observons à la forêt, elle croît sans jamais être fumée artificiellement, or il ne fait pas de doute qu'elle aussi a besoin de nutrition minérale.*

*La désagrégation ne cesse pas, jusque dans la terre arable, elle y est même encouragée considérablement par l'acide carbonique du moder. C'est pourquoi justement les composantes minérales massives qu'elle contient se trouvent aussi à tous les stades de la transformation, il n'est pas rare qu'à l'examen attentif s'y révèlent de petits grains ou fragments d'une roche pourrie, tellement désagrégés qu'à l'état humide ils se laissent complètement réduire en poussière, parfois même la fraction la plus importante est constituée de telles ruines friables. Séchés, ils durcissent de telle sorte qu'ils se laissent râper comme de la craie, cependant ils ne peuvent plus être considérés comme des roches solides sauf s'ils contiennent encore un noyau solide à l'intérieur, comme c'est souvent le cas dans le sol de basalte, phonolithe et porphyre, par quoi leur véritable nature nous est aussi révélée.*

*Seules les ruines de roches siliceuses, comme le mica, se conservent presque intactes dans le sol, elles semblent indestructibles. Sur les dépôts de pierraille, on trouve bien des palets pourris de serpentine, porphyre, Grauwacke etc., mais ce serait peine perdue si nous voulions y chercher un silex, jaspe dégradé et pourri ou tout autre silicate dégradé, et pourtant il ne fait aucun doute qu'ils ont été exposés aussi longtemps que les précédents aux actions de l'atmosphère. Quant à leur forme, il en est de même pour les composantes organiques que pour les composantes minérales de la terre arable, elles sont également présentes dans le sol arable, en partie pulvérulentes et impossibles à identifier plus avant comme acide humique ou poussière de moder, en partie encore clairement identifiables en tant que petits éclats de bois, racines et fibres de racines, feuilles, aiguilles, gousses, grains de semence et autres parties végétales à l'état pourri ou à moitié décomposé, souvent aussi carbonisé sous forme de tourbe ou charbon de moder.*

Dans cette section, Fallou montre son grand sens de l'observation de terrain avec une description minutieuse des différentes particules de sol, selon aussi qu'elles sont en place ou ont été transportées. Il distingue ce que l'on peut voir à l'œil

nu à la fois par la forme et la taille sans qu'une échelle quantifiée systématique ne soit utilisée : bloc, palet, galet, pierraille, gravier et sable. À cela il faut ajouter la « poussière » et la « terre pure ». Les blocs sont caractérisés par leur poids (> 50 kg), les palets sont « plus petits » que les blocs et les galets de la taille d'un « œuf de poule ». La pierraille correspond à un amas de tailles intermédiaires entre celles d'un « pois » et d'une « noix » ; le gravier est constitué de « miettes » anguleuses et le sable (fin ou grossier) a une taille variable entre la « semence de pavot » et le « petit pois ». Le sable n'a pas nécessairement la forme de grains arrondis, il peut aussi avoir celle de paillettes. Plus fin que le sable, et non distinguable à l'œil nu, ce sont les poussières. Sous forme de « débris poussiéreux », on a la « farine de sable » qu'il vaudrait mieux appeler, selon Fallou, « farine de pierre » pour éviter l'utilisation du mot sable. À côté de cette classification, il y a aussi les amas de particules minérales microscopiques « voire atomiques », la « terre pulvérulente » ou « terre pure » formée en partie d'argiles, mais pas uniquement. Mélangée aux substances organiques, elle participe de la terre arable et en est le compartiment essentiel – « le raffiné » (car riche comme on raffine les minerais) – pour la nutrition de la plante (voir aussi section e, ci-dessous), Fallou écrit « Elle est le stade le plus avancé de l'altération ». Fallou nous présente donc une classification des particules du sol mais dont les limites ne sont pas quantifiées selon le système métrique. Cette classification est toutefois bien basée sur le processus d'altération des roches, et la description de la forme prend fortement en compte l'origine de la roche-mère. Le caractère résistant du quartz et du mica sont bien mis en avant. Si cette classification nous paraît un peu simpliste de nos jours avec l'absence de limites granulométriques clairement définies, il faut toutefois signaler que, pour l'époque, cette approche est déjà très originale. En effet, si l'on consulte les grands traités d'agronomie contemporains comme ceux de Gasparin (éditions de 1843 à 1860) ou de Boussingault (1851), on doit constater que les caractérisations générales des sols sont essentiellement basées sur l'analyse chimique et que, concernant les particules élémentaires, on ne réfère qu'au sable et à l'argile et, encore, sans en donner un équivalent en taille ni un mode de séparation. Fallou, dans la section suivante (e), évoque un début de méthodologie (voir ci-dessous). Un petit historique de cette question est donné dans un article récent de Richer de Forges *et al.* (2008) à propos de l'apparition des triangles de texture, et c'est probablement Massee en 1860 qui publie (dans une revue un peu secondaire) l'une des premières méthodes élaborées de fractionnement granulométrique des particules de sol, donc de manière très contemporaine aux écrits de Fallou.

Fallou revient aussi sur le rôle des matières organiques (le « moder ») qui, par l'acide carbonique qui résulte de sa décomposition, va accélérer l'altération chimique des débris minéraux grossiers du sol, et donc la fourniture de nutriments minéraux à la plante. Alors que dans le chapitre précédent Fallou disait qu'il fallait restituer les éléments exportés par les

cultures par des engrais, il dit ici que ces restitutions ne sont pas nécessaires mais qu'il est « seulement nécessaire de stimuler leur dissolution (la dissolution des éléments nutritifs) par un amendement approprié ». Ces deux approches sont à appliquer dans des sols ayant des statuts différents en éléments nutritifs. Cette question est très actuelle. On propose par exemple d'utiliser des plantes transgéniques ayant une capacité élevée à utiliser les réserves en P du sol dans des sols pauvres en P assimilable, mais cette stratégie n'est pas applicable sur le long terme aux sols contenant de très faibles teneurs en P total. Fallou n'est pas opposé à la théorie minérale de la nutrition des plantes selon Liebig, mais n'en tire pas du tout les mêmes conséquences en terme de gestion de la fertilité que le feront les successeurs de Liebig, comme Ville (1867), à peu près à la même époque. Enfin, Fallou suggère que les éléments nutritifs peuvent être entraînés par l'eau et perdus pour la plante s'ils sont libérés en quantité excédant les besoins de plantes. Là encore on retrouve un thème de recherche très contemporain en sciences agronomiques.

### **e. Contenu du sol ou proportion du mélange de ses particules**

Toute cette section est consacrée à l'importance de la « terre pure » dans (i) la différenciation du sol par rapport à la roche-mère, (ii) son rôle dans la fourniture d'éléments nutritifs pour la plante, (iii) son importance pour les propriétés physiques du sol, et, (iv) globalement pour la valeur économique du sol. Cette « terre pure » correspond approximativement à notre fraction dite « argile+limon » de taille inférieure à 50 µm. Laissons Fallou nous présenter cette « terre pure ».

*Forme et taille des composantes fondent non seulement la distinction entre sol et terre, mais également la valeur économique de cette dernière selon sa teneur, ou la proportion de terre pure par rapport à roche inerte ; car il n'est pas indifférent, comme déjà mentionné plus tôt, que le sol contienne beaucoup ou peu de cette terre, la véritable source nutritive des plantes, ou que les aliments des plantes qui s'y trouvent soient déjà dissous ou encore bloqués dans la roche inerte. Peu importe si ces matières sont vraiment contenues dans le sol, ce qui compte est qu'elles y soient présentes sous une forme qui puisse les rendre utiles à la plante. Ceci est seulement possible après qu'elles ont été libérées de manière telle que les plantes puissent aussi les absorber. Si elles ne sont pas encore totalement dissoutes dans la terre pure, du moins en contient-elle toujours assez pour satisfaire à la subsistance de la plante. Ce n'est donc pas la roche inerte mais bien la terre pure qui confère au sol sa valeur. Tout comme pour une pièce d'or ou d'argent ce n'est pas l'ajout de cuivre mais le métal noble de celle-ci, il faut la considérer comme la partie la plus noble du sol, la roche inerte n'étant qu'ajout superflu ou matière de rebut.*

*La teneur en cette terre pure est ainsi l'essentiel lorsqu'il s'agit de la valeur économique d'un sol ; car ceci est avéré : plus la teneur augmente, plus le sol est fertile, car la plante ne saurait tirer sa nourriture de la roche inerte, mais bien de la terre pure, les propriétés physiques du sol qui s'y rattachent n'étant pas prises en compte pour le moment... En règle générale, ceci est bien le cas pour tout sol à haute teneur et pour l'agriculteur la détermination de la teneur est alors prépondérante en vue de l'appréciation et estimation de sa valeur, bien plus urgente que la détermination de sa composition élémentaire, car si le sol ne contient pas de terre pure, il ne peut être une terre arable et est inutilisable comme telle, de quels éléments ce sol ingrat est constitué peut donc lui être parfaitement égal.*

*En outre, la teneur du sol est aussi d'importance en raison de l'influence qu'elle exerce sur son état et par conséquent aussi sur la difficulté accrue ou réduite de son travail ; car la structure dépend aussi de la teneur, formant en conséquence une masse tantôt compacte, tantôt meuble, tantôt informe, pulvérulente et dépourvue de lien. A son tour, le comportement du sol face à l'atmosphère et ses précipitations, face à la pluie et au soleil, les deux piliers de la végétation, dépend également de la structure. Le sol d'éboulis sans teneur peut être aussi fortement inondé par la pluie, il se desséchera pourtant bien vite et devra être abandonné à la flore de la forêt, tandis qu'un sol argileux à forte teneur retient l'eau bien plus longtemps. Ce sol sera, certes, moins tempéré par le soleil, mais se maintient en revanche plus longtemps humide, ce qui est toujours plus avantageux pour des plantes cultivées nobles que la chaleur brûlante d'un sol de pierraille informe dans lequel elles doivent périr. Même s'il n'est pas rare de voir ce dernier cultivé, les récoltes ne s'y maintiennent que grâce à une forte fertilisation en moder végétal ou par le fait que ce sol est constamment maintenu humide par des eaux se trouvant en profondeur...*

*L'examen du sol quant à ces composantes, leur forme et leur proportion entre elles, est simultanément aussi la base de sa reconnaissance physique, le véritable diagnostic scientifique du sol, sur lequel l'économiste praticien devrait aussi s'appuyer quand il veut judicieusement déterminer la valeur d'une parcelle. La grande diversité de teneur et par conséquent aussi d'état du sol de granit contredit tout à fait l'affirmation erronée que l'analyse chimique est nécessaire mais aussi parfaitement suffisante à l'évaluation et appréciation correctes d'un sol et donc chose essentielle pour l'agriculteur. On dit : le sol de granit est fertile car sa roche sous-jacente est composée de quartz, mica, feldspath, ainsi de silice, d'argile, de potassium, de sodium et d'oxyde de fer. On ne peut cependant seulement le déclarer fertile que lorsque la roche sous-jacente s'est complètement désagrégée et transformée en terre. Il y a cependant des sols de granit dans lesquels pas même le tiers de celle-ci*

s'est désagrégée, et dans lesquels la plus grande partie des éléments mentionnés plus haut sont encore liés dans la roche solide. Un sol de granit brut pareil, composé presque uniquement de débris, appartient aux types de sols les moins fertiles, quand de plus, ceci s'accompagne d'une haute altitude et d'une faible profondeur. L'analyse chimique est ainsi inutile pour un tel sol, car on connaît par elle ses substances élémentaires, mais on ne peut pas sans autre le déclarer fertile...

Suivent quelques éléments d'explication sur la variabilité de la teneur en « terre pure », pour un sol développé sur une même roche-mère selon la structure de la roche-mère elle-même et selon la position du sol dans le paysage. Mais ces aspects seront développés dans un chapitre ultérieur.

Fallou termine cette section avec quelques réflexions méthodologiques sur le fractionnement granulométrique :

*La teneur (en terre pure) est déterminée par percolation ou fusion différentielles, ou par mise en suspension et lavage, et pour la matière organique spécialement par l'incinération. La fraction de poussière du sol est plus légère que la roche inerte, ce qui fait qu'elle reste un temps en suspension dans l'eau tandis que la dernière tombe au sol, et permet de la séparer de celle-ci. Cette opération est également déjà nécessaire pour déterminer la composition minérale du sol, elle doit nous aider dans l'analyse minéralogique, la méthode habituelle de la mise en suspension est cependant souvent aussi imprécise que l'analyse chimique. La liturgie du sol, ou le protocole pour une analyse scientifique et l'utilisation technique de celle-ci, n'appartient pas à la science du sol, nous la considérons comme une discipline en soi, ce pourquoi nous n'avons pas besoin d'expliquer ici plus avant la mise en suspension et décantation.*

## **f. Différenciations générales du sol par rapport à la substance, à la forme et à la taille de ses particules. Sol d'origine et alluvions**

Fallou aborde ici les grandes différences morphologiques entre les sols « en place » et les sols transportés et déposés. Les extraits de Fallou parlent d'eux-mêmes :

*La roche inerte séparée de la terre pure est parfois composée d'éclats et de débris anguleux que l'on reconnaît tout de suite comme particule détachée de sa roche sous-jacente, parfois ce sont des débris arrondis, des matériaux déplacés composés de roches différentes et différentes de la roche sous-jacente, et de ceci nous concluons que ce sol n'a pas pu se développer dans son emplacement d'origine mais a été emporté par des eaux tumultueuses, et déposé sur la roche sous-jacente. On trouve alors dans la substance et*

*la forme de ces composants du sol massif et pas encore altérés, la preuve de sa formation différente, de sorte qu'il nous faut reconnaître ici une différence principale, un sol d'origine, ou natif et un sol alluvial, ou déposé ; car tout sol, pour autant qu'il se soit formé par altération à la surface de la terre et non par des organismes organiques vivants, est soit identique avec la roche sous-jacente, sur laquelle il repose actuellement, soit en est différent, en ce qui concerne sa composition minérale.*

*Dans le premier cas, c'est exclusivement la roche sous-jacente qui a livré le matériau au sol, il découle de ses composants, qu'il ne peut s'être formé que par l'altération de cette roche, car il n'est rien d'autre que la roche sous-jacente elle-même, altérée et plus ou moins décomposée. Il repose aussi toujours à sa première location (location primaire) et colle comme de la rouille au métal à sa roche d'origine, sans qu'il soit pour autant affirmé que ce soit encore le même sol qui s'y soit déjà développé depuis millénaires et dès le début, au contraire, actuellement encore, selon la localisation, une partie en est lessivée, cette perte cependant est constamment complétée par l'altération, seule la composition reste la même, il ne s'y ajoute rien de l'extérieur, et nous l'avons pour cela appelé sol d'origine, parce qu'il vient apparemment de sa roche sous-jacente et est à considérer comme premier sol par rapport au sol sur alluvions.*

*Dans le deuxième cas, nous avons un sol, auquel plusieurs types de massifs et différents minéraux ont apporté ensemble ou cumulativement leur contribution, il montre par sa composition qu'il n'a pas pu se développer sur sa roche sous-jacente, mais complètement indépendamment de celle-ci et repose actuellement sur une autre localisation (localisation secondaire), apparemment déplacé par un « alluvion » de l'endroit où il s'est formé, et transféré à son emplacement actuel. Nous l'avons pour cela appelé alluvial. On peut aussi comprendre sous ce terme le sol déplacé par le vent, car l'air est également un liquide qui s'écoule, par lequel le sol peut être déplacé d'un endroit à l'autre et être transféré à une autre place...*

*Ce sont là les deux principales divisions du sol, pour autant qu'il soit formé de roche désintégrée et désagrégée et non pas uniquement d'humus (Moder) végétal ou de restes fossiles d'êtres organiques, et tous les types de sol purement minéraux trouvés dans la nature sont de ce fait soit sur gravats primaires soit sur gravats sédimentaires.*

*Les caractéristiques auxquelles on reconnaît ces deux divisions principales des sols et qui permettent de ce fait de les différencier entre eux, sont les suivantes.*

**1** *Les types de sols sur gravats primaires ne contiennent que des débris de leur roche sous-jacente. Il peut s'y trouver des fragments d'autres roches ou minéraux, mais ils ne sont à considérer que comme des composantes secondaires et sont soit ceux contenus comme sécrétions dans la roche*

d'origine du sol, dans ses veines, nids, druses ou bulles, soit ceux emportés d'une autre roche située plus haut et mélangées dans le sol situé plus bas.

Dans les types de sols sur gravats sédimentaires en revanche on trouve des débris de roches qu'on ne retrouve pas en profondeur sous le sol et desquels on ne retrouve souvent aucune trace dans les environs. On trouve dans un et même sol en même temps des matériaux transportés par l'eau contenant du quartz, des roches siliceuses, du gneiss, du granit et du calcaire, desquels ni l'un ni l'autre ne se trouve effectivement dans les environs. Le sol charrié est alors complètement différent de sa roche sous-jacente, la plupart du temps un mélange de roches plus ou moins dégradées, très diverses et d'origine complètement inconnue...

**2.** Les composantes massives non encore dégradées des gravats primaires sont en règle générale, pour ce qui concerne leur forme, des éclats et fragments anguleux, ou des grains carrés, qui peuvent souvent être reconnus du premier coup d'œil déjà comme des composantes originaires de sa roche sous-jacente, nous sommes d'autant moins dans le doute à cet égard que cette dernière se retrouve déjà en général à faible profondeur, les débris imbriqués ne sont visiblement rien d'autre que de la roche sous-jacente dégradée, souvent la masse entière du sol n'est composée que de telle roche désintégrée, un mélange apparent de grenaille, débris et fragments pesant une livre.

Pour ce qui est de leur forme, les composantes non encore dégradées des gravats sédimentaires sont en revanche, à peu d'exceptions près l'apparence de graviers, des débris, de sable, palets et galets arrondis et polis par le frottement. Cela prouve qu'ils ont été charriés par des eaux courantes, emportés de leur lieu d'origine pour être déposés dans une région complètement différente.

**3.** Le sol des gravats primaires, en général peu important, sans élément de transition et toujours sans stratification, repose de manière superficielle à même sa roche sous-jacente, il ne forme qu'une couverture légère de celle-ci, raison pour laquelle il se trahit aussi souvent par la seule présence de ses ruines à l'air libre, sans qu'il soit besoin de les dégager, car plusieurs types de sols ne se trouvent jamais superposés.

Le contraire se produit sur les gravats sédimentaires, ils forment en général une couverture relativement lourde et massive, sous laquelle la roche sous-jacente se cache à une profondeur indéterminée et se dérobe à l'observation, de sorte qu'on ne peut la détecter souvent sur des milles à la ronde. Nous sommes néanmoins complètement convaincus de leur formation par charriage, parce qu'ils se composent en général de plusieurs types de sols considérablement différents, ou tout au moins reposent sur un substrat d'alluvions, qui prouve justement le déplacement.

Toute la masse est en fait stratifiée, bien souvent divisée en

deux couches ou étages distincts, dont l'inférieur, ce substrat de sable et de galets, est d'ordinaire très clairement séparé de la couche supérieure. Les deux couches, donc chacune peut à son tour être composée de plusieurs strates doivent s'être développées à des moments et de manière différents ; car les galets impliquent un courant, tandis que le sol de terre qui les recouvre n'a pu se former que par sédimentation en eau calme et un dépôt important à plusieurs strates requiert une durée prolongée et un charriage périodique répété ...

**4.** Les types de sol sur gravats primaires demeurent en général confinés à la limite de leur roche sous-jacente, même s'ils ne sont pas toujours nettement délimités, ils ne vont guère au-delà de cette frontière. Celle-ci peut souvent déjà se reconnaître à la couleur. Ainsi, la délimitation entre les roches du permien et les schistes argileux et micacés sur le versant nord de l'Erzgebirge dans la région de Chemnitz et Glauchau par exemple se remarque à la couleur frappante du sol, la délimitation entre le calcaire lacustre et le grès de Keuper dans le Fichtelgebirge est parfois si nette qu'on peut la franchir d'un seul pas.

En revanche les types de sol sur gravats sédimentaires ne sont pas liés aux frontières de la roche sous-jacente, ils n'ont aucune relation avec celle-ci, et un seul et même type de sol s'étend souvent bien au-delà de ces frontières, alors qu'une seule et même roche comme par exemple le schiste de Grauwacke de la vallée du Rhin et les gaizes de la vallée de l'Elbe, est recouverte par plusieurs types de sols situés côte à côte...

Ces différenciations générales ne trouvent pas d'application au sol végétal à moder des landes, forêts et tourbières, uniforme également en règle générale, il n'est ni natif, ni apporté, et constitue ainsi une formation particulière et indépendante vis-à-vis de tous les autres types de sol, cependant, comme il n'a pu se développer que sur un sol déjà présent, car la végétation suppose déjà du sol, nous ne le considérons que comme une accession (terme d'origine que l'on pourrait remplacer par « variante ») des autres types de sol.

## BIBLIOGRAPHIE

- Aeschlimann J.P., Frossard E., Feller C., 2010 - Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie ». 3. Chapitre 1 « Genèse du sol ». *Étude et Gestion des Sols*, 17 (3-4) : pp. 67-74.
- Boussingault J.B., 1851 - *Economie rurale considérée dans ses rapports avec la chimie, la physique et la météorologie*. Deuxième édition. Tome . Paris, Béchet Jeune, Libr.-éd., 819 p.
- Fallou F.A., 1862 - *Pedologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde*. G. Schönfeld's Buchhandlung, Dresden, 487 p.
- Feller C., 1997 - The concept of soil humus in the past three centuries. *In* : « History of Soil Science », D.H. Yalon & S. Berkowicz eds. *Advances in GeoEcology*, 29 : pp. 15-46. Reiskirchen, Germany.
- Feller C. et Boullain J., 1987 - La réapparition du mot Humus au XVIIIe siècle et sa signification agronomique. *Revue Forestière Française*, 39 (6) : pp. 487-495.
- Feller C., Thuriès L., Manlay R., Robin P., Frossard E., 2003 - The principles of rational agriculture by A.D. Thaer (1752-1828). An approach of the sustainability of cropping systems at the beginning of the 19th Century<sup>1</sup> *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166: pp. 687-698.
- Feller C., Aeschlimann J.P., Frossard E., et Lutz V., 2008 - Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie » - La Préface de l'ouvrage. *Étude et Gestion des Sols*, 15 (2) : pp. 131-137.
- Frossard E., Aeschlimann J.P., Feller C., Lutz V., 2009 - Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie » - L'Introduction de l'ouvrage. *Étude et Gestion des Sols*, 15 (4) : pp. 161-173.
- Gasparin Cte de, entre 1843 et 1860 - *Cours d'agriculture*. Troisième édition, Tome 1, Librairie Agricole de la Maison Rustique, Paris, 696 p.
- Jabiol B., Feller C., Greve M.H., 2005 - Quand l'humus est à l'origine de la pédologie. 2. Avant et après P.E. Müller : évolution des conceptions sur la description et la typologie des « humus ». *In* Feller C., Legros D. (eds), N° Spécial «Histoires d'Hommes et de Concepts en Science du Sol», *Étude et Gestion des Sols*, 12 : pp. 123-134.
- Kubiena W.L., 1953 - *Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas*. F. Enke Verlag, Stuttgart, 392 p.
- Masure F., 1860 - *Analyse physique des terres arables par la méthode et avec l'appareil de M. Masure*. Extrait de la *Revue des Sociétés Savantes*. Imprimerie et Librairie Administratives de Paul Dupont, Paris, 15 p.
- Richer de Forges A., Feller C., Jamagne M., Arrouays D., 2008 - Perdus dans les triangles de texture. *Étude et Gestion des Sols*, 15 (2) : pp. 97-111.
- Ville G., 1867 - *Les engrais chimiques. Entretien agricoles*. Librairie Agricole, 3 t., Paris.



# PUBLICATIONS ET DOCUMENTS PUBLIÉS PAR L'AFES

## Revues

### Science du Sol

Revue scientifique publiée de 1952 à 1993.

Elle comporte 300 à 400 pages par an. Un index est présenté tous les ans dans le quatrième numéro.

A cessé de paraître fin 1993. Certains numéros disponibles.

### La Lettre de L'Association

Publiée quatre fois par an, ce journal annonce les nouvelles de l'association, les réunions nationales et internationales ; il donne des critiques d'ouvrages, de thèses, de la documentation, etc.

La Lettre est envoyée à chaque adhérent de l'association : elle accompagne l'adhésion.

Rédacteur en chef : F. Féder.

### Etude et Gestion des Sols

Revue trimestrielle, francophone traitant de la connaissance et de l'usage des sols.

Rédacteur en chef : D. Arrouays.

Rédacteurs en chef Adjoints : D. Baize, D. Schwartz

Secrétariat de rédaction : F. Héliès, C. Laveuf, J.-P. Rossignol.

Le Comité éditorial est composé de trente six membres de France et de pays francophones.

## Ouvrages

### Le Livre Jubilaire (1984)

Point sur les acquis à cette date en matière de science du sol et de pédologie.

### Fonctionnement hydrique et comportement du sol (1984)

### Podzols et podzolisation

par D. Righi et A. Chauvel : ouvrage publié en coédition par l'AFES et l'INRA, avec le concours du CNRS, de l'ORSTOM, et de la région Poitou-Charentes (1987).

### Micromorphologie des sols/ Soil micromorphology

par N. Fédoroff, L.M. Bresson, Marie Agnès Courty, publié par l'AFES avec le concours du CNRS, de l'INAPG, de l'INRA, du Ministère de l'Environnement et de l'ORSTOM (1985) (épuisé).

### Carte mondiale des sols et sa légende (1984)

Présentée sous forme numérique.

### Le Référentiel Pédologique

par D. Baize et M.-C. Girard, (Coord.) AFES, Association Française pour l'Etude du Sol (FRA), Editions Quae, Versailles (FRA) ; 2009. 405 p. - Collection Savoir-Faire.

### Synthèse nationale des analyses de terre : Période 1990-1994

par C. Walter, C. Schwartz, B. Claudot, P.-Aurousseau et T. Bouedo, avec le concours du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

### Actes du XVI<sup>e</sup> Congrès Mondial de Sciences du Sol, Montpellier - Août 1998

