

Friedrich Albert FALLOU (1794-1877) et sa « Pedologie »¹

X - Chapitre 8 « Fonction du sol »

C. Feller^(1*) J.-P. Aeschlimann⁽²⁾, et E. Frossard⁽³⁾

- 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, France
- 2) AGROPOLIS-MUSEUM, 66 allée Mac Laren, F-34090 Montpellier, France
- 3) Swiss 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

Neuf articles (Feller *et al.*, 2008, 2015, 2019; Frossard *et al.*, 2009, 2011, 2019; Aeschlimann *et al.*, 2010, 2018, 2020) ont été consacrés à la publication commentée de la traduction française intégrale (ou d'extraits pour le Chapitre 2) de la Préface, de l'Introduction et des sept premiers Chapitres d'un ouvrage (1862) publié en allemand ancien par F.A. Fallou (1794-1877) à qui on doit notamment l'introduction du terme de « Pedologie ». Les Chapitres 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 concernaient respectivement « Genèse », « État », « Nature », « Espace », « Stratification », « Diversité » et « Classification » des sols, alors que la présente contribution comprend la version française intégrale du Chapitre 8 intitulé « Fonction du sol ». Ces dernières pages montrent que Fallou avait une vue très moderne du concept de fonction du sol. Il indique ainsi que le sol n'est pas seulement important pour la production agricole, mais aussi comme fournisseur de matières premières (tourbe et sable), régulateur (cycle de l'eau) et substrat (plantes et autres organismes). Il observe ensuite que ces fonctions dépendent de l'évolution de facteurs « naturels » (mécaniques par érosion-sédimentation ou chimiques par altération organique et minérale) ou « artificiels » (anthropiques) et décrit la mise en solution par le sol des éléments nutritifs de la plante. Ces réflexions amènent Fallou à évoquer le rôle de ce qu'il nomme "engrais" (fumier, marne et chaux) et à développer un point de vue optimiste quant à la pérennité de la fertilité du sol sous l'action raisonnée de l'Homme. Ainsi se clôt la

Comment citer cet article:

Feller C., Aeschlimann J.-P., et Frossard E. - 2020 - Friedrich Albert FALLOU (1794-1877) et sa « Pedologie » X - Chapitre 8 « Fonction du sol », *Etude et Gestion des Sols*, 27, 135-145

Comment télécharger cet article:

<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-27/>

Comment consulter/télécharger

tous les articles de la revue EGS:
<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/>

¹ Nous conservons ici le terme original allemand « Pedologie » (Fallou, 1862), de préférence au français « Pédologie ».

série d'articles consacrés à la première partie de l'ouvrage de Fallou, le texte original étant accompagné de quelques commentaires critiques sur ce Chapitre.

Mots clés

Pédologie, fonction du sol, histoire, Fallou.

SUMMARY

FRIEDRICH ALBERT FALLOU (1794-1877) AND HIS « PEDOLOGIE »

X. Chapter 8 "Function of the soil"

In nine previous papers (Feller et al., 2008, 2015, 2019; Frossard et al., 2009, 2011, 2019; Aeschlimann et al., 2010, 2018, 2020) a complete (except for Chapter 2 with extracts only) French translation of Fallou's Foreword, Introduction and Chapters 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 7, i.e. respectively "Genesis", "State", "Nature", "Extension", "Stratification", "Diversity", and "Classification" of the soil was published and analyzed. The present contribution provides a full French version, this time of Chapter 8 titled "Function of the Soil". In these last pages Fallou shows that he has developed a very modern conception of the functions of the soil. He first emphasizes that the soil is important not only for the agricultural production, but also as provider of raw materials (peat and sand), as regulator (water cycle), and as substrate for all plants and other organisms. He also notes that these functions depend on the evolution of "natural" (i.e. either mechanical due to erosion-sedimentation, or chemical through organic and mineral weathering) as well as "artificial" factors, and describes how nutrients are being dissolved in the soil to feed the plants. He finally evokes the role played by what he calls "fertilisers" (manure, marl and lime) and argues that the soil fertility is likely to be sustainable provided human actions remain appropriate. This Chapter represents the end of the first part of Fallou's book and is accompanied by some critical comments.

Key-words

Pedology, function of the soil, history, Fallou.

RESUMEN

FRIEDRICH ALBERT FALLOU (1794-1877) Y SU « PEDOLOGIE »

X. Capítulo 8 « Función del suelo »

Ya se dedicaron nueve artículos (Feller et al., 2008, 2015, 2019; Frossard et al., 2009, 2011, 2019; Aeschlimann et al., 2010, 2018, 2020) a la publicación comentada de la traducción francesa integral (o de extractos para el capítulo 2) del prefacio, de la introducción y de los siete primeros Capítulos de una obra (1862) publicada en alemán antiguo por F.A. Fallou (1794-1877) a quién se debe en particular la introducción del término de «Pedologie»¹. Los capítulos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 abarcaban respectivamente «Génesis», «Estado», «Naturaleza», «Espacio», «Estratificación», «Diversidad» y «Clasificación». La presente contribución comprende la versión francesa integral del Capítulo 8 intitulado «Función del suelo». Estas últimas páginas muestran que Fallou tenía una vista muy moderna del concepto de funciones del suelo. Indica así que el suelo no es solamente importante para la producción agrícola, pero también como abastecedor de materias primas (turba e arena), regulador (ciclo del agua) y substrato (plantas e otros organismos). Luego observa que estas funciones dependen de la evolución de factores «naturales» (mecánicos por erosión-sedimentación o químicos por intemperización orgánica y mineral) o «artificiales» (antrópicos) y describe la liberación en solución por el suelo de los elementos nutritivos de la planta. Estas reflexiones llevan Fallou a mencionar el papel de lo que él llama «abonos» (estiércol, marga y cal) y a desarrollar un punto de vista optimista acerca de la perennidad de la fertilidad del suelo bajo acción razonada del Hombre. Así se cierra la serie de artículos dedicados a la primera parte de la obra de Fallou; el texto original está acompañado de algunos comentarios críticos sobre este capítulo.

Palabras clave

Pedología, función del suelo, historia, Fallou.

Avec le présent Chapitre 8 se termine la première partie intitulée
« Science du sol générale » (Feller et al., 2008) de la *Pedologie* de Fallou.

Une traduction française complète en est donnée ci-dessous, accompagnée de quelques commentaires critiques².

HUITIÈME CHAPITRE

FONCTION DU SOL

*Dass der Mensch zum Menschen werde
Stift' er einen ew'gen Bund
Gläubig mit der frommen Erde
Seinem mütterlichen Grund'.³
Schiller*

Aucun être n'existe par sa seule volonté propre, il est un membre de la grande chaîne et ne sert donc, comme tout autre membre, qu'à la préservation de l'ensemble, dans la nature rien n'est dépourvu de sens et le sol, par conséquent, doit aussi avoir une raison d'être.

Voilà une déclaration de portée générale bien dans la veine de l'esprit naturaliste qui prévaut à l'aube du XIX^e siècle chez les romantiques germanophones en particulier et laisse déjà augurer l'émergence de ce qui deviendra bientôt l'écologie.

*Il semble donc absurde de se demander : pour quoi ?
Car tout champ emblavé nous en fournit une réponse,
et dit : « le sol est présent pour notre survie, il n'est apparemment là que pour l'Homme ». Nous ne voyons pas que des champs tout autour de nous, même pas des forêts ; il se trouve encore sur cette terre des surfaces incommensurables avec du sol, certes, mais*

même pas recouvert de mousse et encore moins de céréales frémissantes ou d'arbres fruitiers, il nous suffit de penser aux déserts de sable brûlants d'Afrique et d'Asie, au désert du Sahara, Mojave, Sind et Gobi, aux steppes de gravier et de sel désolées d'Iran et de Perse, aux sinistres solitudes glacées de Sibérie comme aux déserts d'Atacama et de Sechura en Amérique du Sud, qui tous additionnés surpassent le double de la surface totale de l'Europe et même sur notre continent d'origine il ne manque pas de déserts car des étendues inimaginables de marécage, sable et lande, des versants de débris privés d'arbre et d'herbe, des champs de glace et de neige, des falaises rocheuses entièrement nues, et des volcans en éruption avec leurs amas de scories et de cendres déposés alentour accaparent encore en Russie, Finlande, Suède, Norvège, Islande, Hongrie, Hanovre, France et Italie des milliers de lieues carrées et jusque dans les plus belles campagnes à céréales, la véritable terre arable n'est que la plus petite partie du sol, car celle-ci n'est souvent que la mince couverture d'un banc de gravier tout à fait stérile.

Le sol ne peut donc être destiné qu'à la seule et unique agriculture et n'être présent que pour l'Homme, dans la nature il doit encore avoir une autre finalité plus générale, car même le sol mort, calciné et gelé de ces déserts ne peut être totalement inutile.

Le sol remplit donc un ensemble de fonctions autres qu'agricoles dans le grand système de la nature, ce qui, de nos jours, renvoie un peu à la notion des « services écosystémiques » fournis par les sols.

La fonction première et générale qu'il accomplit est sans conteste le cycle éternel et régulier des eaux, qu'il régule de manière telle qu'il serve à toute la création animée, et non seulement à l'Homme, mais aussi aux animaux et plantes. Le champ emblavé a besoin de pluie et de soleil, et par conséquent aucune agriculture n'a été possible avant que toute l'économie de la nature soit organisée de ce point de vue. Par rapport

² La traduction française du texte original, y compris les notes de bas de page de Fallou, figurent ici en italique, les commentaires variés et les notes infrapaginales des auteurs sont en caractères romains.

³ Cette strophe est extraite d'un long poème intitulé *La fête d'Eleusis* (1798), lieu où les Grecs célébraient la déesse de l'agriculture et des moissons. En traduction française proposée par les auteurs :

Afin que l'Homme devienne Homme

Il établit un lien éternel

Permanent avec la terre sacrée,

Son origine maternelle,

Le poème de Schiller se poursuit ainsi « (Et) respecte la loi du temps et la marche sacrée des astres... ».

à ce cycle des eaux, terre et mer représentent un tout inséparable, elles sont entre elles dans un échange permanent. L'eau qui s'évapore en continu de l'océan s'élève dans l'atmosphère, s'y condense en nuages, passe sous cette forme en nous survolant très haut vers l'intérieur des terres et se dépose ensuite à nouveau à terre tantôt comme brouillard, tantôt en pluie ou neige en fonction des différents air, température et gravité. Le sol reçoit toutes ces précipitations et les amène peu à peu vers la roche sous-jacente, comme à travers un filtre. Celle-ci n'a, certes, pas de pores comme le sol, mais une quantité de fentes et crevasses. Petit à petit, l'eau infiltrée se rassemble à nouveau dans ces étroits canaux, les innombrables fins ruissellements se réunissent en rigoles plus importantes qui finalement surgissent des montagnes sous forme de sources jaillissantes.

Sur leur cours, les sources se combinent en ruisseaux, ceux-ci en rivières et les rivières en fleuves puissants et ainsi toute eau que le sol a captée retourne enfin par de vastes détours dans le grand bassin de l'océan duquel elle a été conçue par l'intermédiaire de l'atmosphère. De cette manière, le monde de la mer obtient en retour non seulement l'eau qui lui a été soustraite par évaporation, mais encore également un ajout considérable de substances minérales que les sources ont dissoutes et extraites du sein des montagnes. Nous ne voulons rappeler ici qu'en passant l'énorme quantité de matières solides que le Rhin charrie en un seul jour sur son cours vers la mer.

On tient là une belle description du rôle que le sol est appelé à jouer dans le cycle global de l'eau, y compris dans sa dimension géochimique.

Si la terre ferme de notre planète consistait partout en roche pelée et nue, il n'y aurait pas de sources et donc pas de fleuves, nous n'aurions que des cascades périodiques, gonflées par un temps de pluie qui surgiraient alors des montagnes en flots tumultueux et inonderaient très loin les vallées et plaines en les dévastant, mais se tariraient à nouveau peu après, tous les lacs des plaines deviendraient des nappes puantes, il n'y aurait pas de cycle permanent et continu de l'eau, celui-ci se créa seulement parce que la roche sous-jacente de cette terre se couvrit de sol qui retient les précipitations atmosphériques un certain temps, à la manière d'une éponge, et même le sol apparemment le plus inutile remplit ainsi sa fonction, le cycle régulier des eaux.

Encore une vision bien actuelle du rôle absorbant et infiltrant du sol vis-à-vis de l'eau (« à la manière d'une éponge »),

permettant d'éviter ruissellement (« les flots tumultueux ») et inondations.

La deuxième fonction générale, encore que conditionnée par la précédente, est la conservation du monde animal et végétal, car avant qu'un être vivant puisse survivre, il fallait bien d'abord que son alimentation soit assurée. Aucun animal ni plante ne vit d'air et d'eau seulement, mais l'animal de la plante, le prédateur aussi indirectement, la plante en revanche du sol.

En écrivant « Aucune plante ne vit d'air et d'eau seulement... », idée qu'il développe encore par la suite, Fallou montre, comme déjà souligné dans plusieurs Chapitres précédents, que sa conception de la nutrition des plantes en reste à la « théorie de l'humus » selon Thaer (1809), à savoir que les végétaux tirent l'essentiel de leur carbone des matières nutritives présentes dans le sol et non du CO₂ atmosphérique. Certes, il reconnaît l'importance des apports minéraux pour la plante, et va le démontrer par la suite de ce Chapitre, mais il n'en fait pas le processus principal de la nutrition végétale, à l'opposé de son contemporain germanophone Liebig avec sa « théorie minérale » (1840, 1841) qu'il semble négliger.

Pourtant l'Homme entend vivre aussi, bien que la nature ne lui offrit pas toujours assez pour apaiser sa faim, il n'y avait pas partout et en tout temps des fruits comestibles, le gibier diminuait peu à peu dans les bois et les eaux étaient gelées en hiver. La nécessité le força à mettre la main à la charrue, il apprit à cultiver le champ. Ainsi le sol hérita de sa dernière et suprême fonction, la culture du champ. De ce point de vue, il n'est toutefois disponible que pour l'Homme ; comme terre arable il n'a de sens que pour lui, pour lui il ne saurait y avoir plus important, c'est une tâche d'ampleur incalculable, car que serait encore aujourd'hui l'humanité sans agriculture ?

Le frisson nous saisit lorsque nous nous trouvons plongés dans la nature sauvage et ne pouvons percevoir la moindre trace de présence humaine autour de nous. Le sol cultivé, les épis mouvants d'un champ, le sentier, la haie d'un jardin ou l'arbre fruitier nous montre alors que nous ne sommes pas seuls et abandonnés. Seule la culture du sol fait de cette terre un lieu d'habitation agréable, c'est la semence germant qui a lié le nomade à la glèbe, c'est l'agriculture qui a rassemblé les Hommes, les a réunis en famille et état, tout ce que nous avons aujourd'hui, notre culture et civilisation, nous le devons au seul lien que l'Homme a conclu avec sa mère terre, car c'est par l'agriculture que l'Homme devint l'Homme.

Ainsi la nécessité, qui lui apprit à cultiver le sol, ne fut pas un malheur pour lui, et la malédiction qui, selon le mythe hébraïque, affecta le premier Homme: « Tu

gagneras ton pain à la sueur de ton front ! » est devenue un bienfait pour toute l'humanité.

On va revenir ensuite sur les multiples utilisations auxquelles se prête le sol dans tous les domaines d'activité humaine : construction, chauffage, industrie, commerce, etc.

Nous comprenons maintenant que même le sol apparemment inutile ait sa finalité, il nous procure tant de profits divers par ailleurs, même si n'est comme champ, que nous pouvons le considérer au même titre que le sol arable fertile, car en raison justement de notre culture, nous avons maintenant plus de besoins que le pain quotidien. Combien de travailleurs ne sont-ils pas occupés dans les sablières et les gravières, à extraire le sol totalement dépourvu de valeur arable pour le propriétaire, mais tellement indispensable à la construction de maisons et de routes comme à de bien d'autres arts et métiers ! En d'autres temps, quel bien inestimable est devenue la tourbe pour de nombreux pays, l'enfant de la forêt primitive n'en avait pas la moindre idée, et tous les avantages que même le sol tout à fait désert et infertile procure à l'Homme, quelle valeur il a pour l'industrie et le commerce et ainsi pour le bien-être général, cela ne pouvait lui apparaître avant qu'existe un état avec une industrie et un commerce. Cependant, dans la nature rien n'est définitif, ses forces et lois seules sont éternelles. Avec le temps, tout se transforme dans sa substance et forme, comme dans le monde organique, dans l'inorganique aussi, sans cesse des régénérations ont lieu, les éléments se combinent sans arrêt en nouveaux corps et sont continuellement en transition d'un état à un autre. Héraclite le dit déjà par les mots : « à part le feu, il n'y a rien d'éternel, tout est dans un flux permanent d'un état à un autre », et son contemporain, Pythagore, enseignait : « tout dans la nature est soumis au changement et à la modification, les corps se transforment incessamment en d'autres apparences ».⁴

Le sol aussi est le résultat d'un remodelage et d'une transformation car, au tout début, il était roche ferme. Ce que plantes et animaux ont apporté ne peut s'être ajouté qu'une fois du sol déjà présent. La question se pose alors : restera-t-il ce qu'il est maintenant, conservera-t-il à jamais sa fonction de sol arable ? Cette question vaut bien la peine d'être examinée et ce d'autant plus qu'on n'a pas du tout oublié l'idée : « comme toute chose en ce monde, le sol ne rajeunit pas, mais vieillit et à la fin il perdra complètement son énergie créatrice » déjà largement répandue dans

l'Antiquité et, qui, bien au contraire, ressort à nouveau aujourd'hui, mais sous une autre forme.

Dans le grand cycle de la nature, le sol est susceptible de se transformer sous l'effet de forces naturelles d'ordre physique (érosion, transport, dépôt) ou chimique (altération minérale).

Encore que le sol subisse les modifications que les forces de la nature provoquent en lui, l'Homme a également le pouvoir de l'améliorer et de le détériorer, les modifications auxquelles il est exposé sont donc ainsi pour partie naturelles, pour partie artificielles.

Les premières se scindent en outre en mécaniques et chimiques. Le sol n'est modifié mécaniquement que de l'extérieur par les inondations persistantes de la mer et des fleuves, par formation de tourbe et de marécage ainsi que par les retombées de poussière et de cendres lors d'éruptions volcaniques. Cette croissance ne peut naturellement se produire que dans des vallées et des plaines, non sur des pentes raides de montagne, ici le sol décroît plus qu'il ne croît. Du sol nouveau est en revanche sans cesse ajouté à de larges vallées fluviales et sur des rivages marins plats. À l'embouchure des fleuves, dans les baies qui sont protégées de la houle violente et du ressac par la présence de bancs de sable ou d'isthmes, des estrans nouveaux se forment encore de nos jours, par place, presque à vue d'œil, avec du sol fertile et dans un temps si bref, qu'il est déjà recouvert du plus beau tapis herbeux après peu d'années. En conséquence, les modifications mécaniques consistent surtout en une augmentation du sol, il croît en général en étendue et épaisseur.

Le sable soulevé et emmené ici ou là est toutefois une augmentation très peu réjouissante pour maint pays côtier, où il a déjà enseveli des villages entiers avec leur campagne, comme dans le Jutland et les Landes dans le golfe de Gascogne ; mais ces menées de sable ont par ailleurs aussi eu leur avantage, car elles ont sûrement rempli et transformé au moins en forêt de pins maint étang et plaine marécageuse, comme dans la région entre Elbe et Oder toujours richement pourvue en lacs et failles. Les ravages des fleuves dans les vallées alpines par remblayage de zones fertiles avec leurs débris sont comme les ensablements des dunes mouvantes. Ceci en particulier dans le val d'Adige, du Passeier et de Salzach. Entre Zell et Mittersill, la Salzach a modifié son lit à plusieurs endroits de telle manière qu'elle s'est frayé un cours entre champs et prairies et couvert le fond de la vallée des deux côtés de sable et de débris.⁵

4 Ovide, *Métamorphoses*, livre XV, v.165-265.

5 Il existe aujourd'hui encore une stèle à l'endroit où l'empereur François II

Quant aux modifications que le sol subit par des processus chimiques, celles-ci consistent surtout en décompositions, qui se produisent en son sein, et concernent ainsi davantage une restructuration et transformation et en même temps indirectement la consistance de celui-ci. La modification la plus importante et la plus favorable de cette sorte est la dissolution progressive du minéral encore non décomposé, et dans cet état tout à fait inutile pour la plante, qui y est contenu. De même que l'oxygène de l'air et l'eau a déjà transformé en sol une part considérable de l'écorce solide de notre planète, ainsi ronge-t-il aussi continuellement les ruines qui y demeurent, elles aussi doivent être à la fin complètement transformées en terre, et ceci d'autant plus vite qu'elles sont déjà davantage fragmentées, car un pouce cube⁶ de roche solide réduit en 100 pouces linéaires offre naturellement une surface bien plus grande à l'attaque de l'oxygène que ce même pouce cube entier.

Remarques intéressantes sur le potentiel d'altération des roches en fonction (i) des surfaces spécifiques développées, (ii), du facteur temps dans l'altération et (iii) de la nature de la roche (cf. infra, à propos de la vitesse de dissolution des roches par l'acide carbonique dissout).

Cette décomposition à l'intérieur est, certes, encore bien moins visible que l'altération par l'extérieur, dans maint sol une génération humaine ne suffira pas à observer la moindre modification, il est pourtant hors de doute que même la roche de quartz subit une décomposition progressive et que les débris inertes de granite désagrégé peuvent devenir, ne serait-ce qu'après des millénaires, un sol limoneux compact dans l'aspect extérieur duquel on ne serait plus en mesure de reconnaître sa roche initiale et son origine. En revanche, toutes les matières organiques se décomposent d'autant plus vite dans le sol et c'est justement cette décomposition qui en fait une terre arable. Par leur pourrissement, des restes de plantes, cadavres et excréments d'animaux deviennent humus (Moder) et le sol, un corps jusqu'ici encore purement minéral devient de cette manière un mélange de substances corruptibles et incorruptibles, il devient terre végétale et arable.

a fait aux pauvres gens la promesse consolatrice : « Oui, enfants, il faut que vous soyez aidés ! ». Ils n'ont aujourd'hui encore pas été aidés, et il ne sera assurément pas si facile d'aider ici.

⁶ Soit 16,387 cm³ ou 0,0164 l.

Le rôle des matières organiques dans les forces naturelles chimiques est ensuite évoqué.

Mais pour cette dernière en particulier, la plus importante modification est la dissolution des substances nutritives minérales qui y sont, car celles-ci ne peuvent venir en aide à la plante tant qu'elles ne sont pas rendues tout à fait libres et liquides. Il est bien connu que le solvant le plus efficace est l'acide carbonique et celui-ci d'autant plus abondant dans la terre arable que celle-ci est pourvue en humus (Moder), par la putréfaction duquel elle se forme tout d'abord. Plus il se développe d'acide carbonique dans la terre arable, plus vite doivent aussi se dissoudre les substances minérales nutritives de la plante contenues dans cette dernière. Il est établi que l'eau contenant de l'acide carbonique dissout, à partir de la roche compacte, en général une fois plus de terre de silice, calcaire et de magnésie (Talkerde⁷) que l'eau distillée et, à partir du basalte, bien plus du double de ces matières.

Le discours concernant les processus pédogénétiques est intéressant ici à plus d'un titre ; il montre que Fallou envisage bien la matière organique comme un acteur important dans l'altération des roches permettant la libération d'éléments disponibles pour les plantes. Mais aussi que cette mise en solution des minéraux peut conduire à des accumulations minérales dans les sols sous forme soit carbonatée, soit ferrugineuse :

Cependant, la dissolution accélérée de telles substances nutritives des plantes ou d'autres peut parfois avoir son inconvénient, dans la mesure où ces dernières sont perdues avant le temps pour les plantes, ou entrent à nouveau dans d'autres liaisons stables, de la terre peut redevenir roche compacte. De petits dépôts de tuf calcaire se forment aujourd'hui encore dans des fonds de prairie marécageux sous eaux calcaires stagnantes, du fait que la terre calcaire dissoute dans l'eau précipite et recouvre de sa vase roseau, herbe et mousse avec leurs flegmatiques habitants, les escargots et vers, jusqu'à ce que tout soit coagulé en une motte solide et

⁷ Le mot allemand utilisé par Fallou est « Talkerde » ; terme qui peut se traduire par « terre de talc », mais correspond probablement plutôt à une autre traduction, celle de « magnésie », « oxyde de magnésium » <https://fr.langenscheidt.com/allemand-anglais/talkerde> ; voir aussi <https://www.yumpu.com/de/document/read/5018328/10721-Alte-Mineralnamen-und-Synonyme>, pour « magnésit ». De même, il sera question plus loin de « kohlsäure Talkerde », qui correspondrait donc à « magnésie carbonatée », un des constituants de la dolomie (calcaire double de calcium et de magnésium). En conséquence, « Talkerde » a été traduite ici en français par « magnésie » tout en conservant (entre parenthèses) l'original allemand.

pétrifiée ; les concrétions dites réniformes ou cylindres stalactitiques de sphaérodite ne s'en forment pas moins dans le limon, là où il contient beaucoup d'oxyde de fer, parce que les racines nécrosées sont peu à peu couvertes et incrustées d'ocre ferreux, de la même manière également les concrétions de marne calcaire présentes dans la marne ; dans l'ensemble ces métamorphoses sont toutefois de peu de poids face à l'énorme masse du sol déjà existant, infiniment plus de roche est devenue et devient terre maintenant encore que celle-ci ne se transforme en sens inverse à nouveau en roche.

À propos des aspects agronomiques relevant de la pédogenèse, on relèvera ici quelques remarques tout à fait pertinentes sur les racines nécrosées et les pertes comparées d'éléments minéraux utiles à la plante par lixiviation (ici « lessivage »).

Bien plus préoccupantes semblent les modifications que le sol subit par lessivage, car les nutriments requis pour la végétation peuvent lui en être retirés ainsi en un temps très bref.⁸ La terre calcaire semble être plus spécialement soustraite au sol de cette façon, car elle constitue toujours la part la plus importante des substances que les fleuves transportent des montagnes vers la mer. Puis viennent les sels de potasse et phosphore et, sur sol fortement fumé, l'azote sous forme d'acide nitrique qui, lessivés par l'eau de pluie absorbée, lui sont à nouveau retirés. Cependant, une grosse portion de ces matières et notamment potasse, sodium, terre carbonatée de calcaire et de magnésie (kohlenaure Talkerde), est déjà perdue au moment de la décomposition de la roche sous-jacente, donc non pas pour le sol déjà présent, mais bien pour celui en train de se créer. Le schiste de mica calcaire des Alpes salzbourgeoises fraîchement taillé contient autour de 30, parfois même apparemment 80 % de calcaire carbonaté, mais le sol qui en résulte directement ou plus exactement encore en cours de formation, souvent à peine 1 %, en sorte que pendant sa transformation ou sa conversion de roche ferme en gravier et sable celui-ci doit déjà avoir perdu la plupart de sa terre calcaire, la désagrégation seule ayant déclenché le lessivage de cette dernière.

Judicieuse remarque ci-dessus concernant l'existence de sols issus de roches calcaires mais qui ne sont plus eux-mêmes carbonatés et sur la disparition d'autres éléments nutritifs pour les plantes comme le potassium, le phosphore et l'azote.

⁸ En fait pour ceux qui sont déjà dissous, un lessivage étant impossible pour ceux qui ne le sont pas.

Cependant, que cette excretion et disparition de certaines substances élémentaires suite à de permanentes décomposition et dissolution ne puisse se produire dans les mêmes proportions en tout sol ni à travers la masse entière de celui-ci, le sol de marne de loess le démontre, qui, dans ses couches supérieures, contient souvent plus de calcaire et magnésie carbonatés⁹ (kohlenaure Talkerde) que dans les inférieures, et déjà pour cette raison il serait faux de prétendre que le limon qui le recouvre a autrefois aussi été du loess. Toutes les substances ne sont pas lessivées en même temps, l'une plus tôt que l'autre et de l'une davantage que de l'autre, le sodium avant la potasse et celle-ci avant la silice dont seules de très faibles quantités sont dissoutes. Le surplus de ces matières dissoutes lui-même, c. à d. ce que les plantes en laissent après saturation, ne va certes pas passer immédiatement dans les eaux souterraines, il en reste en tout cas une partie liée au tissu racinaire.

Le passage ci-dessus est particulièrement remarquable pour diverses raisons, à savoir que Fallou : (i) semble associer à un même niveau la dynamique du calcium (calcaire) et du magnésium (magnésie), (ii) va différencier nettement la dynamique de solubilisation et de pertes par lixiviation d'autres éléments des roches et des sols avec des exportations plus rapides du sodium que du potassium mais nettement plus lentes pour la silice, et enfin (iii) montre que l'on peut appréhender les processus d'altération et les cycles géochimiques par l'« analyse des eaux souterraines » (ci-dessus, nommées aussi « eaux de drainage » ci-après) ce qui est sûrement une idée très novatrice pour l'époque. Quant aux actions de l'Homme sur les modifications des sols, Fallou constate les bienfaits de l'agriculture en termes d'amélioration, mais s'interroge aussi sur la possibilité que le sol en vienne à perdre sa fertilité.

Parfois aussi le lessivage est un bienfait pour le champ, notamment quand il contient un excès de l'une ou l'autre matière, ou des substances vraiment toxiques (poisons), en sorte qu'elles ont un effet défavorable sur les plantes, comme p.e. le sodium dans les nouvelles terres gagnées sur les estrans du littoral de la mer du Nord, ou l'oxydure de fer et le fer phosphorique dans le sol des marécages et tourbières asséchés et la terre dite pulvérulente, ou le fer sulfurique dans le sol tourbeux des marais.

⁹ Fallou tient visiblement à souligner que la magnésie peut être carbonatée (cf. note 7) ; il est cependant curieux qu'il évoque à plusieurs reprises des « calcaires carbonatés ». Il sait forcément que les calcaires sont carbonatés mais insiste peut-être sur l'intérêt agricole des roches riches en carbonates qui servent de « solvants » dans le sol par leur acide carbonique qui va stimuler la mise à disposition de substances minérales essentielles pour la plante (cf. les « engrais » p. 143).

Comme prévu d'ailleurs, les modifications naturelles ci-devant mentionnées ne se prêtent pas à notre observation, justement parce qu'elles ne se produisent qu'à l'intérieur, dans la profondeur ténébreuse du sol, mais que pour autant des processus chimiques doivent y avoir lieu sans cesse découle déjà des analyses des eaux de drainage.¹⁰ Sous la quiétude apparente de sa masse morte inerte, les éléments y sont en effet en mouvement incessant, au cours du temps des liaisons se créent par oxydation et excrétion, exclusion et échange dans cette masse, par lesquelles elle est modifiée non seulement dans sa forme, mais aussi dans sa substance. Dans ce sens on peut dire que la terre arable n'est pas seulement remodelage, mais refonte complète.

Quant aux modifications artificielles que le sol subit sous l'emprise de l'Homme par sa culture, on peut les qualifier en partie d'améliorations, en partie de détériorations. Elles ne concernent que le sol cultivable, et là aussi seulement la composition et la nature, le savoir-faire humain étant incapable de rien changer aux position et hauteur, étendue et importance. Mais le sol inculte ne devient fertile que par la culture, donc grâce à la main de l'Homme. Abandonné à la nature, il ne produit que des plantes sauvages, pour fournir des végétaux plus nobles, des fruits, légumes et céréales, il doit tout d'abord être préparé artificiellement, l'arbre fruitier, la pomme de terre, les céréales et légumineuses et toutes les plantes des jardins et champs quel que soit leur nom, ne s'accommodent pas des arbres de la forêt, ils exigent un sol meilleur, défriché, ils ne croissent que grâce à l'entretien et au soin humains, la terre cultivée ne peut ainsi exister que par l'action, par le labour, l'Homme ne doit son champ emblavé qu'à sa seule activité propre, à ses travail et amélioration adéquats du sol.

Pourtant, tout comme le sol brut intact, qui dans son état naturel n'a porté pendant des millénaires que forêt et lande, joncs et laïches, par la culture se transforme peu à peu dans sa nature, en quelque sorte s'anoblit et devient ainsi seulement vrai sol arable, de même celui-ci peut-il aussi redevenir passagèrement friche et désert du fait de traitement inapproprié et négligence, l'Homme a les deux en main, amélioration et détérioration. On devrait certes croire que son propre intérêt l'oblige déjà à se préoccuper toujours uniquement de la première, cependant il se laisse aussi souvent abuser par de fausses promesses et à l'encontre de milliers d'années d'expériences on

essaie toujours à nouveau de récolter sans frais, peine et travail particulier, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus rien d'autre à récolter que mousse et mauvaise herbe.

Ce sont ces détériorations en particulier qui nous amènent à la question : avec le temps, le sol perdra-t-il sa fertilité et ainsi sa fonction de sol cultivable, ou restera-t-il ce qu'il est ?¹¹

On a prétendu voici 2000 ans déjà que le sol s'épuisait peu à peu de par la culture, vieillissait et devenait invalide comme l'Homme lorsqu'il parvient au grand âge, et les maîtres de l'agriculture rationnelle répètent aujourd'hui cette antienne en formulant la phrase :

par la culture continue du sol, ses substances nourricières non seulement organiques, mais aussi minérales sont à la fin totalement épuisées par les plantes, elles doivent donc lui être à nouveau restituées s'il doit rester fertile.

Fallou aurait pu citer ici les travaux de Sprengel (1826), ce précurseur de Liebig à l'origine de la « loi du minimum », qu'il a pourtant mentionné précédemment à propos de la classification des terres (Aeschlimann et al., 2020). Mais en considérant les « substances nourricières » comme à la fois « organiques » et « minérales », il se situe à nouveau dans le contexte de la « théorie de l'humus » de Thaer. Sur le plan des bilans minéraux, Fallou explique ensuite que les réserves en éléments nutritifs minéraux pour la plante sont tellement importantes dans ses débris de roches et/ou ses fragments organiques qu'un sol n'est jamais épuisable. En revanche, si ces éléments ne sont pas immédiatement disponibles, c'est à l'Homme de mettre en oeuvre les techniques adéquates pour les mobiliser, ce qui le conduit à aborder la notion d'« engrais ».

Columelle déjà répond à cette admonition par les termes :

le sol ne subit pas la fatigue ni la vieillesse, mais répond naturellement à notre stupide inertie par des champs moins généreux.¹²

Si l'on croit qu'il doit être rendu au sol après chaque récolte in natura la même quantité de matières minérales que les plantes lui ont prélevée pour qu'il reste fertile, c'est sans aucun fondement. Excepté le sol de tourbe, et nonobstant le lessivage, le sol ne souffre, en règle générale, d'aucun manque en ces matières, il en est si richement pourvu, la terre de silice tout au moins, qu'elles suffiront encore pour des millénaires; en général elles sont simplement liées à

11 Phrases soulignées par les auteurs de l'article.

12 Dans l'original (liv. II, chap. 1) il est dit : *Non igitur fatigatione, nec senio, sed nostra scilicet inertia minus benigne nobis arva respondent.* (Nouvelle traduction française qui diffère du texte allemand, mais en garde le sens).

10 Landwirthschaftl. Centralblatt de 1857, Fascicule 1, p. 14.

ses composantes massives, aux débris encore non décomposés et même jusqu'aux fragments minéraux réduits en sable le plus fin, et restent ainsi inaccessibles pour l'heure à la plante. Le sol primitif de granite et gneiss consiste très souvent presque entièrement en fine roche sous-jacente désagrégée et à moitié altérée et ses matières élémentaires sont ainsi pour l'essentiel encore non dissoutes. Il serait donc bien difficile de tenter d'évaluer quand la réserve de nutriments minéraux des plantes contenue ici sera épuisée.

La plante ne peut naturellement pas en consommer plus qu'il ne lui en est offert sous une forme acceptable pour elle, de la roche compacte encore non décomposée et non dissoute présente dans le sol (gravier et sable), elle ne peut rien tirer, si elle ne trouve plus l'aliment requis, elle doit bien s'étioler, ce n'est donc pas surprenant si un champ non pas cultivé mais surexploité par semis et fauche ininterrompus devient à la fin stérile et aride, car les aliments prélevés dans le sol par la plante ne sont pas remplacés par la nature aussi vite que l'Homme l'exige, il ne peut demeurer fertile que grâce à un traitement naturel et une utilisation soignée. Soit il doit donc être laissé en paix un certain temps en sorte que les substances maintenant encore liées se dissolvent d'elles-mêmes, soit l'Homme doit venir en aide à la nature avec son savoir-faire, il doit éveiller les forces encore endormies dans le sol et tenter d'accélérer la dissolution des substances désirées par des moyens appropriés, de manière qu'elles puissent aussi devenir liquides et circuler, car la plante ne peut les absorber sous forme solide, mais seulement liquide avec l'aide de l'eau.

Sous l'appellation d'« engrais », la chaux et la matière organique pourrissante (Moder) sont expérimentées depuis longtemps comme de tels solvants. La première décompose et dissout non seulement les composants minéraux du sol, mais elle favorise aussi la décomposition des matières organiques dans l'engrais végétal, la marne¹³ aussi, plus ou moins. Pour l'essentiel toutefois c'est l'humus animal et végétal (fumier) qui favorise la dissolution des matières nutritives minérales, par l'acide carbonique, le plus puissant solvant de ces matières, qui se forme lors de sa propre décomposition, il restera par conséquent le meilleur moyen de maintenir le champ en l'état fertile. Il est particulièrement nécessaire au sol primitif des

montagnes auquel la dent du temps doit encore ronger longtemps avant de le transformer en terre arable, alors que le sol déjà riche en humus des plaines basses peut tout à fait s'en passer. Ici, un tel sol ne manque pas, il y a du sol, si bien pourvu de toutes les matières nutritives que les plantes peuvent toujours s'en régaler en abondance, que l'Homme peut parfaitement se dispenser de toute aide artificielle, car dans les plaines du Nil, de Volga, Danube, Elbe et Weser, la nature pourvoit elle-même à la fertilisation par les inondations annuelles de ces fleuves.

Chaux, marne et matières organiques en décomposition constituent donc les « engrais » qui, selon Fallou, ne sont pas destinés à apporter eux-mêmes des éléments nutritifs, mais à fonctionner comme des solvants, des produits qui, par leur action chimique corrosive alcaline (la chaux) ou acide (l'humus par son acide carbonique) vont contribuer à libérer les substances nutritives contenues dans le sol, ou tout au moins en accélérer la dissolution. En d'autres termes, il voit l'engrais comme permettant de valoriser plus rapidement les réserves contenues dans les débris organiques et rocheux qui, sinon, relâchent très lentement les éléments nutritifs nécessaires aux plantes. Cette théorie est bien éloignée de celles qui prévalent à son époque sans même vouloir évoquer Liebig. Ainsi Gasparin (1843, tome 1, 9^e partie, pp. 523-720) avait déjà développé une tout autre approche du mode opératoire de l'engrais, beaucoup plus proche de notre perception actuelle. Autrement dit Fallou fait ici preuve d'originalité, il se veut novateur tout en ignorant délibérément les travaux d'agrologie de ses contemporains. Par ailleurs son analyse des processus géochimiques qui conduisent à la libération sous forme soluble d'éléments minéraux nécessaires à l'alimentation de la plante est remarquable.

C'est donc une peur infondée si l'on croit que le sol s'épuise et devient stérile avec le temps, cela ne lui arrive pas en utilisation rationnelle, il demeure pour les Hommes ce à quoi il était destiné par la nature, il reste sol cultivé, les lieux de production pour les besoins de son existence.

En conclusion, pour Fallou, un épuisement des sols en éléments nutritifs pour les plantes n'est pas à craindre, simplement, « l'Homme doit venir en aide à la nature avec son savoir-faire » (voir supra).

Des doutes s'élèvent quant au climat, certes, ne va-t-il pas réduire la culture avec le temps et repousser peu à peu de sa patrie le paysan du nord et l'obliger à émigrer dans des régions méridionales avec sa charrue. L'évidence que la côte est du Groenland (pays vert), sur laquelle il y avait encore 190 villages en l'an 1406, soit devenue depuis totalement inhabitable et

13 Le marnage des champs était déjà courant dans l'Antiquité. Varron découvrit déjà cette habitude en Gaule, lorsqu'il s'y trouva, sous Pompée le Grand, en guerre contre César. De même la vase de la mer et des fleuves était déjà utilisée comme engrais dans la préhistoire.

Palladius de re rust. liv. I. tit. 33.

presque inabordable sous la glaciation, que l'Islande couvrirait ses besoins en céréales sur son propre sol au Moyen Âge et n'ait plus aujourd'hui que tout juste assez de pâturage pour ses rares troupeaux d'ovins et de bovins et, tout comme l'est du Groenland, puisse anticiper sa complète désertification, que la Norvège eut autrefois un climat plus doux qu'aujourd'hui, qu'en Allemagne du Nord la vigne ne croisse plus comme jadis jusqu'à 52° Lat. N., qu'en maints endroits il ne reste plus de viticulture que le nom de « Vigne », que même en Allemagne méridionale la vendange doive être repoussée au mois d'octobre alors qu'au 14^e siècle elle commençait déjà au mois d'août, que le nombre de jours maussades et pluvieux augmente et les hivers deviennent toujours plus longs sinon plus froids, qu'en Suisse les glaciers s'étendent toujours plus bas dans les vallées et chassent les bergers de leurs pâturages et dans les Alpes salzbourgeoises beaucoup de mines d'ancienne extraction d'or locale sont aujourd'hui enfouies sous la neige éternelle au Brennkogl, au Rathhausberg, à Rassfeld, et à Fusch et ont dû être abandonnées, constitue en effet autant de signes inquiétants. Sur le Brennkogl, trois loges de mineurs qui avaient été enfouies sous les neiges en l'an 1777 et complètement recouvertes par les glaces par la suite ne sont réapparues qu'à l'été 1857 avec les squelettes de tous leurs mineurs.

Il est avéré que les glaciers de la Suisse ont eu une ampleur considérablement plus importante dans la préhistoire qu'aujourd'hui, il a dû même y avoir un temps où l'Allemagne aussi était un unique immense champ de neige ; c'est précisément pourquoi un tel état de choses peut à nouveau se produire ultérieurement, il est ainsi possible qu'une grosse partie de l'Europe se couvre à nouveau de glace comme elle l'était autrefois, possible que la Terre se dirige de cette manière vers une autre époque de l'histoire de sa formation, on peut d'ailleurs attribuer ces modifications à des causes telluriques ou cosmiques, à une fluctuation de la température atmosphérique, voire à une autre position de la Terre elle-même, ce que nous laisserons aux naturalistes le soin de décider.

Dans les lignes ci-dessus, Fallou s'inquiète vivement d'une continuation du refroidissement climatique général que l'Europe a effectivement connu jusqu'au XVIII^e siècle au cours du « petit âge glaciaire »¹⁴. Il est loin de pouvoir s'imaginer qu'à

peine 40 ans plus tard un réchauffement climatique va débiter qui, lui, n'a plus rien de naturel !

De même les craintes quant aux erreurs de l'économie industrielle ou rationnelle actuelle et à leurs atteintes perturbantes sur le développement naturel de la vie animale et végétale, si elles étaient fondées, ne porteraient ni sur la substance du sol ni sur le fait que celui-ci pourrait être ruiné pour l'éternité par des pratiques irrationnelles, mais bien sur des détériorations seulement temporaires. Certains secteurs pourraient, certes, être ruinés et dévastés de cette façon, comme il se produit lors d'événements naturels, mais la fonction générale du sol n'en sera pas pour autant abolie. L'agriculture est certes pratiquée aujourd'hui comme une usine et avec une spéculation si raffinée et industrielle comme elle n'a jamais été opérée, le sol est exploité autant que possible et cependant pour le moment aucun mouvement régressif des rendements n'a été à observer, au contraire, la production est toujours en croissance, elle ne peut non plus diminuer aussi longtemps que le sol augmente en extension et importance et est encore maintenu en bon état cultivable.

En conclusion à sa présentation générale, Fallou se montre résolument optimiste quant à l'augmentation à venir de la productivité agricole. S'il s'avère étrangement clairvoyant à l'égard des risques environnementaux que pourraient engendrer « des pratiques irrationnelles » sur les règnes animal et végétal, il considère en revanche que celles-ci ne sauraient affecter le sol, ou au pire, que de manière temporaire, car il a la conviction que la « production [sera] toujours en croissance ». Il ne pouvait guère soupçonner que l'accumulation de ces dernières allait entraîner des problèmes majeurs à commencer par une dégradation générale de la qualité des terres cultivées.

¹⁴ À propos de l'origine supposée naturelle du « petit âge glaciaire », il est intéressant de rappeler ici l'hypothèse émise par Ruddiman (2003) sur une origine anthropique du refroidissement observé. Il serait dû à une diminution drastique des populations mondiales suite aux grandes pandémies en cours depuis le XIII^e siècle, ce qui aurait conduit à l'abandon massif de

terres cultivées et donc à une reforestation globale s'accompagnant d'une séquestration massive du carbone atmosphérique dans le système sol-plante, d'où, par conséquent, un refroidissement du climat. L'hypothèse de Ruddiman inverse complètement le raisonnement sur les conséquences des interactions pandémies-climat : au lieu qu'un refroidissement « naturel » induise les pandémies, ce sont les pandémies qui provoqueraient un refroidissement.

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 : 255-262.
- Aeschlimann J.P., Feller C., Frossard E., 2018 - Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie ». VI. Chapitre 4 « Espace du sol ». Étude et Gestion des Sols, 25 : 43-58.
- Aeschlimann J.P., Feller C., Frossard E., 2020 - Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie ». IX. Chapitre 7 « Classification des sols ». Étude et Gestion des Sols, 27 : 91-111.
- Fallou F.A., 1862 - Pedologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde. Schönfeld, Dresden, 487 p.
- 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 : 131-137.
- Feller C., Aeschlimann J.P., Frossard E., 2015 - Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie ». V. Chapitre 3 « Nature du sol ». Comparaison avec Gasparin. Étude et Gestion des Sols, 22 : 59-75.
- Feller C., Aeschlimann J.P., Frossard E., 2019 - Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie ». VII. Chapitre 5 « Stratification du sol ». Étude et Gestion des Sols, 25 : 9-19.
- Frossard E., Aeschlimann J.P., Lutz V., Feller C., 2009 - Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie ». 2. L'Introduction de l'ouvrage. Étude et Gestion des Sols, 15 : 255-267.
- 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 : 109-123.
- Frossard E., Aeschlimann J.P., Feller C., 2019 - Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa « Pedologie ». VIII. Chapitre 6 « Diversité du sol ». Étude et Gestion des Sols, 26 : 21-29.
- Gasparin, comte de, 1843 - Cours d'agriculture. Tome 1. La maison rustique, Paris, 732 p.
- Liebig J., 1840 - Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. Vieweg, Braunschweig.
- Liebig J., 1841 - Chimie organique appliquée à la Physiologie végétale et à l'Agriculture. Fortin Masson, Paris, 437 p.
- Ploeg R.R. van der, Böhm W., Kirkham M.B., 1999 - On the origin of the theory of mineral nutrition of plants and the law of the minimum. Soil Sci. Soc. Am. J., 63: 1055-1062.
- Ruddiman W.F., 2003 - The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. Climatic Change 61: 261-293.
- Sprengel C., 1826 - Ueber Pflanzenhumus, Humussäure und humussäure Salze. Archiv für die Gesamte Naturlehre, 8, 145-220. (Cf. Ploeg *et al.*, 1999).

