

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

## V - Chapitre 3 « Nature du sol »

### Comparaison avec A. de Gasparin

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

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

\* : Auteur correspondant : christian.feller@ird.fr

#### RÉSUMÉ

Dans quatre articles précédents (Feller *et al.*, 2008, Frossard *et al.*, 2009, 2011, Aeschlimann *et al.*, 2010), nous avons publié et commenté la traduction intégrale en français de la préface, de l'introduction et du premier chapitre (consacré à la « Genèse du sol »), et donné des extraits du deuxième chapitre d'un ouvrage (1862) publié en allemand par F.A. Fallou (1794-1877) qui fut le créateur du terme « Pedologie » (en allemand). La présente contribution comprend la traduction française complète, accompagnée de quelques commentaires, du troisième chapitre intitulé « Nature du sol » de cet ouvrage. Il y est question des diverses propriétés « générales » (« couleur », « assemblage », « densité ») et « particulières » (« porosité », « pénétrabilité », « solubilité ») du sol. Elles seront discutées en relation avec des extraits du *Cours d'agriculture* de Gasparin (1860), consacrés aux propriétés physiques des sols.

#### Mots clés

Pédologie, histoire, Fallou, nature du sol, Gasparin.

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

**SUMMARY****FRIEDRICH ALBERT FALLOU (1794-1877) AND HIS « PEDOLOGIE ».****V. Chapter 3. "Nature of the Soil. Comparison with A. de Gasparin"**

In four previous papers (Feller et al., 2008, Frossard et al., 2009, 2011, Aeschlimann et al., 2010) a complete French translation of Fallou's Foreword, Introduction and Chapter 1 (Genesis of the Soil) and extracts of his Chapter 2 were published. The present contribution provides the complete French translation of his Chapter 3 entitled "Nature of the Soil". Under the term of « nature » Fallou understood various soil « general » (« colour », « components assembly », « density »), as well as « particular » (« porosity », « penetrability », « solubility ») properties, which will finally be discussed in relation to Gasparin's (1860) Cours d'agriculture dealing with the physical characteristics of the soil.

**Key-words**

Pedology, history, Fallou, nature of soil, Gasparin.

**RESUMEN****PEDOLOGÍA, HISTORIA, FALLOU, NATURALEZA DEL SUELO, GASPARIN**

En cuatro artículos precedentes (Feller et al., 2008, Frossard et al., 2009, Aeschlimann et al., 2010) publicamos y comentamos la traducción integral en francés del prefacio, de la introducción y del primer capítulo (« dedicado a la génesis del suelo ») y dimos extractos del segundo capítulo de una obra (1862) publicada en alemán por F.A. Fallou (1794-1877) quien fue el creador del término « pedología » (en alemán). La presente contribución comprende la traducción francesa completa, acompañada de varios comentarios, del tercer capítulo titulado « naturaleza del suelo » de esta obra. Se trata de varias propiedades "generales" ("color", "ensamblaje", "densidad") y "particulares" ("porosidad", "penetrabilidad", "solubilidad") del suelo. Serán discutidas en relación con extractos del Curso de agricultura de Gasparin (1860) dedicados a las propiedades físicas de los suelos.

**Palabras clave**

Pedología, historia, Fallou, naturaleza del suelo, Gasparin

**A**vant d'aborder ce chapitre lui-même, il faut rappeler la démarche des auteurs de cette série d'articles consacrée à l'œuvre majeure de Fallou qu'est *Pedologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde*. À notre connaissance, l'ouvrage, à ce jour, n'a été traduit ni en français, ni en anglais, et il nous a paru nécessaire, compte tenu de son importance pour l'histoire de la pédologie (cf. Feller *et al.*, 2008), d'en mettre de larges extraits en version française à disposition de la communauté francophone de science du sol. Ceci présume 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 l'ouvrage dans sa totalité.

En conséquence, nous avançons dans l'ouvrage et la découverte de la pensée de Fallou pratiquement au même rythme que le lecteur. Ceci présente l'inconvénient que des notions qui peuvent tout d'abord 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 on pourra être conduit à reprendre la discussion de concepts (comme la nutrition des plantes) ou de termes (comme celui de « moder ») déjà abordés lors de commentaires précédents.

Ce troisième chapitre traite pour l'essentiel des propriétés physiques des sols, lesquelles seront discutées en référence au Cours d'agriculture (1843-1848) de Gasparin (1783-1862), publié peu avant l'œuvre de Fallou et que ce dernier aurait pu connaître. Tout le texte en italique est de Fallou, les parties en caractère courant, notes de bas de page comprises, sont dues aux auteurs de cet article. L'organisation adoptée par Fallou pour le présent chapitre 3 est la suivante :

- a. Propriétés fondamentales du sol
  - b. Propriétés générales importantes du sol
    - 1. Coloration
    - 2. Assemblage
    - 3. Densité
  - c. Propriétés particulières importantes du sol
    - 1. Porosité
    - 2. Pénétrabilité ou imprégnabilité
    - 3. Solubilité ou dissolution
  - d. Propriétés et états fortuits du sol
    - 1. Humidité
    - 2. Chaleur
    - 3. Électricité
    - 4. Autres propriétés

## TROISIÈME CHAPITRE NATURE DU SOL

### Les propriétés fondamentales du sol

*La nature du sol (qualité) est l'expression de ses particularités, de ses caractéristiques, par lesquelles non seulement il se différencie des autres corps naturels, mais aussi se peut reconnaître dans sa propre altérité de telle sorte que tout type de sol peut être distingué des autres. Elles sont en partie importantes car relevant directement de son essence, en partie accessoires car n'en relevant pas nécessairement.*

*Les premières sont soit générales, que le sol a en commun avec tous les autres corps naturels et en particulier les formes de roches qui lui sont apparentées, soit particulières, lesquelles appartiennent uniquement au sol et le différencient ainsi des diverses formes de roches. Cependant, d'un autre point de vue, nous nommons également caractéristiques particulières celles qui se retrouvent non pas dans tous, mais au contraire dans l'un ou l'autre type de sol seulement. Par ailleurs, générales tout comme particulières peuvent aussi bien être simultanément extérieures ou intérieures selon qu'elles sont immédiatement reconnaissables on non à la vue et au toucher.*

### Propriétés générales importantes du sol

*Ce sont la coloration, l'assemblage et la densité.*

*1. Coloration. Lors de l'observation physique du sol comme de tout autre corps naturel, la coloration est le premier caractère extérieur qui touche l'œil et bien qu'elle ne suffise pas à une reconnaissance et identification certaines à elle seule, elle constitue néanmoins, comme il s'avèrera ultérieurement, une propriété importante du sol cultivé en particulier. Il faut prendre ici en considération la diversité de celle-ci, son origine et son influence sur la température du sol.*

*Dans la nature, tout perd sa teinte originale au cours de la désagrégation et du pourrissement, la roche la plus dure comme la plante fleurissant sous son plus somptueux coloris. Produit de la désagrégation, le sol cultivé n'a pas non plus une coloration séduisante aussi n'est-il pour beaucoup qu'une saleté repoussante. Brun et jaune dominant, que l'on peut considérer comme les deux couleurs principales du sol encore qu'avec la plus grande multiplicité de nuances et de transitions, en sorte qu'on est bien souvent plongé dans la perplexité quant à la désignation exacte, la première comme un brun jaunâtre, grisâtre, rougeâtre ou noirâtre, la seconde comme un jaune blanchâtre, grisâtre, rougeâtre ou brunâtre. Blanc et noir parfaitement purs se rencontrent rarement et jamais dans le véritable sol cultivé : le premier p. ex. dans le kaolin dérivée de roches à feldspath, ou la*

porcellanite, la marne crayeuse et la marne de Pläner<sup>2</sup>, le second, parfois dans le sol de tourbe à l'état humide, alors que tout sol en cet état acquiert une teinte plus sombre, comme le tapis herbacé ou la couche de sol arable qui sont toujours plus sombres que la terre dite vierge du sous-sol en raison de la végétation et du « moder<sup>3</sup> » qui s'y forme par la décomposition des plantes mortes et des fertilisants.

En règle générale, la coloration n'est jamais associée à la brillance comme c'est le cas pour beaucoup de minéraux, seuls quelques types de sols imprégnés de substances résineuses ou bitumineuses présentent une surface luisante grasse et matte sur la tranche du sillon tracé par la charrue, comme le sol de schiste et de glaise, de basalte et de marne d'argile ; mais le paysan n'apprécie guère un tel sol brillant et collant.

La coloration doit surtout son origine aux deux substances métalliques manganèse et fer dont les oxydes sont toujours contenus en proportions très variables dans le sol ainsi que dans les produits de décomposition et dans les autres ingrédients apportés comme engrais<sup>4</sup> en ce qui concerne la strate supérieure ou la couche cultivable du sol. Dans le sol de tourbe elle provient seulement du carbone, dans le sol primitif parfois aussi de la désagrégation incomplète de la roche-mère car bien des roches se couvrent d'un ocre particulier au cours de la décomposition, comme la phonolithe dont les débris se revêtent d'une pellicule blanche, jaune-ocre pour le basalte et vert clair en général pour la serpentine, cependant la roche-mère ne se laisse en aucune manière reconnaître avec certitude d'après la couleur du sol<sup>5</sup>.

Elle est une caractéristique encore moins certaine pour les terres sédimentaires et ne peut l'être car celles-ci se composent en général d'un mélange de minéraux désagrégés très différents. Seuls quelques types de sol primitifs aux proportions de mélange constantes maintiennent aussi une certaine stabilité de la coloration, les types de sol suivants notamment se faisant

reconnaître presque partout par cette même coloration singulière, en sorte qu'on peut la considérer comme la norme :

le sol de basalte, brun sombre

le sol de dolomie, brun jaunâtre sombre

le sol de grès rouge-brun

le sol de grès multicolore gris-rougeâtre

le sol de pierre de taille, jaune grisâtre clair

le sol de schiste et de glaise, rouge sang ou brique.

La couleur noire ou brun sombre amène toujours à conclure à la présence d'une addition considérable de matière organique végétale. Le sol cultivé de sable de gravier, p. ex., ne doit qu'à la fertilisation soutenue et forte sa coloration brun-noir, car de nature elle est jaune-grisâtre.

Le sol de schiste à mica ne se distingue pas seulement par une coloration particulière, que bien davantage par le scintillement des particules de mica abondamment présentes, de même que les sols de granite, granulite, porphyre, argile et schiste de Grauwack ne se différencient extérieurement les uns des autres que par leurs débris visiblement rapportés, non encore désagrégés.

La coloration a surtout une importance du point de vue économique car elle exerce la plus grande influence sur la capacité d'échauffement, donc sur la température du sol, car il est bien connu que tous les corps de couleur sombre sont plus chauffés par la lumière solaire que ceux de couleur claire, il n'est pas moins connu que la matière organique se décompose plus rapidement, la semence germe plus tôt et la plante se développe plus vigoureusement dans un sol chaud que dans un froid, c'est pourquoi aussi, toutes proportions de situation et d'épaisseur, de composition minérale et de consistance égales par ailleurs, le sol sombre méritera toujours la préférence sur un sol pâle et couvert. La coloration sombre s'avère particulièrement bénéfique dans les rudes régions septentrionales ou élevées où la maturation des récoltes importe tant. Même en été, les montagnes sont souvent prises pendant des semaines dans le brouillard et les nuages et, quelle que soit sa profondeur, leur sol reste toujours humide et, ne serait-ce que pour cette seule raison, déjà plus froid que dans les plaines. Il est donc en tout cas souhaitable que celui-ci, sitôt que le ciel est dégagé, soit fortement chauffé par le soleil. Bien qu'ils ne semblent pas accorder de valeur particulière à la coloration, les anciens auteurs, eux aussi, tiennent la coloration sombre pour préférable<sup>6</sup>.

Fallou affirme d'emblée que la couleur a de l'importance pour la chaleur du sol et il en tire la conséquence que la coloration joue un rôle en termes « économiques » puisqu'elle est responsable des terres « froides » et « chaudes » et donc, potentiellement, de leur productivité. Il s'agit là de ce que nous appelons de nos jours le pédoclimat. Nous reviendrons sur cette notion (ci-dessous et

2 D'après Dominique Schwartz (Université de Strasbourg) « Pläner » serait un ensemble stratigraphique de roches calcaires. Il peut s'agir aussi de ce que l'on nomme « Gaize » et, selon Baize (2004), serait une roche détritique, tendre, grise, poreuse et légère ressemblant à une craie constituée essentiellement de spicules siliceux d'éponges, d'opale et d'un peu de calcaire.

3 Par analogie avec Frossard et al. (2011), le terme « moder » est conservé ici lorsqu'il y a ambiguïté quant à la signification entre « matière organique du sol », ou « horizon d'humus ». Dans les autres cas, « moder » a été traduit par « matière organique » ou « matière organique du sol ».

4 Le terme « engrais » est généralement utilisé ici dans sa dimension de restitutions organiques.

5 À ce propos, j'ai examiné et comparé de nombreux types de sol de l'Erzgebirge avec d'autres types de sol alluviaux et me suis ainsi convaincu que la coloration ne donne aucun élément dont déduire l'origine du sol. Ont entre autres exactement la même coloration

- le sol de porphyrite d'Altenberg et celui d'argile et de schiste d'Auerbach,

- le sol de gneiss de Lengefeld et celui de diabase de Netschkau,

- le sol de granite de Kirchberg et celui de limon de Meissen et autres endroits.

6 (Gleba (sit) putris et fere nigra. Palladius de re rustica. Liv. I. tit. 5.

dans la section « Gasparin ». Sur le plan pédologique, il convient encore de souligner cette phrase importante de Fallou : « la roche-mère ne se laisse en aucune manière reconnaître avec certitude d'après la couleur du sol ».

2. Assemblage. Nous appelons assemblage (ou commissure) la manière dont les composants élémentaires du sol, différant par leur substance, forme et taille, sont arrangés les uns avec les autres, combinés ou associés pour constituer un tout. Nous utilisons ce terme dans un double sens, d'un côté par rapport à la cohérence, ou à la cohésion des différentes parties entre elles, d'un autre côté en relation avec la taille de celles-ci (le grain) et la proportion entre les plus fines particules pulvérulentes et les plus grossières comme le gravier et le sable, ou entre la terre pure et la roche inerte. Dans le premier sens, il y a un assemblage fixé ou non fixé, dans le second, il est compact ou granulé. Nous appelons mélange ce dernier.

Dans l'assemblage lié ou fixé, les particules pulvérulentes du sol (fractions d'argile ou terre pure) forment le ciment grâce auquel elles sont liées par attraction réciproque non seulement entre elles, mais encore simultanément aux autres fractions encore non désintégrées du mélange (sable ou roche inerte). Dans toute son expansion spatiale, le sol fixé constitue ainsi une masse compacte unie, la terre pure<sup>7</sup> en est l'élément liant, la roche inerte l'élément lié.

Dans l'assemblage non fixé ou libre, les divers composants se trouvent placés de telle manière, sur ou à côté les uns des autres, qu'ils ne sont maintenus ensemble que par leur propre poids, sans être fondus en une masse ferme et compacte. Le sol libre représente ainsi une accumulation, mobile dans ses divers composants, de débris plus ou moins importants de roche, mélange en général reconnaissable et brut de terre pulvérulente, de sable, gravier, éboulis et alluvions. Dans le lœss, ces débris sont assez petits et légers pour être soulevés et emportés par le vent, pourtant ils demeurent assemblés, quelle que soit leur position, tout comme un tas de pierres et d'autres choses placées sans ordre les unes au-dessus des autres, pour autant qu'aucune association ou liaison ferme ne se produise entre eux.

L'assemblage ou mélange est appelé dense lorsque les différents constituants du sol ne se laissent plus reconnaître à l'œil nu, s'ils sont si petits et si étroitement accolés les uns aux autres qu'ils forment une seule masse homogène et ferme.

Il est granulé lorsque les fractions du sol sont liées entre elles par du sable, gravier et petits apports alluviaux de telle sorte que ce mélange devient visible et détectable au toucher par les protubérances qui se créent à la surface d'une cassure. Suivant la taille du grain, il peut être grossier ou fin.

L'assemblage dense ne se trouve que dans peu de types de sols, formés par désagrégation complète, par lessivage ou précipitation en eaux stagnantes, comme les sols de marne, d'argile, de limon et de glaise. La plupart des types de sol sont granulés.

L'assemblage lié ou fixé repose soit sur la nature du liant, soit sur la proportion de ce dernier au regard de la roche inerte. Il est cependant ou lâche ou ferme, en fonction du degré de la liaison. Nous entendons en effet par liaison l'état de la fixation, c. à d. la plus ou moins forte union des particules individuelles entre elles, ou la résistance qu'à l'état sec le sol fixe oppose à une pression s'exerçant contre lui et à laquelle il peut résister avant d'être écrasé et broyé. Cette cohésion n'est toutefois pas la même pour chaque sol et nous devons donc distinguer entre un sol lâche et un sol ferme.

Le sol se dit lâche lorsque des morceaux s'en laissent écraser à la seule pression de la main et broyer entre les doigts ou tout au moins émietter comme c'est le cas pour le sol grossièrement granulé. Le cultivateur désigne cette propriété du sol par l'expression « tendre, moelleux, ou farineux ».

Le sol est ferme lorsqu'il ne se laisse ni émietter à la main seule ni broyer entre les doigts.

Une transition progressive est naturellement concevable entre ces extrêmes, en sorte qu'on pourrait évidemment proposer plusieurs degrés de liaison ou une certaine échelle de valeur, mais pour la détermination de celle-ci, il semble parfaitement suffisant de se servir de l'expression « très lâche et très ferme » pour les extrêmes de ces deux termes et de considérer au contraire lâche et ferme comme les degrés intermédiaires de la liaison ; car si importante que soit cette propriété pour le laboureur, puisqu'il ne saurait lui être égal que le travail de ses champs requière beaucoup ou peu de force de traction, il n'est cependant pas possible de la déterminer avec une précision mathématique puisqu'elle se modifie elle-même à différentes profondeurs pour un seul et même type de sol. Il n'en va pas du sol comme des minéraux simples, dont la dureté reste constante pour tous les exemplaires d'un même genre et constitue par conséquent un caractère propre reconnaissable par la plupart.

Le cultivateur juge de la liaison selon la résistance que le sol offre aux instruments de labour lors du travail, il n'a donc en vue que la partie supérieure du sol cultivé. Si on voulait en venir ici à des subtilités, alors en effet un appareil mécanique particulier serait nécessaire, car le degré de liaison devrait être déterminé en fonction du poids par lequel un pied cube ou pouce cube du sol en question se fait écraser (voir la discussion à ce sujet dans la section « Gasparin »). Une détermination aussi précise est, certes, possible pour un champ particulier, mais non pas pour l'ensemble d'un type de sol répandu sur des milliers de milles carrés. Nous devons par conséquent nous satisfaire du test de la main ci-dessus, lequel est déjà suffisant à nous fournir une

<sup>7</sup> Dans le vocabulaire de Fallou « terre pure » équivaut à peu près à la fraction granulométrique « argile + limon fin »

idée de la plus ou moins grande liaison de celui-ci<sup>8</sup>. À cet égard, le trait ou la marque de couleur<sup>9</sup> nous aide également car elle dépend de la cohésion variable des particules pulvérulentes. En effet, toutes les terres arables marquent de couleur des matières à surface dure comme la pierre ou le bois, plus fermes qu'elles-mêmes, mais non de plus tendres. De ce point de vue, la main est également le moyen le plus simple, car il suffit de toucher des terres lâches pour que leurs particules pulvérulentes collent aux doigts comme de la farine, les terres fermes n'y laissant qu'un trait crayeux, les très fermes même pas cela. En général, la marque de couleur est ainsi une preuve de faible liaison, mais uniquement pour des terres riches, car le sol de sable ferme à grain grossier marque aussi quelle que soit la cohésion, mais guère ou pas du tout, justement en raison du peu de terre pulvérulente qu'il contient.

Par la pression et le trait, nous ne détectons que le degré de liaison, nous devons encore considérer la cassure et la tranche du sol fixe pour évaluer aussi la proportion présumable du mélange de ses constituants minéraux dont nous pourrions conclure sur la teneur de manière provisoire.

À l'état humide, le sol dense est souple et modelable, sec il casse et éclate d'ordinaire en morceaux anguleux et à arêtes vives qui se peuvent couper ou tout au moins racler, la tranche s'avère tantôt mate, tantôt brillante, toujours tendre ou grasse au toucher. Tout cela prouve qu'un tel sol se compose essentiellement de terre pure. Il en va autrement du sol granulé, les cassures sont irrégulières et à arêtes obtuses, s'il se laisse couper ou racler, la tranche reste mate et maigre au toucher, souvent dure et à grain aigu. Nous pouvons de bon droit supposer que, sous ses fractions pulvérulentes, ce sol cache une quantité de roche non désintégrée et contient plus de sable que de terre.

Coloration et assemblage sont de toute manière les deux caractéristiques extérieures les plus importantes du sol, elles sont la marque et en même temps la physionomie de celui-ci, qui nous révèle simultanément son intérieur. Nous en déduisons non seulement sa composition pour autant qu'elle ne nous soit pas déjà visible, mais encore ses propriétés, elles suffisent souvent, déjà par elles-mêmes, à la connaissance et à la détermination d'un type de sol. Par son assemblage, il se distingue aussi de la roche-mère non seulement parce que cette dernière reste inaltérée dans l'eau comme déjà mentionné précédemment, la plupart des types de roche

résistent aussi à une pression 40-50 fois plus forte que le plus ferme des sols qui existe.

Avec cette notion d'« assemblage » nous entrons dans le domaine de l'agrégation et de la structure. Le tableau ci-dessous tente de caractériser les assemblages sensu Fallou selon les termes actuels de science du sol.

Propriété	Vocabulaire Fallou	Vocabulaire actuel
Cohésion	Assemblage fixé (ou lié)	Fraction de terre fine (ou structure massive pour des matériaux fins ?)
	Assemblage non fixé (non lié)	Fraction libre minérale : débris de roches, sables, limons
Taille	Assemblage (ou mélange) compact ou dense	Structure massive
	Assemblage (ou mélange) granulé (grossier ou fin)	Structure fragmentaire

D'après Fallou, la plupart des types de sols sont granulés, les assemblages pouvant être « lâches » ou « fermes » en fonction de la « cohésion » du sol. Il décrit très sommairement un test manuel d'écrasement ou d'émiettage pour apprécier cette propriété, mais il évoque aussi un test mécanique en donnant des résultats absolus sans préciser si ce test est une invention personnelle ou inspiré d'autres auteurs (cf. section « Gasparin »). De même il évoque un autre test de terrain qui s'exprime par la couleur laissée par le sol sur une autre surface quand on la gratte avec un agrégat de sol : si l'agrégat est ferme, il laisse un trait sur la surface, dans le cas contraire, non. Globalement, Fallou accorde une importance capitale à ces assemblages qui, par simple observation visuelle, vont permettre de déduire certaines propriétés du sol. L'assemblage est aussi un indicateur pour distinguer le sol de la roche-mère.

À noter enfin que Fallou est assez remarquable et nous est familier quand il insiste sur l'observation morphologique de la cassure des agrégats qui renseigne sur le type d'assemblage :

« nous devons encore considérer la cassure et la tranche du sol fixe pour évaluer aussi la proportion présumable du mélange de ses constituants minéraux dont nous pourrions conclure sur la teneur de manière provisoire »

3. *Pesanteur.* C'est la pression avec laquelle toute la masse du sol pèse sur son support, la roche-mère et cette pression est la conséquence de la force d'attraction générale de la terre. La pesanteur ou la relation du sol à cette force d'attraction est une propriété qui ne résulte pas directement de l'observation comme coloration et assemblage, mais doit au contraire être mesurée par la pesée, le poids étant l'échelle qui la détermine. Elle n'est une caractéristique extérieure que dans la mesure où elle peut être reconnue au toucher, tout au moins de manière générale, car

8 D'après mes essais, un pouce cube de marne de loess est écrasé et broyé par un poids de 51 livres

limon de mica	«	«	«	«	57	«
limon d'argile	«	«	«	«	80	«
glaise	«	«	«	«	102	«

(1 livre = 500 grammes). Toutefois, comme prévu, aucun sol n'a une mesure déterminée invariable de cohésion, l'argile encore moins que tout autre.

9 Ceci est un test de « cohésion » décrit aussi par Gasparin.

lorsque nous prenons en main un morceau sec de tourbe et puis un morceau de limon de même taille, nous sentons en effet une différence considérable de poids, mais pour déterminer celle-ci de manière précise, une balance est vraiment nécessaire.

Tout comme pour le degré variable de liaison, nous n'éprouvons la pesanteur variable du sol que par comparaison de plusieurs types de sol entre eux, car l'observation d'une propriété sur un unique objet ne nous donne qu'une idée générale. Si nous comparons cette propriété entre plusieurs objets du même type, alors nous l'appréhendons de manière plus exhaustive et pouvons dire : ce sol-ci est plus lourd que celui-là.

Quant au poids spécifique, il est fonction de la quantité de roche inerte contenue dans le sol, laquelle est en effet toujours plus lourde que la terre qui en résulte, il descend rarement en-dessous de 2, ne dépasse jamais 3 et ne varie par conséquent qu'entre 2 et 3 par comparaison avec la pesanteur de l'eau, calculée = 1 ; de ce point de vue, seule une très faible différence apparaît ainsi entre les types de sol. C'est pourquoi aussi elle ne constitue pas un critère sûr pour la reconnaissance et l'identification de ceux-ci, car des types de sol considérablement différents ont souvent une pesanteur tout à fait semblable et inversement aussi plusieurs exemplaires d'un seul et même type de sol une pesanteur différente. Nous voulons démontrer ceci à travers les exemples suivants.

La différence entre le sol de gneiss de Marienberg et le sol d'argile et de schiste de Schöneck dans le Voigtland est visible au premier regard et tous deux ont pourtant exactement le même poids spécifique = 2,580. De même le sol de granite d'Eibenstock et le sol d'argile et de schiste d'Adorf tous deux = 2,364.

Cette expérience se répète à propos des terres d'alluvions et il n'est par conséquent pas possible de les distinguer ainsi des terres de sols d'origine, car le sol de gneiss de Neudorf près de Weipert et la marne de loess de Zöthain près de Meissen ont le même poids spécifique = 2,424, de même le sol de schiste de Grauwack à Mehlfueher près de Pausa dans le Voigtland et le sol de limon de Minkwitz près de Leisnig tous deux = 2,308. Qu'il ne reste même pas égal à lui-même dans une seule et même formation est attesté par les exemples suivants. Il varie entre 2,267 et 2,580 dans 6 échantillons différents du sol d'argile et de schiste de l'Erzgebirge et du Voigtland, entre 2,273 et 2,474 dans 4 échantillons du sol de granite de l'Erzgebirge, entre 2,252 et 2,460 dans 6 exemplaires différents de la marne de loess de la région de Meissen et Lommatsch. Le poids spécifique du sol de limon a été examiné dans 18 champs différents, il varie entre 2,200 et 2,550.

Lorsque l'on extrait le poids moyen d'un nombre élevé d'échantillons d'une formation et le compare à d'autres formations, il résulte toutefois une certaine gradation, comme par exemple dans les formations de sols d'origine du royaume de

Saxe. La pesanteur<sup>10</sup> se monte en effet en moyenne pour

le sol de gneiss de l'Erzgebirge pour 6 exemplaires normaux .....	2,500
le sol d'argile et de schiste du même endroit pour 6 échantillons .....	2,433
le sol de schiste de mica du même endroit pour 6 échantillons .....	2,400
le sol de roche de taille de Schandan et Königstein pour 4 échantillons ....	2,371
le sol de granite de l'Erzgebirge pour 4 échantillons .....	2,359
le sol de schiste de Grauwack du Voigtland pour 4 échantillons.....	2,300

Cependant, la question se pose de savoir si cette relation se retrouve entièrement telle quelle dans d'autres régions, comme le Fichtelgebirge, ou la forêt de Bohême, etc. ; aussi longtemps que ceci n'est pas prouvé, elle ne saurait être considérée comme caractéristique avérée des types de sol mentionnés. À propos de cette propriété, on ne peut tout au plus avancer que les règles suivantes.

1. Le poids spécifique est dépendant de la constitution, car le sol de dolomie par exemple est plus lourd que le sol de gneiss ;
2. en même temps, il est également dépendant de la composition ; le sol déplacé ou pierreux est plus lourd que le fixe et terreux et par conséquent le sol de gravier lâche est aussi plus lourd que le sol de limon ou de marne ;
3. il est ensuite dépendant du plus ou moins de matière organique ou aussi d'oxyde de fer incorporés ; car le sol d'argile rouge contenant du fer est plus lourd que le sol de sable de quartz, le sol argileux riche en matière décomposée au contraire plus léger que celui-ci, mais pour autant, la différence entre eux et tous les autres types de sol ne dépasse guère 0,7 car le poids spécifique de ceux-ci ne varie qu'entre 2 et 2,7 ; les sols de pierre ponce et de tourbe font exception pour lesquels il ne dépasse pas 0,5-1, le sol le plus lourd est celui de magnétite, ainsi que celui de chénite déplacée, de gabbro et de basalte = 2,8-3 dont le sol de quartz et de sable calcaire se rapproche le plus = 2,7.

Dans une telle conjoncture, le poids spécifique du sol ne peut avoir d'influence sur l'utilisation agricole, le cultivateur entendant aussi par là quelque chose de tout à fait différent, c'est-à-dire la consistance ou fermeté et sa conséquence, la difficulté du travail. Ce qu'il appelle sol lourd comme le sol de limon, glaise et argile est de par la vraie nature de celui-ci exactement l'inverse, un sol léger et ce qu'il appelle sol léger comme le sol de gravier et de sable ou le sol de lande justement un sol lourd ; chez lui, cette expression se réfère donc non à la propriété de la pesanteur mais seulement à l'assemblage.

Le poids absolu du sol a, certes, un domaine de variation plus étendu que le poids spécifique, mais sa détermination est liée à beaucoup de difficultés, car seule la pesée de grandes quantités

<sup>10</sup> Nous avons conservé ici, comme à d'autres occasions, la stricte traduction de Fallou avec le simple terme « Schwere » (pesanteur) alors qu'il veut évidemment signifier « poids spécifique ».

*suivant un procédé uniforme (une méthode déterminée) mène à des résultats corrects, sans qu'elle n'apporte d'avantages particuliers à la science et à la pratique. Ici prévaut la règle : des terres très poreuses pèsent moins que des denses, mais celles-ci toujours encore moins que des déplacées. Un pied cube de limon, par exemple, ne pèse que 80 livres contre 120 pour un pied cube de sable de quartz ; dans ce cas-ci se retrouve la même conjoncture que pour le poids spécifique, avec la désagrégation de la roche le volume de celle-ci augmente tandis qu'elle perd en pesanteur.*

Ce que Fallou dénomme ici « pesanteur » correspond actuellement à la notion de densité apparente du sol (ou plutôt de masse volumique apparente) et « poids spécifique » à la densité réelle (ou masse volumique réelle). Il vaut la peine de souligner ici la qualité de ses mesures de masse volumique, ainsi que la constatation amusante du langage courant concernant les sols « lourds » et « légers » qui va totalement à l'encontre des mesures de masse puisque les sols lourds ont généralement une masse volumique apparente plus faible que les sols légers. Fallou indique bien que cette perception lourd-léger n'a pas de rapport avec le poids mais avec l'assemblage (donc la structure), voire avec une autre propriété (la ténacité) dont on reparlera ci-dessous.

## **Propriétés particulières importantes**

*Ce sont celles par lesquelles le sol se distingue de la roche compacte et se caractérise comme un corps différent, indépendant de celle-ci, en particulier comme sol cultivé, car la notion même de celui-ci ne serait pas pensable sans elles. En font partie la porosité, la pénétrabilité et la solubilité, ce sont les propriétés qui se rapportent à son comportement vis à vis de l'eau, par lesquelles précisément il se différencie de la pierre compacte de sa roche sous-jacente et des minéraux proprement dits, ce sont des propriétés par lesquelles l'état d'agrégation du sol est modifié, car il y a bien aussi des roches poreuses, elles peuvent donc également être imprégnées par l'eau mais elles ne seront pas dissoutes, c'est-à-dire elles ne deviendront pas pour autant liquides et mobiles, elles ne se désintègrent pas pour cela, leur état d'agrégation reste le même et c'est justement pourquoi ces propriétés doivent être désignées comme des propriétés particulières du sol. Mais en même temps, elles sont aussi importantes, car fondées sur son état, elles sont des conditions indispensables du sol cultivé qui, sans elles, ne saurait être utilisé comme tel. L'une n'est pas imaginable sans l'autre, en sorte qu'on peut les considérer comme la propriété principale triple indissociable du sol cultivé.*

*1. La porosité, compartimentation ou disposition lacunaire est cet état du sol en fonction duquel ses constituants sont séparés par de petits espaces (pores). Les pores forment en quelque sorte plein de petits compartiments fermés, comme on peut le remarquer aussi dans le sol de sable à grain grossier. La porosité du sol*

*repose ainsi sur la composition variée de ses constituants, il n'y a pas de contact dans toutes les directions, pas de remplissage complet de l'espace dans les corps poreux et ils ne sont donc maintenus ensemble que par leur force de cohésion.*

*De manière générale, la porosité ne se reconnaît à l'œil nu que dans un sol lâche et non dans un ferme, et résulte chez ce dernier du fait qu'il peut aussi s'imprégner d'eau. Par ailleurs, les pores ne sont pas à confondre avec d'autres espaces vides plus grands, avec des vacuoles et des cavités cylindriques qui se trouvent souvent dans les couches supérieures du sol. Celles-ci proviennent de vers de terre et autres insectes, pour partie ce sont des empreintes que des racines mortes et décomposées ont laissées. Des vacuoles se sont formées à partir d'air enfermé, elles ne se rencontrent que rarement dans le sol dense et ferme.*

*2. Pénétrabilité ou imprégnabilité et sa conséquence, la perméabilité est cette propriété du sol grâce à laquelle il sera pénétré ou imprégné par l'eau. C'est une propriété passive, car le sol ne peut pas repousser la pluie qui tombe sur lui, il doit absorber l'eau dans ses espaces lacunaires et tolérer qu'elle s'infilte toujours plus profond en vertu de son poids. La pénétrabilité dépend donc de la porosité car s'il était aussi dense que hornblende ou quartz, il ne pourrait pas non plus être pénétré par l'eau. S'il est pénétrable, il est aussi perméable, car l'eau infiltrée ne s'accumule pas en hauteur mais pénètre en profondeur et finalement coule ainsi à travers. La pénétrabilité et perméabilité est naturellement variable en fonction de la plus ou moins grande porosité. Tout sol absorbe, certes, de l'eau et la relâche ensuite, mais après un temps variable, plus grands et nombreux sont les espaces lacunaires, donc plus le sol est poreux et lâche, moins l'eau rencontre de résistance et par conséquent plus aisément elle le traverse. Il ne la relâche cependant pas avant que tous ses espaces lacunaires soient complètement remplis, il doit tout d'abord être lui-même convenablement saturé, mais il doit la laisser s'écouler car s'il ne peut plus l'absorber, il ne peut pas non plus la retenir, elle sera déjà repoussée en profondeur par la prochaine eau. C'est justement pourquoi il ne saurait y avoir de sol complètement imperméable, car alors ce ne serait plus un sol mais une roche massive. Dans la pratique, il se dit certes imperméable lorsqu'il souffre d'humidité stagnante, mais cette imperméabilité supposée ne trouve pas son origine dans le sol, si poreux et perméable que le sol lui-même puisse encore être, mais dans la situation. Tout comme le ruisseau cesse de couler lorsqu'il est barré, ainsi la pénétrabilité trouve sa fin lorsque le sol est sous l'eau. De même, le sol apparemment imperméable ne peut conserver l'eau absorbée, elle ruisselle et s'enfonce peu à peu en profondeur jusqu'à la roche sous-jacente dans les cavités de laquelle elle s'accumule pour réapparaître, après de longs détours, sous forme de sources à l'atmosphère d'où le sol l'a reçue. Les sols de tourbe eux aussi se dessèchent et leurs sources tarissent lorsqu'elles ne sont plus alimentées par la pluie lors d'étés chauds.*

C'est sur la pénétrabilité que repose le degré variable d'humidité du sol, elle entre donc tout particulièrement en compte dans le sol cultivé, car plus celui-ci retient l'eau absorbée, plus longtemps il se maintiendra humide et tel est précisément l'état qui est requis pour la croissance des plantes.

3. Solubilité ou dissolution est cette propriété du sol par laquelle la liaison de ses composants individuels est supprimée, ou le comportement du sol sous l'eau vis-à-vis de l'eau. Le sol n'est pas seulement imprégné, mais également dissout mécaniquement par cette dernière, en quoi il se distingue justement de la roche compacte. Les deux propriétés peuvent être considérées séparément, bien que la solubilité ne soit pas possible sans la pénétrabilité, comme celle-ci n'est pas possible sans porosité.

Ne peut être dissout que ce qui est lié, c'est pourquoi cette notion ne se réfère qu'au sol cohérent, non à celui d'alluvions, car le sol de sable de gravier est un amas déjà dissout, c. à d. lâche, non lié. La solution est séparation des différents éléments constitutifs en sorte que soit ils se dispersent, soit ils ne restent plus associés que flottant dans l'eau, elle altère ainsi l'état agrégatif antérieur du sol, un corps immobile devient liquide et donc mobile, tout comme il était en partie dissout dans l'eau avant d'être fixé, de même il peut être à nouveau dissout et rendu mobile par l'eau. En tant que sol cultivable, il doit être mobile, transférable dans ses différentes parties, car sinon il ne pourrait être travaillé et serait impropre à l'existence des plantes.

La solubilité, ou dissociation mécanique repose cependant tout d'abord sur l'imprégnabilité, car si l'eau ne peut pénétrer dans le sol, elle ne peut pas non plus le dissoudre, par rapport à sa variabilité, elle dépend aussi de l'état et de la composition, car tout sol ne se dissout pas à la même vitesse. En pénétrant dans ses espaces lacunaires, l'eau supprime la cohésion de ses composants individuels, ils sont éclatés et séparés les uns des autres, mais tandis qu'un sol se désagrège immédiatement sous son effet, l'autre gonfle seulement sans se désagréger. Un sol meuble de limon riche et à grain fin placé sous l'eau se ramollit tout de suite, gonfle et se répand peu à peu en une boue d'aspect visqueux ou gras, un sol riche d'argile ou de marne d'argile dense et ferme n'est ramolli par l'eau qu'après pas mal de temps, il gonfle, certes, aussi mais sans se déstructurer, il ne devient pas visqueux ou liquide, mais une pâte souple et malléable ou une boue épaisse, gluante, mais chacun, imprégné d'eau et dilaté, occupe naturellement un espace plus important.

Comme la solubilité n'est pas concevable sans pénétrabilité, le degré relatif de celle-ci se peut déjà reconnaître en p. (artie) au mouillage, car un sol capte aussitôt la goutte d'eau qui le touche, l'autre après un certain temps seulement. Plus vite l'eau pénètre, plus facilement elle le dissout. De ce point de vue, on teste des minéraux terreux comme l'argile et la kaolinite avec la langue ou la lèvre humide, ils ne sont cependant en rien appétissants et des terres cultivables encore bien moins, pour lesquelles ce test n'est pas utilisable ne serait-ce que parce que la consistance doit se

conserver dans l'échantillon, en général le sol se dissout dans l'eau d'autant plus aisément qu'il est plus poreux et meuble.

À cet égard, le sol de tourbe se comporte cependant de manière toute différente et singulière. Bien qu'il soit le plus poreux et le plus meuble de tous, il est certes facilement pénétré par l'eau et peut en absorber plus que le double de son poids, mais il ne se désagrège et ne se liquéfie pas, il gonfle seulement, le réseau enchevêtré de racines semblable à du feutre devenant une masse floconneuse visqueuse ou une épaisse bouillie gluante.

Il n'existe pas davantage un sol insoluble ou totalement imperméable, la solubilité est indispensable au sol cultivé parce que sinon aucune plante ne pourrait s'y développer puisqu'elle prélève l'essentiel de sa nourriture non pas de l'atmosphère mais bien du sol. Celui-ci doit donc être capable d'absorber de l'eau, l'eau doit élargir ses espaces lacunaires et simultanément dissocier ses constituants ou tout au moins desserrer leur liaison, elle doit amener le sol de dur et figé à un état mobile pour que le germe végétal puisse s'y épanouir et le lacis des racines s'y étendre librement dans tous les sens. L'eau est également la seule à rendre les substances nutritives qui se trouvent dans le sol accessibles à la plante, sans air et eau, elle ne saurait subsister.

Fallou introduit clairement la notion d'agrégation dès le début de cette section et établit une relation entre cette propriété et les deux termes qu'il aborde ensuite. Ses observations l'amènent ainsi à distinguer entre la porosité qu'il estime être une propriété caractéristique du sol et celle qui est créée soit par des vacuoles soit par la présence d'agents responsables comme les insectes, les vers de terre et les racines et que l'on appellerait aujourd'hui « porosité biologique ». Sous le terme de « porosité », Fallou entend plutôt la macroporosité (apparemment) non biologique et une partie de la microporosité structurelle, alors que l'imprégnabilité correspondrait à l'ensemble des processus de sorption de l'eau, l'une et l'autre ne faisant d'ailleurs l'objet d'aucune mesure quantitative.

La traduction des termes allemands du paragraphe 3 pose un problème plus délicat. En effet, par rapport à nos connaissances actuelles, c'est le processus de « dispersion » des particules qui est traité ici et non celui de la solubilisation ou dissolution. Or les termes utilisés par Fallou sont d'abord clairement la solubilité (« Solubilität »), qu'il associe à « Löslichkeit », qui pourrait se traduire à la fois par « dissolution » et par « détachement, séparation, déliement ». Or Fallou parle vraiment de dispersion dans le processus de désagrégation. Il associe aussi « solubilité » à « dissociation mécanique » et décrit pleinement le processus de dispersion dans le passage « Ne peut être dissout que ce qui est lié... ».

Dernier détail à relever enfin, pour lui « ... (la plante) prélève l'essentiel de sa nourriture non pas de l'atmosphère mais bien du sol » alors qu'en 1860 cette question a été élucidée depuis le début du XIX<sup>e</sup> siècle (voir Feller et al., 2001).

## Propriétés et états fortuits du sol

Les propriétés décrites jusqu'ici sont stables et durables, indépendantes des circonstances extérieures. Ce sont des propriétés, soit que le sol partage avec tous les autres corps minéraux, soit qui lui appartiennent en propre, mais qui ont toutes leur origine dans le sol lui-même. Les autres propriétés que nous décelons encore en lui ne sont pas des propriétés immanentes autant que permanentes fondées sur l'essence de celui-ci, mais seulement des conséquences inéluctables des forces naturelles agissant de l'extérieur sur lui, donc uniquement des propriétés fortuites ou des états aléatoires dans lesquels il n'est plongé que par ces forces. Nous comprenons ici l'état d'hydratation (humidité), l'état de chaleur (température) et l'électricité.

Nous appelons humide l'état intermédiaire entre détrempe et sec, chaud l'état intermédiaire entre brûlant et froid. Ces deux états sont toutefois reconnus, à côté des substances nutritives, comme les conditions fondamentales de la vie végétale, car, comme prévisible, aucune plante ne peut subsister dans un sol complètement desséché et aussi richement pourvu soit-il en substances les plus nutritives, elle devrait dépérir dans l'abondance ; mais dans un sol détrempe ne végètent que des plantes de marais comme nous le prouvent les sols de tourbe et il est également notoire qu'aucune plante ne se développe plus à une température au-dessous de 0 ou au-dessus de + 50° R. (éaumur). Hydratation et chaleur sont ainsi des propriétés qui n'entrent en considération que si nous pensons le sol dans sa relation au monde végétal ou comme sol cultivé. Pour ce dernier, elles sont d'ailleurs également indispensables, elles n'ont cependant pas leur origine dans le sol, mais seulement dans l'atmosphère, elles ne sont que transmises par la porosité et la pénétrabilité et modifiées par les autres propriétés, elles ne sont ainsi que des états temporaires et fortuits du sol.

L'atmosphère contient une quantité d'eau sous forme de vapeur, soit comme brouillard juste au-dessus de la terre, soit comme nuages flottant bien haut au-dessus. Ceux-ci se débarrassent de leur air<sup>11</sup> sous forme de neige, pluie ou grêle. L'atmosphère a en outre une température variable selon l'heure du jour et la saison, car on observe quotidiennement et annuellement un maximum et minimum du chaud et du froid. Elle a aussi un mouvement régulier (flux et reflux) et des courants réguliers, ou des vents périodiques, parfois aussi des tempêtes. Enfin, les couches aériennes supérieures de l'atmosphère contiennent aussi une quantité de matière électrique, qui se forme lors de la condensation des vapeurs et se décharge de temps en temps en orages.

Comme, à sa surface, le sol cultivé se trouve immédiatement en contact avec l'atmosphère, il est aussi soumis à ses effets, il doit donc tolérer d'être mouillé par ses précipitations (neige et

pluie), frappé par le soleil et balayé par le vent, il ne se mouille, ne se réchauffe et ne s'électrise pas lui-même, mais eau, chaleur et électricité lui sont amenées par l'atmosphère, il n'en est que le destinataire et ne se comporte là qu'en le subissant. Eau, chaleur et électricité ne sont donc aussi que des propriétés variables du sol, dépendant de l'atmosphère, pas du tout durables, ou des conséquences de forces agissant sur lui de l'extérieur, importantes cependant en termes agricoles parce qu'il ne devient sol cultivé productif que grâce à elles. Etudions maintenant séparément chacune d'entre elles.

1. L'humidité. Le sol humide n'est ni détrempe ni sec. Il est détrempe lorsqu'il a absorbé dans ses espaces lacunaires tant d'eau qu'il ne peut plus la contenir, sec au contraire lorsqu'il ne contient pas plus que l'eau dite capillaire ou hygroscopique, car même le sol apparemment le plus sec a toujours encore 1 à 2 % d'eau liquide qui, en général, ne s'échappe par évaporation qu'à une température de + 80° R.

À l'état détrempe, le sol sursaturé en eau est une masse boueuse, rigide et dure, à l'état sec, il est figé dans ses différentes parties. Humide est donc le sol qui contient au moins 10 % d'eau liquide en plus de son eau capillaire, en sorte qu'il forme une pâte, certes consistante, mais souple et malléable ou qui se peut tout au moins rouler en boule. Toutefois, ceci n'est vrai que du sol meuble riche en terre, car le sol à grain grossier de sable, gravier ou débris demeure une masse lâche, fluide dans toutes les circonstances.

Tout sol meuble peut être humide, la différence ne tenant qu'à la durée de cet état ; celui-ci ne dépend pas seulement de la consistance, composition et assemblage, de la porosité et pénétrabilité, mais aussi de la structure de la roche sous-jacente, de la nature du sous-sol, de la position et altitude et de la température de l'atmosphère, donc en p.(artie) de critères accessoires qui ne sont pas du tout à rechercher dans le sol, en sorte que seules les règles générales suivantes peuvent se constater ici :

- a. le sol riche en argile, dense et compact se maintient plus longtemps humide que le sol riche en sable, lâche et à grain grossier parce qu'il est moins perméable que ce dernier, le sol de sable meuble, riche en matière organique toujours plus longtemps en revanche que le sol de lande lâche, pauvre en matière organique ;
- b. le sol sur une roche sous-jacente très compacte disposée horizontalement plus longtemps que sur une roche-mère fissurée disposée verticalement ;
- c. le sol sur un sous-sol détrempe, marécageux plus longtemps que sur un sec, toujours plus longtemps sur argile ou glaise que sur gravier ou éboulis ;
- d. le sol sur une surface horizontale ou concave (en forme de dépression) plus longtemps que sur une déclivité, en fond de vallée plus longtemps qu'en pente de vallée ;
- e. le sol en plateau de montagne plus longtemps qu'en une plaine de basse altitude ou en terrain collinaire plat ;

11 Lapsus de Fallou, le mot imprimé en version allemande étant bien « Luft » (air) alors qu'il s'agit évidemment de l'eau.

f. le sol aux environs de forêts et marais plus longtemps qu'en une plaine sans forêt et pauvre en eau. Il reste aussi plus longtemps humide par vent du nord et de l'ouest que par vent du sud et de l'est, plus longtemps dans l'air tranquille que dans l'agité.

Un seul et même sol peut, par conséquent, être simultanément humide et sec, notamment en des points différents. Ainsi définition, par exemple, le sol de sable comme sec et chaud, mais il est très souvent le contraire dans les plaines de Poméranie, Brandebourg, Frise et Oldenbourg ; ceci démontre justement que ces états ne sont rien de permanent et durable, mais qu'ils sont au contraire dépendants de la position et d'autres facteurs. Une différence due au sol lui-même ne peut se produire que toutes autres conditions parfaitement égales, car à position, altitude, température, etc. égales, le sol d'argile tourbeuse se maintient plus longtemps humide que le limon et celui-ci plus longtemps que le sable. Quant à...

2. la chaleur, la conjoncture en est tout à fait pareille, elle est également un état fortuit dans lequel le sol est amené, soit directement par la lumière solaire, soit indirectement par la chaleur de l'atmosphère, il ne s'échauffe pas de lui-même, il n'a pas de chaleur propre, il n'en est que le destinataire comme tout autre corps dur, sombre et opaque, en ce qu'il ne laisse pas passer ou ne reflète pas la lumière du soleil, mais avale au contraire et est échauffé par l'atmosphère dans la mesure où l'air chaud pénètre ses espaces lacunaires.

Tout sol est susceptible de s'échauffer, mais pas tous dans le même temps et au même degré, comme pour l'humidité cela dépend ici de la consistance, de l'assemblage, de la porosité, de la position et de l'altitude, mais spécialement de la coloration pour autant qu'il soit échauffé par le soleil, car il est connu que plus celle-ci est sombre, plus vite et plus fortement il sera échauffé. La coloration est ainsi le moyen par lequel le soleil agit sur lui. Ce qui suppose naturellement une certaine position et celle-ci n'est pas non plus toujours identique pour chaque sol, il n'est pas toujours tourné vers le soleil de manière que ses rayons lumineux tombent directement sur lui, mais souvent en sens oblique, souvent il se trouve dans l'ombre ou selon une orientation où il n'est éclairé par le soleil qu'à un certain moment du jour ou seulement en été. Celui-ci ne brille pas non plus tous les jours, il a aussi une autre position au ciel à chaque saison, voire chaque heure et par conséquent pas toujours la même chaleur. Mais pour autant que le sol ne soit échauffé que par l'atmosphère, la porosité de celui-ci importe également. L'air chaud pénètre bien sûr plus aisément et profondément dans un sol lâche poreux que dans un dense et compact et le sol à sable de quartz lâche est par conséquent beaucoup plus vite et fortement échauffé que le limon. Il n'en importe pas moins qu'il se trouve dans un état humide ou sec. Le sol sec devient plus vite chaud que l'humide, mais ce dernier se maintient aussi plus longtemps chaud que le premier, car l'eau conserve le plus longtemps la chaleur après l'air.

Il s'ensuit donc qu'un sol se refroidit aussi plus lentement que l'autre, de même que tout sol ne s'échauffe pas au même degré dans le même temps, il ne redevient pas non plus froid dans le même temps. Le sol de tourbe se refroidit plus vite que l'argile et celui-ci plus vite que le sable de quartz car le poids absolu du sol y joue également un rôle. Le sol calcaire et à sable de quartz serait ainsi non seulement le sol qui s'échauffe le premier et le plus fort, mais qui également reste le plus longtemps chaud et c'est pourquoi on l'appelle sol chaud ou brûlant. En revanche, le sol de tourbe capte le moins de chaleur, nonobstant sa couleur noire, pour autant qu'il se trouve dans son état naturellement détrempe et c'est pourquoi il est appelé un sol froid, ce que le sol de sable peut aussi être lorsqu'il souffre d'humidité rémanente.

La chaleur du sol dépend ensuite aussi de la position locale et géographique ou du climat, ainsi que de l'altitude absolue et du courant aérien. L'air est notoirement plus humide sur les rives de la mer qu'à l'intérieur des terres, plus humide au fond de vallées étroites qu'en plaine dégagée élevée pour autant qu'elle ne s'élève pas jusqu'aux nuages. Les vallées fluviales en particulier sont encore plongées dans l'épais brouillard alors qu'en altitude, au-dessus de l'arête, on chemine depuis longtemps au chaud rayons du soleil. Cependant, à altitude croissante, le soleil perd peu à peu de sa force échauffante, complètement au-dessus de la limite de la neige en sorte que le sol reste gelé à 16'000' (pieds) d'altitude, même sous l'équateur. La chaleur de l'atmosphère, et par conséquent celle du sol, diminue de même alors que la latitude nord augmente. Alors que la température annuelle moyenne est de 17°C à Naples par 41° L.N., elle s'abaisse à 4°C à Pétersbourg par 60° L.N. En Sibérie, le sous-sol limoneux de la terre dite noire est en conséquence gelé été et hiver, seule cette dernière dégèle en été pendant une courte période et peut donc aussi être utilisée comme terre cultivée. De manière générale, la chaleur du sol diminue peu à peu avec la profondeur, mais également en fonction de sa consistance, sa position et d'autres facteurs. En surface, elle est en général égale à la température de l'atmosphère, mais lorsqu'il est sec et exposé au jour sans végétation ni arbres faisant de l'ombre, le plus souvent de 5-10° inférieure à 3-4' de profondeur. L'état moyen pour la végétation est entre +10 et 30°R., mais il est clair d'après ce qui précède qu'il n'est guère possible de déterminer exactement l'état de chaleur propre à chaque sol puisqu'il est dépendant de tant de conditions extérieures fortuites.

3. L'électricité. Il est très probable qu'un sol complètement imprégné d'eau soit électrisé par le seul contact de ses particules solides avec l'eau ou que, dans la partie travaillée du sol cultivé tout au moins, des courants électriques soient générés par la décomposition de l'engrais qui favorisent la croissance végétale. Toutefois, le développement de ceux-ci et leur influence sur la végétation ne se prêtent pas à l'observation. En revanche, il ne fait aucun doute que de l'électricité est apportée au sol par les précipitations de l'atmosphère. Même par ciel dégagé, cette

dernière est électriquement positive en été, mais son électricité ne peut parvenir au sol que par l'eau, donc particulièrement lors d'un orage ; elle n'est pas déchargée par air sec et donc par vent d'est. Tout comme la chaleur, l'électricité n'est ainsi qu'un état dans lequel le sol est amené de l'extérieur par l'atmosphère et qui tient également du courant aérien. Ce qui est au moins certain, c'est qu'elle peut lui être transmise comme à tout autre corps et qu'elle a aussi son influence indirecte sur la vie des plantes car les effets d'une pluie d'orage sur les graines germant et sur tous les végétaux sont reconnus.

Il ne fait aucun doute que les trois états de l'humidité, chaleur et électricité peuvent ainsi être considérés comme des conditions essentielles à la vie végétale, c'est bien pourquoi aussi elles n'entrent en ligne de compte que dans la mesure où nous pensons le sol dans sa relation au monde végétal comme sol cultivé ; abstraction faite de la végétation, il peut nous être tout à fait indifférent que le sol soit ou non humide, chaud ou électrique. Toute cette section reprend largement la notion de « pédoclimat » (climat du sol), déjà abordée dans la section précédente. Le thème de l'électricité, très à la mode au XIX<sup>e</sup> siècle, est appliqué ici au sol, sans apporter d'élément bien nouveau, l'ensemble du discours restant très descriptif.

4. Autres propriétés du sol. En outre, les forces suivantes lui sont également attribuées : la capillarité ou force du chevelu racinaire, la force de captation et de rétention de l'eau, la force de se dilater et de se contracter à nouveau, l'hygroscopicité ou force d'attirer l'eau, la force d'absorber l'oxygène de l'air et l'évaporation ; simplement ces propriétés sont tout aussi peu rémanentes et dues à la nature du sol que celles mentionnées juste ci-dessus, elles ne sont soit que conséquences nécessaires des propriétés importantes déjà citées et par là même incluses dans celles-ci, soit des états transitoires.

Ce qu'on appelle capillarité dans le sol cultivé a tout à fait le même sens que porosité. On prétend, certes, que c'est en particulier grâce à elle que l'eau est tirée des profondeurs vers le haut et que la surface demeure humide ; cependant l'eau ne peut s'élever vers le haut que sous forme de vapeur, sous forme liquide de gouttes, elle s'enfonce toujours vers le bas en vertu de son poids jusqu'à être arrêtée par une couche dense moins perméable ou par la roche-mère. Cette couche restitue ensuite l'eau entrée à la surface par évaporation jusqu'à ce que les deux couches soient complètement asséchées. Ce n'est donc pas la capillarité qui tire l'eau vers le haut, au contraire celle-ci remonte bien d'elle-même comme vapeur, le chemin ne lui est que frayé par la porosité, ou l'ascension facilitée, car les pores du sol ne se peuvent concevoir comme de fins canaux ou tubules continus comme dans la plante, mais seulement entant que petits espaces vides disposés en désordre côte à côte.

La force de captation et de rétention de l'eau n'est pas non plus une force propre du sol mais seulement un résultat de la force

de pesanteur de l'eau ou de la force générale d'attraction de la terre vis à vis de l'eau, déterminée par la porosité et pénétrabilité. Suivant le degré de ces dernières, le sol contient toutefois une quantité d'eau car il ne peut repousser l'eau chutant comme pluie sur lui, elle pénètre d'elle-même et transite peu à peu, il la capte et la retient non en vertu d'une force particulière, mais l'eau y reste d'elle-même parce qu'elle ne peut pas le pénétrer immédiatement. Toutefois, déterminer précisément le temps qu'il lui faut pour traverser le sol et s'égoutter à nouveau ou, ce qui revient au même, le temps mis à l'assèchement pour chaque sol, sera assurément délicat, car il faudrait tout d'abord calculer :

- combien évapore un certain sol, de consistance et nature déterminées, en un temps déterminé et à une température déterminée, d'une quantité déterminée d'eau absorbée ?

pour pouvoir, après déduction de ce qu'il a perdu par évaporation, déterminer combien de cette eau s'égoutte ou combien il a laissé passer.

La force de se dilater ou de se contracter à nouveau ou de se réduire n'est qu'un résultat naturel de la perméabilité et donc pas une force, mais un état passif du sol, car il ne peut se dilater de lui-même, il est bien davantage dilaté par l'eau. S'il est pénétré par celle-ci, il ne peut se contracter en un volume plus petit, il doit au contraire élargir celui-ci d'autant d'eau qu'il avale, car celle-ci veut aussi avoir de la place, la raison de la dilatation repose ainsi dans l'absorption d'eau, est donc une conséquence de la perméabilité et de la solubilité. Le sol occupe naturellement un espace plus grand à l'état détrempe qu'au sec, dilatation et contraction ne sont ainsi que des signes de l'état détrempe ou sec. Dans la même proportion que l'eau le dilate ou sépare ses composantes, il doit aussi se contracter à nouveau et regagner son volume antérieur dès que l'eau s'est retirée. Qu'il récolte des fissures ou des crevasses lorsqu'il s'assèche par forte chaleur ne prouve pas une contractabilité ou force de rétraction particulière, mais seulement qu'une partie de l'eau s'est perdue par évaporation rapide car s'il s'assèche peu à peu à l'ombre ou par ciel couvert, il ne se craquelle pas.

La force d'attirer l'eau ou le pouvoir du sol à drainer de l'humidité de l'air n'est qu'un résultat de la pression de l'air et de la capacité de l'air à entrer dans les corps poreux et espaces vides. Que de l'air pénètre dans le sol, la vapeur d'eau qui s'y trouve pénétrera également et ce d'autant plus aisément qu'il est lâche et sec, il n'a donc pas besoin de l'attirer à soi, il ne lui faut donc pas de force particulière vis-à-vis de l'air et d'ailleurs il n'en a pas. Nous pouvons facilement nous convaincre que tout sol sec contient de l'air dans ses espaces lacunaires vides si nous recouvrons d'eau dans un récipient en verre une portion de terre sèche pulvérisée. De petits cratères se formeront aussitôt d'où monteront des bulles qui s'élèveront vers la surface de l'eau. Ces bulles contiennent l'air chassé de la terre par l'eau qui y pénètre. Cependant, que de l'humidité ou de la vapeur d'eau pénètre en même temps que l'air dans tous les corps poreux, nous le voyons à ce qu'une seule et même feuille de papier présente un poids différent selon

qu'elle a séjourné dans une pièce froide ou chaude. En outre, il y a encore tout lieu de douter que cette hypothétique force d'attraction de l'eau du sol bénéficie réellement à la végétation et qu'il soit par conséquent justifié de lui attribuer comme jusqu'ici une si grande valeur, car la vapeur d'eau de l'air ne pénètre que dans un sol lâche et desséché, elle serait aussi superflue dans le détrempé ; lors de sécheresse prolongée, alors que cette force devrait s'avérer si salubre, on observe en effet que les plantes n'en flétrissent pas moins, et dépérissent ou grillent, comme on le dit communément, parce que le peu d'eau dont le sol est mouillé pendant la nuit s'évapore à nouveau le matin suivant.

Avec l'air pénètre aussi son oxygène, il n'est donc pas non plus attiré par le sol et encore moins sélectivement, par conséquent, il peut encore moins être question d'une force de celui-ci propre à absorber cette substance de l'air, ce n'est également qu'une propriété de l'air et non du sol.

L'évaporation ne l'est pas non plus, elle est bien davantage une propriété de l'eau. Et si l'on voulait tout de même l'attribuer aussi au sol, il ne vaudrait guère la peine de la prendre en considération lors de l'évaluation de celui-ci ; ce qu'il perd en eau de cette façon est dérisoire par rapport à ce qu'il a absorbé, la plus grande partie s'en infiltre et se perd en profondeur pour alimenter les sources des ruisseaux et fleuves et maintenir ainsi le circuit éternel de l'eau sur et au-dessus de la terre. De la totalité du sol, seul un côté, la surface, reste toujours dirigé vers l'atmosphère ; or si une évaporation n'est possible que de ce seul côté, elle ne peut être qu'insignifiante par rapport au tout. S'ajoute encore à ceci qu'avec la variation continue de la température, dont l'évaporation dépend, il ne saurait être si aisé de déterminer précisément l'importance de celle-ci, puisque nous ne pouvons même pas indiquer la limite à partir de laquelle l'eau se trouvant dans le sol s'élève vers le haut sous forme de vapeur et à l'inverse s'enfonce vers le bas sous forme de gouttes liquides. Une évaporation n'est pourtant concevable qu'à partir de ce point jusqu'auquel l'air parvient dans le sol, cette limite doit cependant être très variable en fonction de la consistance du sol. C'est précisément pourquoi la démarche d'examiner par évaporation la force dite de captation de l'eau n'a aucun intérêt, ni théorique, ni pratique, soit parce qu'on n'utilise à cet effet qu'une petite portion de terre arrachée à ses liaisons et contextes naturels, qui est exposée de tous côtés à l'évaporation alors que dans la nature elle ne peut avoir lieu que d'un côté, soit aussi parce que l'on ne tient aucun compte à cet égard ni de la nature du sous-sol, ni de la position du sol, ni du courant et de la température de l'air qui ont également une influence ici. Par évaporation, le sol ne pourrait perdre toute l'eau absorbée que s'il était seulement pénétrable et non aussi perméable, ou s'il reposait sur une base complètement imperméable, mais même dans les tourbières, seule une partie de l'eau est perdue par évaporation, sinon aucune source n'y prendrait naissance. Expérience faite, on peut seulement dire que dans des conditions semblables, l'eau s'évapore plus vite d'un sol lâche et poreux que d'un sol compact et dense, donc plus vite

d'un sol de sable que d'un sol de limon ou de glaise.

Ainsi donc toutes les forces mentionnées ci-dessus ne reposent que sur la force de l'imagination, non sur la nature du sol. Il est souvent question d'un sol plein ou dépourvu de force, mais il est inadmissible de parler d'une force, donc d'une activité vitale du sol là où celui-ci ne se comporte en rien de manière active, mais au contraire subit. Le sol est une matière inorganique morte et en conséquence il ne produit aucune plante de par sa propre force vitale.

L'atmosphère est l'empire des forces. C'est elle qui, entourant terre et mer de toute part, régit le sol et par lui agit sur la plante. Le sol ne contient que les substances et aliments de celle-ci, c'est le dépôt et cellier pour les besoins vitaux de la plante et en même temps la cuisine où ils sont préparés. Mais le cuisinier qui les prépare, c'est l'atmosphère. Celle-ci apporte eau, chaleur et électricité grâce auxquelles ils seront apprêtés de telle manière que la plante puisse les déguster et celle-ci se saisit de la nourriture offerte par ses racines, ce n'est pas le sol qui les lui amène, mais elle va se les chercher elle-même grâce à sa force vitale et sa pulsion inconsciente de croissance. Ce que nous nommons forces du sol ne sont donc que des principes extérieurs, c.à.d. des actions de l'atmosphère sur le sol qui sont seulement modifiées par son état. Lorsqu'il absorbe de l'eau, il ne l'absorbe pas par sa propre énergie mais elle lui est imposée, il ne la retient pas non plus par sa propre énergie, mais elle n'y reste un instant que parce qu'elle trouve de la résistance et ne peut pas continuer tout de suite. Il ne saurait donc être question d'une force du sol, mais seulement d'un comportement de celui-ci vis-à-vis des forces qui s'exercent sur lui. En dernier lieu, la cause fondamentale de ces forces atmosphériques tient à la rotation de la terre et à son circuit autour du soleil car l'alternance éternelle du jour et de la nuit, de l'été et de l'hiver, en découle et de cette alternance la température variable de l'atmosphère et de celle-ci à nouveau la transformation incessante de l'eau, mais surtout pluie et ensoleillement. Ces conditions à la vie de la forêt et des champs trouveraient subitement une fin si la grande horlogerie de notre système planétaire cessait de se mouvoir et la terre s'arrêterait tout à coup devant le capricorne sur son voyage circulaire autour du soleil.

Par ailleurs, le comportement du sol vis-à-vis des actions de l'atmosphère ne peut nous intéresser que si nous l'envisageons en tant que sol cultivable et non comme type de roche, cependant identifier précisément les dits états variables de chaque sol restera toujours une tâche difficile, car tant de facteurs secondaires entrent ici en jeu.

Fallou énumère un certain nombre de phénomènes parfois attribués à des « forces », comme la force du chevelu racinaire ou capillarité, celle de captation et de rétention en eau, celle de dilatation et de contraction, celle d'attirer l'eau ou hygroscopicité, celle d'absorber l'oxygène de l'air, l'évaporation. Mais, il estime d'emblée que le terme de forces est inadéquat et que ces particularités font partie des propriétés et états fortuits du sol.

On ne trouve rien ici de bien original et on peut même considérer que Fallou a une connaissance plutôt superficielle de la physique du sol. Ainsi, il assimile capillarité et porosité au motif que l'eau ne peut jamais se déplacer vers le haut sous forme liquide, mais seulement sous forme de vapeur qui emprunte les voies de la porosité existante. Si l'équation de Laplace (1749-1827) décrit la force de tension superficielle agissant sur la capillarité, la théorie de la capillarité elle-même ne date que de 1893 avec les travaux de Van der Waals et n'était sans doute guère accessible à l'époque de Fallou. Dilatation et contraction du sol se réfèrent au volume occupé par l'eau dès lors qu'elle se trouve dans le sol et non à un processus de modification de l'organisation des argiles qui dépendrait de leur minéralogie.

Une remarque de Fallou reste intéressante, celle concernant l'illusion de vouloir étudier les propriétés liées à l'eau l'air et la chaleur, sur échantillons remaniés, et non in situ dans le sol :

*« C'est précisément pourquoi la démarche d'examiner... une petite portion de terre arrachée à ses liaisons et contexte naturels... alors que... l'on ne tient aucun compte à cet égard ni de la nature du sous-sol, ni de la position du sol, ni du courant et de la température de l'air qui ont également une influence ici [n'est pas bonne] ».*

Une des conclusions de Fallou est aussi intéressante : « Ainsi donc toutes les forces mentionnées ci-dessus ne reposent que sur la force de l'imagination, non sur la nature du sol (... qui) ne produit aucune plante de par sa propre force vitale. ». Elle remet en cause ce que l'on appelait alors les « forces vitales du sol », manifestement prises pour de l'obscurantisme.

De manière générale, le discours de Fallou est, certes, basé sur l'observation, mais strictement qualitatif, parfois déductif avec des interprétations fausses (comme le refus des forces de capillarité au profit de la vapeur d'eau), et ne s'appuie sur aucune mesure ou citation d'autres travaux scientifiques. Dans ce sens, il est souvent un peu élémentaire et en retard sur les recherches en physique des sols publiées avant 1860 (voir ci-dessous).

## Propriétés physiques des sols dans le Cours d'agriculture de Gasparin

Le plus célèbre traité d'agriculture en France, et probablement en Europe, au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle est le Cours d'agriculture de Gasparin (1783-1862). La première édition de ce cours en 6 tomes s'échelonne de 1843 à 1858, mais de nombreuses éditions, souvent non datées, seront publiées jusqu'après les années 1860. On pourrait penser que Fallou, lorsqu'il publie sa Pedologie en 1862, a eu connaissance du Cours d'agriculture, mais il n'y fait aucune mention comme, d'une manière générale, il cite peu de traités d'agronomie.

L'état des connaissances agronomiques quant aux propriétés physiques des sols est traité par Gasparin dans son Tome 1, dont les deuxième (« Des propriétés physiques des terres ») et troisième (« Circonstances qui modifient les propriétés physiques

des terres ») parties totalisent 67 des 688 pages de ce texte dont la 3<sup>e</sup> édition (1860) sera utilisée ici.

L'introduction (pp. 133-137) à la deuxième partie justifie l'importance, et la nécessité, de la connaissance des propriétés physiques des sols tant sur un plan fondamental qu'appliqué à l'agriculture pour donner, à la fois, une assise scientifique au discours paysan et permettre une évaluation quantitative de la « valeur des terrains agricoles ». Gasparin rend hommage aux précurseurs de l'étude de ces propriétés physiques, le premier étant Otth (1761, in Gasparin, 1860) de la Société économique de Berne, fondée en 1758, « qui a tant fait pour la science agricole ». Mais c'est surtout de Schübler (1816, in Gasparin, 1860) que Gasparin a fait connaître les travaux en France en 1828 et dont il cite souvent les résultats (publiés en allemand) à côté des siens. En fonction des objectifs recherchés, Gasparin distingue, lui aussi, deux catégories de propriétés des sols à étudier, à savoir a) les propriétés « fondamentales » quand il s'agit de « distinguer les terres entre elles », et b) les propriétés « variables », suite aux « influences atmosphériques », aux « travaux mécaniques », etc. Ces dernières « sont le plus essentielles pour la pratique de l'art » et personne (selon Gasparin) ne s'y était intéressé méthodiquement avant lui.

### **Pesanteur spécifique et poids des terres (pp. 137-141)**

Gasparin décrit la méthode utilisée pour la mesure de la « pesanteur spécifique » (masse volumique réelle) et donne l'équation pour le calcul, le tout étant pratiquement identique à nos méthodes actuelles. Les valeurs obtenues varient pour les sols de 2,3 à 2,8, la plus faible valeur étant pour la terre de jardin et avec des valeurs de 2,59 pour l'argile pure, 2,36 pour le gypse, 2,23 pour le carbonate de magnésium et 1,23 pour le « terreau »<sup>12</sup>. Comme Fallou, Gasparin note que l'on ne peut déduire la composition de la terre des mesures de pesanteur spécifique. Il s'interroge aussi sur le « poids d'une masse de terre » (masse volumique apparente) et ses résultats varient (en kg/m<sup>3</sup>) de 1,13 pour un limon riche en terreau à 2,10 pour une glaise sablonneuse. Ce poids d'une masse de terre ne dépend pas seulement de la nature du sol mais aussi du traitement qu'a subi la parcelle : plus faible en parcelles labourées qu'en prairies ou pâturages, mais aussi plus faible quand elle est « fouillée » (c'est-à-dire une fois extraite pour être transportée) qu'en place. Cette mesure est plus importante pour l'agriculteur que celle de « pesanteur spécifique » et est à mettre en relation avec les problèmes de « ténacité ». Sur tous ces aspects, les commentaires de Fallou rejoignent ceux de Gasparin.

<sup>12</sup> Gasparin appelle « terreau » les horizons de litière ou la matière organique du sol

**Ténacité des terres** (pp. 141-149)

Gasparin distingue ici entre « ténacité normale », « cohésion » et « ténacité variable ». Comme Fallou, il pense que la notion de « terre pesante » de l'agriculteur n'a pas de rapport avec celle de « terre forte ». La ténacité (un terme du passé) vise à appréhender cette intuition de terre forte grâce à plusieurs mesures.

**Ténacité normale.** Cette approche s'applique aux terres sèches et permet de comparer des terres différentes placées dans des conditions (culturales) identiques. Il s'agit d'exprimer le travail requis pour une excavation de terre et son coût. La première mesure de cette propriété, due à Vaillant en 1817 (Annales des Ponts et Chaussées, 1832, 2<sup>e</sup> sem., p. 281) est décrite ainsi par Gasparin :

« Elle résulte du temps employé par un homme pour fouiller et charger sur une brouette, 15,60 m<sup>3</sup> de terre. Les terres qui peuvent être chargées sans être fouillées, comme les sables et les terres végétales et calcaires, sont appelées *terres à un homme*, parce qu'un homme suffit pour charger 15,60 m<sup>3</sup> dans sa journée. Lorsque la dureté de la terre oblige d'employer la pioche, il est nécessaire d'adjoindre un homme au premier, qui mette la terre en état d'être facilement prise à la pelle. Lorsque ce second ouvrier suffit pour que le premier puisse charger sans interruption, la terre est à *deux hommes* ; elle est à *trois hommes* lorsqu'un piocheur suffit pour faire tête à deux chargeurs ; elle est à *un homme et demi* lorsque deux piocheurs sont nécessaires pour que le chargeur puisse travailler constamment<sup>13</sup>. »

La mesure de la ténacité normale consiste donc à prendre un homme

« de confiance, fort et habitué au travail de la terre ; on le fait piocher pendant un certain nombre de minutes, puis charger la terre piochée en mesurant le temps nécessaire au chargement, et « le rapport entre les deux temps fait connaître le nombre de piocheurs que cette terre exige pour que le chargeur puisse travailler sans interruption. Il suffit d'ajouter 1 à ce rapport pour tenir compte du chargeur, et l'on a en nombre l'expression de la nature du terrain ». Si le rapport est égal à 1 et donc la valeur finale égale à 2, la terre est à deux hommes. »

Toutefois cette détermination est compliquée parce qu'il faut tenir compte de l'état d'humidité du sol, de son tassement, etc. Aussi, Gasparin modifie-t-il une méthode de Schübler, à savoir :

« On humecte la terre de manière à la réduire en pâte délayée (de telle sorte qu'elle ne se sépare pas)... On la coule dans des moules quadrangulaires ; on la charge de 1 kg de poids ; quand toute l'eau s'est écoulée et que la terre a repris sa solidité,

on la retire du moule et l'on fait sécher le prisme que l'on a obtenu... On le pose sur deux supports éloignés de 40 mm, et (au milieu) on fait passer un cordon qui soutient un vase en entonnoir. On verse lentement et sans secousse dans ce vase un petit plomb de chasse, jusqu'à ce que le prisme se rompe. Alors on pèse le vase et le plomb et l'on trouve ainsi le poids qui a déterminé la rupture. On mesure la surface de rupture, on la rapporte, par le calcul, à une surface normale de 15 mm de côté (225 mm<sup>2</sup>) et on obtient ainsi la ténacité de la terre. Exemple : Un prisme... de 342 mm<sup>2</sup> a supporté 7,150 g... soit une ténacité de 4 703 (g). C'est une terre très forte. »

**Cohésion des terres humides**

Pour évaluer le travail dans les terres humides, la prise en compte de la « plasticité », ou la force de « cohésion » avec laquelle la terre s'attache aux instruments, est importante :

« Pour mesurer cette force, on prend un disque de bois de hêtre d'un dm<sup>2</sup>, on le met en contact parfait avec la terre complètement humide (celle qui ne laisse plus filtrer l'eau). Ce disque est attaché à un des fléaux d'une balance, on équilibre ce disque avec le bassin opposé, l'on charge ensuite le bassin de grains de plomb... et quand l'adhésion est rompue, on pèse le plomb, dont le poids représente la force employée pour vaincre la cohésion... ».

Avec un disque de fer, la plasticité est divisée par 10, technique que Gasparin préfère. Les valeurs obtenues pour différentes terres varient entre 0,19 pour un sable siliceux et 1,32 pour une argile pure avec des valeurs de 0,86 pour une terre argileuse et 0,34 pour une terre de jardin.

**Ténacité variable des terres**

Les mesures de ténacité et de cohésion qui vont conditionner l'énergie à appliquer et le coût du travail du sol pour l'agriculteur sont dépendantes de multiples facteurs extérieurs (climat, labours, occupation du sol, charge en animaux etc.) auxquels Gasparin donne le nom de « résistance aux instruments ». Pour mesurer cette résistance, il utilise un test très simple « en laissant tomber bien verticalement, d'un mètre de haut, une bêche pesant 2,75 kg » (bêche nommée « dynamométrique »). Dans une terre marneuse et piétinée, l'enfoncement est de 30 mm, il est de 50 mm dans une terre sablonneuse préparée. On dira alors que la terre a une résistance de 30 ou de 50 mm.

**Hygroscopicité des terres** (pp. 149-153)

Gasparin en donne la définition suivante :

« quantité d'eau qu'elle peut retenir entre ses molécules, sans la laisser égoutter, après avoir été saturée. » Il s'agit donc de notre « capacité au champ », que Gasparin nomme plus loin aussi « capacité hygroscopique ».

<sup>13</sup> Il semble bien que le calcul des exemples de trois hommes et un homme et demi a été inversé.

### **Fraîcheur de la terre (hygroscopicité variable)**

Gasparin essaie d'adopter une approche scientifique pour ce terme de cultivateur et propose la méthode suivante :

« prendre un échantillon de terre à 33 cm de profondeur, le peser immédiatement puis le faire sécher à 100° pour en connaître sa teneur en eau. Pour qu'une terre soit saine, il faut que, 2 ou 3 jours après les plus fortes pluies, elle ne renferme pas plus de la moitié de sa capacité hygroscopique d'eau, et qu'au mois d'août, après huit jours de sécheresse, elle en renferme au moins 0,10 de son poids ; la terre prélevée (à 33 cm) sera considérée comme « fraîche » ou « sèche » si elle présente respectivement une humidité de 15 à 23 % ou inférieure à 10 %. Au-dessous de cette quantité, la terre commence à jaunir ».

C'est notre « point de flétrissement » actuel.

### **Aptitude des terres à attirer l'humidité de l'atmosphère (pp. 153-154)**

La méthode proposée par Gasparin pour quantifier cette propriété est basée sur « l'étalement de terres desséchées sur des plateaux de verre recouverts de cloches plongeant dans l'eau par le bas ».

On pèse la terre après 12, 24, 48 et 72 h. Les principaux résultats sont les suivants :

« l'absorption diminue de vitesse à mesure que les terres sèchent..., elles absorbent plus pendant la nuit que pendant le jour, la température restant égale..., la faculté d'absorption suit le même ordre que l'hygroscopicité, si ce n'est que le terreau a plus d'action sur l'humidité atmosphérique que le carbonate de magnésie..., la grande proportion d'eau que prend le terreau et la continuité de son absorption rendent raison du gonflement des tourbes lorsque l'atmosphère se maintient pendant quelques jours dans un grand état d'humidité. ».

### **Diminution du volume des terres par dessiccation (pp. 157-159)**

Il s'agit de mesurer le « retrait » au cours de la dessiccation. Gasparin donne des observations du retrait dans les sols, particulièrement du Midi de la France et précise que ce ne sont pas les fentes formées qui posent problème mais bien la contraction au centre de la masse de terre,

« les pressions exercées contre les racines les étranglent, les arrêtent ou gênent la circulation, et rendent la plante chétive ou malade. ».

Deux techniques sont mentionnées pour mesurer cette propriété : d'abord l'« extensimètre » de Barthès, puis la méthode de Schübler consistant

« à former des prismes carrés, de dimension convenue et également humides, de les faire dessécher à une température donnée et de les mesurer de nouveau quand ils ne perdent plus de leur poids. ». Les valeurs obtenues (en % volumique) varient

de 60 (glaise maigre) à 149 (terre de jardin) pour différentes terres, avec 50 pour le carbonate de chaux, 183 pour une argile pure et 200 pour le terreau. « L'extrême retrait du terreau explique le boursoufflement des terrains tourbeux dans les temps humides, et leur abaissement par la sécheresse. Ils perdent alors un cinquième de leur volume. ».

Et enfin, phrase remarquable :

« On voit aussi que le retrait n'est pas proportionnel à la faculté de retenir l'eau, car la chaux a peu de retrait, quoiqu'elle retienne plus d'eau que l'argile ; il dépend du nouvel arrangement de molécules, qui est spécial pour chaque nature du sol, et qui, dans les mélanges aussi, agit d'une manière particulière. ».

### **Absorption de l'oxygène par les terres (pp. 159-161)**

Les résultats montrent que l'absorption de l'oxygène par les terres à l'état sec est nulle et les terres humides n'en absorbent que si elles contiennent du terreau et du fer.

### **Échauffement des terres par la chaleur lumineuse (pp. 162-166)**

« Cette propriété est une des plus importantes en agriculture, mais elle dépend d'un grand nombre de circonstances qu'il faut savoir isoler : 1° de la couleur de la surface du sol ; 2° de la composition minérale du terrain ; 3° d'autres circonstances tenant à la disposition générale du sol, telle que son inclinaison... de la nébulosité du ciel. ».

Concernant la couleur du sol, Gasparin indique qu'une argile blanche atteint 41 °C pour une température de l'air de 25 °C, la même teintée en noir 49 °C. Pour la composition minérale, les différences restent faibles et ne dépassent guère 2,5 °C, mais l'humidité influence beaucoup la température du sol. Les essais sur différentes sortes de terre, sèches ou humides, montrent que l'échauffement de sols humides est inférieur de 7 °C à celui de sols secs. Sur ce que nous appelons le pédoclimat (voir Baize, <http://mots-agronomie.inra.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Pédoclimat>, consulté le 19/03/2015), Gasparin conclut que :

« les terres que l'on appelle fraîches sont celles qui ont une couleur peu foncée, une grande faculté de retenir l'eau et qui se dessèchent lentement. »

### **De l'électricité (pp. 167-170)**

Gasparin dresse ici une synthèse des connaissances quant à l'importance de l'électricité sur les propriétés des sols et la croissance des plantes.

Le texte se poursuit par une troisième partie (pp. 171-198) consacrée aux « circonstances qui modifient les propriétés physiques des terres ».

Le chapitre 1<sup>er</sup> concerne l'« Examen de l'état des particules du sol » et commence par une réflexion sur la façon d'étudier le sol qui ne prend pas du tout en considération ce que nous appelons

l'agrégation, et que Fallou a décliné sous le terme d'assemblage. À ce sujet, Gasparin écrit notamment :

« Quand on examine une terre, telle qu'elle se trouve dans la nature, il est assez difficile de se rendre raison de l'état de ses particules ; on n'a qu'une véritable confusion : les fragments les plus gros mêlés aux plus fins, l'argile confondue avec la terre calcaire, l'une et l'autre couvrant de leur enduit les faces des cristaux et les fragments les plus caractérisés des minéraux. On ne tarde pas à reconnaître que tout examen sérieux est impossible avant d'avoir séparé les particules selon leur ordre de grandeur et de densité ; alors seulement on peut juger de leur nature et de leur figure. ».

Cette 3<sup>e</sup> partie reprend de manière détaillée les propriétés définies auparavant en étudiant leurs variations selon la texture des sols, les éléments climatiques comme la gelée, la calcination des terres, l'inclinaison du terrain, les abris. Cette partie se conclut par de remarquables « observations générales sur les propriétés physiques des terres » comme par exemple (pp. 197-198) :

« Nous devons résumer... ce qu'elles (les propriétés) présentent d'important pour l'agriculture. Parmi ces propriétés, il en est de premier ordre qui supposent les autres et dispensent de les rechercher, savoir: la fraîcheur du sol, sa ténacité, sa faculté de s'échauffer... on approche autant qu'il est possible aujourd'hui de la solution du problème fondamental de l'agrologie<sup>14</sup>. En effet, la fraîcheur moyenne de la terre nous indique si les plantes y trouvent l'humidité convenable nécessaire à leur consommation ; par la faculté d'échauffement, nous jugeons si la végétation a un degré d'activité en rapport avec l'humidité ; par la ténacité, nous connaissons enfin les difficultés de la culture... (Mais) échauffement... (et) fraîcheur... ces deux propriétés sont de véritables synthèses qui embrassent un grand nombre de circonstances que l'on combinerait imparfaitement, en supposant qu'elles fussent toutes connues. Nous les avons étudiées en détail... mais dans la pratique leur combinaison deviendrait impuissante pour remonter à l'effet... (Ainsi) les agronomes distingués... jugeant de l'agrologie par l'imperfection des moyens de recherche qu'elle avait employés jusqu'ici, niaient le pouvoir de la science et lui préférèrent la routine des paysans. Mais à l'avenir, cessant de s'isoler, les savants et les praticiens sentiront la nécessité de s'éclairer mutuellement. La longue querelle qui régnait entre eux est prête à s'éteindre, à l'aspect des services que tous les arts reçoivent de cette union que l'agriculture doit chercher à cimenter à son tour. ».

Par opposition aux réflexions de Gasparin, basées sur une approche quantitative et qu'il aurait pu connaître (en particulier les données qui avaient déjà été publiées en allemand par

Schübler), celles de Fallou sur nombre de propriétés physiques des sols (hormis les masses volumiques apparente et réelle) restent donc souvent essentiellement d'ordre descriptif et qualitatif. Il fait cependant preuve d'originalité dans le présent Chapitre 3 avec ses réflexions sur les couleurs des sols et d'autre part, et c'est peut-être l'essentiel, avec l'importance qu'il accorde aux assemblages en les plaçant en priorité parmi les propriétés physiques des sols. Dans ce sens, il est en avance sur Gasparin, car il faudra attendre le tout début du XX<sup>e</sup> siècle pour que ce concept essentiel qu'est l'agrégation commence à être pris en considération.

## BIBLIOGRAPHIE

- Aeschlimann J.P., Frossard E., Feller C., 2010 - Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie ». III. Chapitre 1 « Genèse du sol ». Étude et Gestion des Sols, 17 (3-4) : 67-74.
- Baize D., 2004 - Petit Lexique de Pédologie (page 85, lettre G), INRA ed., Paris.
- Fallou F.A., 1862 - Pedologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde. G. Schönfeld's Buchhandlung, Dresden, 487 p.
- Feller C., Boulaïne J., Pedro G., 2001 - Indicateurs de fertilité et durabilité des systèmes de culture au début du XIX<sup>e</sup> siècle. L'approche de Albrecht Thaër (1752-1828). Etude et Gestion des Sols 8, 33-46.
- Feller C., Aeschlimann J.P., Frossard E., Lutz V. 2008. Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie » - La Préface de l'ouvrage. Étude et Gestion des Sols, 15 (2) : 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) : 161-173.
- Frossard E., Aeschlimann J.P., Feller C., Strigens A., 2011 - Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie. IV. Chapitre 2 « État du sol ». Étude et Gestion des Sols, 18 (2) : 109-123.
- Gasparin A. (de), 1860 - Cours d'agriculture. Troisième édition. Tome 1. Paris, Librairie Agricole de la Maison Rustique, 696 p.

<sup>14</sup> Gasparin définit l'« agrologie » comme « la science qui a pour objet la connaissance des terrains dans leurs rapports avec l'agriculture » (p. 30).

