

Quand l'humus est à l'origine de la pédologie

1. Les travaux du forestier danois P.E. Müller(1840- 1926)

C. Feller⁽¹⁾, E. Blanchart⁽¹⁾, B. Jabiol⁽²⁾ et M. H. Greve⁽³⁾

- (1) IRD, BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar
 (2) UMR ENGREF-INRA « Ressources Forêt-Bois », Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, 14 rue Girardet, CS 4216, 54042 Nancy Cedex.
 (3) Danish Institute of Agricultural Sciences, Departments of Agroecology and Crop Physiology and Soil Science, Research Centre Foulum, P.O. Box 50, 8830 Tjele, Denmark.

RÉSUMÉ

Lorsqu'on pense à la fondation de la pédologie, on cite systématiquement V. Dokuchaev (1883) pour son ouvrage sur le Tchernozem. Curieusement, l'ouvrage du forestier danois P.E. Müller « Les formes naturelles de l'humus » est peu connu alors qu'il a été traduit en français en 1889. Cet ouvrage montre que, dès 1879, Müller avait une approche totalement pédogénétique de la formation des sols et des relations sol-végétation.

Les observations de terrain et la réflexion de Müller concernent essentiellement les sols sous végétations naturelles du Danemark. C'est pratiquement un ouvrage sur les grands processus tels que la brunification, le lessivage et la podzolisation, avec une approche dynamique (passage d'une forme à une autre – *figure 14* et tentative de datation à l'aide de sites archéologiques). Toute la démarche est basée sur la nature des humus avec un accent particulier sur leur morphologie, les activités biologiques (faune et champignons) qui les caractérisent, le tout complété par des analyses chimiques (quand nécessaire). Müller nous présente un très grand nombre de profil pédologiques, l'ensemble étant résumé dans l'extraordinaire « *Tableau* » III. Un ouvrage presque d'actualité ! Nous défendons l'idée que Müller est le plus important des précurseurs et qu'il devrait même être considéré comme un des co-fondateurs de la pédologie.

Cet article propose de longs extraits de l'ouvrage, suivis de l'histoire des humus jusqu'à nos jours, ainsi qu'une biographie personnelle et scientifique de Müller et les reproductions d'un tableau et d'un dessin le représentant.

Mots clés

Naissance de la pédologie, Müller, biographie, forestier, formes humus, histoire, Danemark, portrait.

SUMMARY

HUMUS AND THE BIRTH OF PEDOLOGY. 1. The works of the Dutch forester P.E. Müller (1840-1926).

The origin of pedology is generally linked with V. Dokuchaev and with his famous work on Chernozem (1883). Nevertheless, the book of the Danish forester P.E. Müller, "Natural forms of humus" is not widely known though translated in French in 1889. This book demonstrates that, as early as 1879, Müller adopted a true pedological approach of soil formation and soil-plant relationships.

This paper is organized as follows :

- A short biography of P.E. Müller. This chapter shows that when young, Müller was at first a mediocre pupil, but became a brilliant student at university where he studied botany and zoology; which allows for understanding the importance he attached to soil fauna in his works. His father and one of his brothers were well-known university teachers, specialized in archaeology; P.E. Müller also became a forestry professor and a member of the Danish Science Academy (cf. Plates 1 and 2). The fact he was impregnated by archaeology may explain why he used archaeological sites ("tumuli") in order to date some pedological processes he observed elsewhere.

- The outline of his book. His book is divided into two parts (followed by an appendix) that correspond to two reports translated from Danish; the first one published in 1879, the other one in 1884, i.e., before and after the publication of Dokuchaev's book on Russian Chernozem (1883). The French version was edited in 1889 and the German version was earlier published in 1887. It is worth noting that according to Müller, the 1884 report was ready to be published in 1882 yet. The first book deals with humus forms encountered under beech forests and the second one with humus forms under oak forests and heath.

- Long extracts to illustrate Müller's approach and views. Müller's scientific approach is the same in both books. It consists, through very fine morphological observations, in relating a given vegetation type to a given soil type; which allows for distinguishing extreme natural soil-vegetation units, i.e., unit with a "Mull" humus type and that with a "Mor" humus type (both terms created by Müller). It also consists in studying all transition forms between these two main units, and then, in thinking about processes that can explain these differentiations. A particular importance is given to soil fauna and microflora (fungi here), and Müller clearly shows that earthworms are always associated to Mull and always absent from Mor. Laboratory analyses (by C.F.A. Tuxen) are only undergone to answer questions induced by field observations. Numerous soil profiles are provided, as well as details on decaying organic matters. This book is almost a treatise on main pedogenetic processes occurring in cold temperate areas such as brunification, leaching, and podzolization, with a classification of different humus types and a typology of different "alios" forms and hypotheses about their formation. Two drawings are particularly important: the first one showing (Figure 14, p. 159) the transition in a few meters of a copse of stunted oaks (with a brown or leached brown soil) to a heath (with a podzosol); the other one is an extraordinary colour plate (Table III, appendix) showing all soil profiles that can be found under natural vegetation in Denmark. This plate is organized in order to show the transition from a brown soil to a podzosol, by using the "a, b, c" horizon nomenclature. This book is almost an up-to-date one!

- Ulterior Müller's works. They are very briefly described.

- Conclusion. We defend the idea that Müller was much more than a simple precursor of pedology and that he should be considered as one of the co-founder of this discipline, just like Dokuchaev.

Key-words

Birth of pedology, Müller, biography, forester, humus forms, history, Denmark, portrait.

RESUMEN

CUANDO EL HUMUS SE ENCUENTRA EN EL ORIGEN DE LA PEDOLOGÍA.

1. los trabajos del silvicultor danés P.E. Muller (1840 – 1926)

Cuando se piensa a la fundación de la pedología, se cita sistemáticamente V. Dokuchaev (1883) por su obra sobre el Tchernozem. Curiosamente, la obra del silvicultor danés P.E. Muller "las formas naturales del humus" está poca conocida mientras fue traducida en francés en 1889. Este libro muestra que, desde 1879, Muller tenía una concepción totalmente pedo- genética de la formación de los suelos y de las relaciones suelo-vegetación.

Las observaciones de terreno y la reflexión de Muller conciernen esencialmente los suelos bajo vegetaciones naturales de Dinamarca. Está prácticamente una obra sobre los grandes procesos como la brunificación, el lavado y la podzolización, con un enfoque dinámico (pasaje de una forma a otra – fig 14 y tentativa de fechado con ayuda de sitios arqueológicos). Todo el enfoque se basó sobre la naturaleza de los humuses con un acento particular sobre su morfología, las actividades biológicas (fauna y hongos) que los caracterizan, el todo completado con análisis químicos (cuando está necesario). Muller nos presenta un muy grande numero de perfiles pedológicos, el conjunto siendo publicado en la extraordinaria "tabla" III. Una obra casi de actualidad! Defendemos la idea que Muller está el más importante de los precursores y que debía ser considerado como uno de los co-fundadores de la pedología.

Este artículo propone largos extractos de la obra, seguidos de la historia de los humuses hasta nuestros días, así que una biografía personal y científica de Muller y las reproducciones de una tabla y de un dibujo que le representa.

Palabras clave

Nacimiento de la pedología, Muller, biografía, silvicultor, formas de humus, historia, Dinamarca, retrato.

Lorsqu'on pense à la fondation de la pédologie, on cite systématiquement V. Dokuchaev (1883) pour son ouvrage sur le Tchernozem et un consensus international s'est établi sur son nom. Il ne s'agit pas, bien sûr, de remettre en cause ce choix ici, mais on est tout de même saisi à la lecture de l'ouvrage du forestier danois P.E. Müller « Les formes naturelles de l'humus » pour l'approche complètement pédologique et le discours pédogénétique qui le sous-tend. Cet ouvrage, dans sa traduction française par Henri Grandeau, a été publié en 1889 mais correspond en fait à deux mémoires écrits en danois par Müller en 1879 et 1884, c'est-à-dire à la fois avant et juste après l'édition du Tchernozem russe que, manifestement, Müller ne connaissait pas en 1884.

Si bien que Müller, à part chez les passionnés d'histoire de la pédologie, est généralement inconnu des pédologues, alors qu'il est lisible en français.

L'objectif de cet article est de faire resurgir cette pensée pédologique exceptionnelle, contemporaine de Dokuchaev.

Pour vous faire percevoir cette qualité, nous avons donné, dans cet article, de larges extraits de l'édition française du livre de Müller.

Ce travail sera organisé selon le plan suivant :

- brève biographie de P.E. Müller,
- le plan général de l'ouvrage,
- des extraits pour illustrer l'approche et le discours de P.E. Müller
- les travaux ultérieurs de Müller,
- conclusion

BRÈVE BIOGRAPHIE DE P.E. MÜLLER (1840-1926)

Les lignes qui suivent sont empruntées aux articles biographiques de Wesenberg-Lund (1927) et Engelstoft & Dahl (1939).

Peter Erasmus Müller est né le 25 Octobre 1840 dans la paroisse de « vor Frue » à Copenhague. Il est le descendant d'une longue série de personnalités et ses prénoms sont ceux de son grand père, l'évêque de Seeland : P.E.Müller (1776-1834). Son père, Carl Ludwig Müller (1809-1891) a reçu une formation de théologien mais a exercé comme archéologue et numismate. Il fut le directeur des collections de pièces et d'antiquités de Copenhague et l'un des plus importants spécialistes de la numismatique de l'Europe du XIX^e siècle. Il était célèbre pour sa « Numismatique d'Alexandre le Grand » et la « Numismatique de l'ancienne Afrique ». En reconnaissance, il reçut en 1856 la médaille du prix de numismatique de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres. La même année, il devint membre de l'Académie Royale Danoise des Sciences et des Lettres. C. L. Müller était un linguiste de talent, et parlait parfaitement les principales langues européennes ainsi que l'hébreu et l'arabe, une compétence dont il usa à travers ses voyages en Europe. La mère de P.E. Müller se nommait Eleonore

Vilhemine Frederikke Gregersine Levetzau et était d'origine noble. Le jeune frère de P.E. Müller, le Dr. Sophus Müller (1846-1934) fut aussi un fameux archéologue. Il fut diplômé en philologie de l'université de Copenhague (1871) où il fut professeur. Après sa thèse, son intérêt pour la préhistoire grandit rapidement et son premier travail sur ce sujet fut présenté 4 ans plus tard. En 1880, il présenta une thèse de doctorat sur les « Ornaments animaux dans les contrées nordiques ». En 1892, il devient l'un des deux directeurs du Museum National Danois, et, en 1898, comme son père et son frère, il devient membre de l'Académie Royale Danoise des Sciences et des Lettres.

Le jeune P.E. Müller n'a pas démarré scolairement de manière prometteuse, ses années à l'école primaire ne furent pas un succès. Comme il ne présentait pas de disposition pour les disciplines littéraires, on l'envoya étudier dans une école d'Agriculture Pratique dont il sortit en 1861, et deux années plus tard il finira son lycée. A cette période, il devint plus mature et l'on considéra qu'il pouvait commencer ses études à l'université de Copenhague. Peu après, en 1866, il reçut une médaille d'or pour un mémoire de zoologie et, en 1867 et 1868 il publia deux papiers très appréciés sur la faune avec l'embryologie et la biologie de la puce d'eau (Cladocera). Durant la période 1864-1866 et parallèlement à ses travaux zoologiques, il finit sa formation en foresterie à l'Université Royale Vétérinaire et Agricole. En 1866, il commence un long voyage à travers l'Europe, visitant l'Allemagne, la Suisse, la Belgique, la France et l'Italie. En France, il est reçu à l'École Forestière de Nancy et à la Sorbonne à Paris. Il séjourne plus longtemps à Naples en Italie, où il mènera l'essentiel de son travail de thèse de doctorat. Sans avoir complètement fini sa maîtrise, il défendra en, 1871, sa thèse de doctorat sur les « siphonophores » (ou daphnés ou lauréoles). Cette thèse, couronne une décennie remarquable de la vie de P.E. Müller.

C'est en 1874 que P.E. Müller se marie avec Sophie Thiele. Ils n'auront pas d'enfants.

Il était déjà passé de la zoologie à la foresterie, puisqu'en 1873, il est recruté comme professeur de foresterie à l'Université Royale Vétérinaire et Agricole de Copenhague, poste qu'il occupera jusqu'en 1882. Cette période, qui nous intéresse particulièrement, est la plus importante de sa production scientifique avec ses recherches sur les formes de l'humus des forêts et des landes à bruyères. Ce travail fut d'abord publié dans le premier journal danois sur les recherches forestières "Tidskrift for Skovbrug" dont Müller fut l'éditeur de 1875 à 1891 (12 volumes).

Müller était le seul professeur pour l'enseignement de la foresterie, et, débordé de travail, il décide de consacrer plus de temps à des observations de terrain : en 1882, il quitte l'université et devient le forestier responsable pour le Zealand Nord. Il continuera à travailler sur les forêts jusqu'à 1920. Durant cette période, P.E. Müller entre dans de nombreux conseils ou commissions et préside plusieurs d'entre eux. En 1884, il devient membre de l'Académie Royale des Sciences et des Lettres, et en 1885 il devint Chambellan. En 1906, il fut Président du Congrès International de

Recherche Forestière à Württemberg. Enfin, en 1911 Müller sera décoré de la Grande Croix du Danemark.

Pendant toute sa carrière, il a voyagé en Europe et était très informé sur la foresterie européenne. Ainsi, dans le numéro de février 1879 de la Revue Française des Eaux et Forêts, un article de 20 pages de P.E. Müller présente « Les Forêts en Danemark ».

P.E. Müller fut à la fois un grand scientifique, un professeur remarquable et un forestier exceptionnel. Et peut-être, le premier Pédologue au sens totalement actuel du terme.

Il mourut le 5 octobre 1926.

Ces éléments de biographie éclairent pour nous certains points :

- l'importance que Müller accordera à la faune dans les sols suite à son expérience en zoologie,

- son intérêt pour les sites archéologiques, par tradition familiale (son père et son frère), en vue de dater les horizons d'humus (cf. ci-dessous),

- le décalage de 5 ans entre la publication des deux mémoires sur les formes de l'humus (1879 et 1884) par suite de sa forte activité d'enseignement entre 1873 et 1882 ; c'est donc surtout à partir de 1882 qu'il pourra se consacrer à la rédaction du 2^e mémoire,

- enfin, le fait qu'il fut traduit en français par Louis Grandeau, fils de Henri Grandeau, le fondateur de l'École Forestière de Nancy (Feller & Boulaine, 1985), que P.E. Müller a probablement rencontré à Nancy même.

PLAN GÉNÉRAL DE L'OUVRAGE EN FRANÇAIS (1889)

Noter, par rapport aux extraits cités ci-dessous, que le deuxième mémoire (publié en 1884) ne commence qu'à la page 134 et que tout ce qui précède était donc déjà publié en 1879.

INTRODUCTION

9

I. - Les formes d'humus dans les sols siliceux et argileux des forêts de hêtres. 1878

12

OBSERVATIONS :

Terreau de hêtres - Plantes caractéristiques - Aspect du sol - Analyse microscopique et mécanique - Analyse chimique - Etat du hêtre sur le terreau - Autres organismes

14

Tourbe des hêtres - Plantes caractéristiques - Aspect du sol - Analyse microscopique et mécanique - Analyse chimique - Etat du hêtre sur le terreau - Autres organismes

28

Formations de passage - Tourbe-terreau - Tourbe sans masse de racines - Tourbe mousseuse - Dépôts humiques mélangés

45

Développement et existence

52

La transformation du terreau et de la tourbe - Passage du terreau à la tourbe - Les métamorphoses de la tourbe

54

Comparaison entre la tourbe de hêtres et la tourbe de bruyères

60

DISCUSSION :

Des différentes formes de l'humus - La division mécanique des restes organiques - La forme de l'humus

64

Sur les différences que présente la couche supérieure du sol - La couche supérieure du sol sous le terreau -

La couche supérieure du sol sous la tourbe

76

L'influence de la vie organique sur la nature du sol dans les forêts de hêtres

89

De l'importance de la forme de l'humus au point de vue de la géographie végétale

92

Sur la terre arable et la terre de forêt

98

APPLICATION :

Sur l'examen des sols

104

Sur les soins à donner au sol dans la forêt

106

Sur le choix de l'espèce d'arbre

109

Quelques recherches chimiques sur le sol des forêts de hêtres, par C.F.A. TUXEN

111

<i>Sur les éléments humiques - De la quantité d'acide humique contenue dans les différentes couches de terre - Le lien dans les couches de terre fermes - La méthode de classification du Dr Schütze</i>	112
<i>Les parties constitutives des différentes sortes de sols et les éléments solubles dans l'acide chlorhydrique - Sols de terreau dans les forêts de hêtres - Sols recouverts de tourbe dans les forêts de hêtres - Sols recouverts de tourbe, portant une végétation de bruyères</i>	120

II. - Les formes de l'humus dans les forêts de chênes et les landes. 1884 134

OBSERVATIONS :

<i>La forêt de chênes - Les forêts de chênes sur sol argileux - La forêt de chênes sur sable de lande maigre du Jütland - La forêt de chênes en décadence</i>	135
<i>Le sol des forêts de chênes - Le terreau de la forêt de chênes sur sol argileux - Le terreau de la forêt de chênes sur sol sableux - Formation de tourbe dans les forêts de chênes</i>	145
<i>Le sol des landes - Le sol des landes recouvert de tourbe - Le sol des landes en forme de terreau - Le passage du sol de terreau au sol de tourbe dans les landes - Sol de landes recouvert de tourbe, sans sable plombifère, ni formation d'Ortstein</i>	153
<i>Observations sur les sols sous d'autres formes de végétation - Le sol dans les forêts de hêtres - La forme d'humus dans les forêts d'épicéas - Tourbe et terreau dans les prairies salées - Le sous-sol sous les marais tourbeux - Sable plombifère et formations d'Ortstein dans les forêts transformées en marais, avec sol sableux.</i>	167
<i>L'influence de la vie organique sur le sol - Les plantes - Les animaux.</i>	176
<i>Transformations physiques et chimiques du sol - Consistance du sol - Conditions d'humidité du sol - Limonage de la croûte du sol - Lavage de la croûte du sol - Absorption</i>	193
<i>Différences dans le gisement et la nature de l'Ortstein</i>	225
<i>Ortstein comme formation de concrétion et fer limoneux</i>	237
<i>Rapidité de la formation de landes</i>	244
<i>Coup d'œil rétrospectif - Variétés des couches de terre humiques - Influence de la forme d'humus sur le sol - Action de retour de la forme d'humus sur la végétation - Formation de lande.</i>	252

DISCUSSION :

<i>Formation de lande - Caractère du sol de lande - Formation du sol de lande - Cause de la formation des landes</i>	269
<i>Importance des vers de terre pour la formation de l'humus</i>	296

APPLICATION :

<i>Travail du sol</i>	312
<i>Création des peuplements</i>	320
<i>Quelques recherches chimiques et physiques sur le sol des forêts et des landes, par C.F.A. TUXEN</i>	323
<i>Sol forestier en forme de terreau et argileux - Sol forestier argileux recouvert de tourbe - Sol argileux recouvert de tourbe - Sol forestier sableux recouvert de tourbe - Sol de landes recouvert de tourbe -</i>	
<i>Recherches comparatives sur le sol dans les broussailles de chênes et les landes, près Viborg</i>	325

III. - APPENDICE. 1887 326

<i>Eclaircissement des tableaux</i>	346
-------------------------------------	-----

EXTRAITS COMMENTÉS

Remarques concernant les extraits cités ici :

- nous avons supprimé dans ce texte tout ce qui renvoyait à des notes de bas de page du texte original,

- pour le renvoi aux tableaux et figures, nous avons gardé la numérotation originale de l'ouvrage en français; il ne faut donc pas s'étonner qu'une chronologie stricte dans la numérotation n'apparaisse pas dans cet article. Il se peut aussi que les extraits cités de Müller renvoient à des tableaux ou figures que nous n'avons pas rapportés ici pour éviter de présenter trop de figures.

Müller nous explique ses principes méthodologiques

L'auteur commence par un avertissement sur la dénomination des formes d'humus - Mor et Muld en danois - traduit en allemand par « Torf et Mull » et en français par « Mull et Terreau » (p. 7). Dans nos propres commentaires, nous garderons les deux termes consacrés maintenant par l'histoire de Mor et Mull.

A noter aussi que l'horizon cendré des podzols a été traduit en français par « sable plombifère » alors qu'en allemand le terme utilisé était « bleichsand » qui, en fait, signifie « sable blanchi ». Il eût fallu que ce soit « Bleisand » pour effectivement traduire par « sable de plomb », une confusion entre « Blei » et « Bleich ». Enfin, pour l'horizon d'accumulation de fer sous forme d'Alios de podzol (B_{Fe}), la dénomination géologique à l'époque était Ortstein en allemand. Ce terme a été conservé aussi dans la traduction française originale. Aussi bien pour Tourbe, Terreau, Sable plombifère et Ortstein utilisés dans les extraits, le lecteur convertira lui-même en nos appellations scientifiques actuelles.

L'auteur explique ensuite comment il a été amené à commencer cette étude à partir de l'observation de relations sol-végétation. Celles-ci vont relativement à l'encontre des idées de l'époque :

(Page 10)... Il paraît difficile de décider quelle formation géologique peut être considérée comme la patrie d'un arbre, en tant qu'il s'agit de nos essences ordinaires, de dire sur quel sol il se développe naturellement en toute plénitude et avec toute sa vigueur. Car, sur presque tous les sols, on peut observer une croissance parfaite aussi bien qu'un développement mauvais et maladif de la même essence... (il y a des cas) où la même essence se développe d'une façon absolument différente sur la même formation géognostique... Une étude attentive de ces conditions démontrera pourtant qu'il existe une similitude évidente et extraordinaire de l'état physique du sol sur tous les emplacements qui portent une végétation luxuriante. De même pour les sols sur lesquels se trouvent de mauvais peuplements, il existe une concordance évidente, par rapport aux propriétés physiologiques, entre les sols de nature la plus différente... Ces observations faites à l'origine, au cours de voyages entrepris par l'auteur dans les forêts de l'Europe centrale et, plus tard, dans les forêts danoises, ont attiré son attention sur l'état physique du sol, comme facteur essentiel de la fertilité du sol forestier. Il semble que ce point mérité d'autant plus d'être étudié que, jusqu'à présent, peu d'attention a été

accordée à cette question par les auteurs qui ont contribué à la théorie de la sylviculture.

La méthode utilisée pour mener cette recherche est alors détaillée. Notez (i) l'importance attribuée à l'approche naturaliste, à l'observation, au fait de ne mettre en œuvre des analyses chimiques qu'après une étude « physique » du sol impliquant une description détaillée « anatomique » du sol en place, (ii) le fait que, après observation, le sol apparaît comme un tout organisé. Enfin, on ne peut que sourire lorsque Müller écrit que cette étude n'est pas « un travail scientifique mais doit être envisagée... comme une étude pratique... de vulgarisation » alors que c'est cette étude même qui, pratiquement fonde une nouvelle science, la Pédologie ! Devant la nouveauté de sa démarche, Müller, par modestie, a-t-il eu peur de subir les critiques scientifiques de savants reconnus ? (Pages 11-12). Pour l'étude des propriétés physiques du sol forestier, l'auteur a jugé nécessaire d'employer d'autres moyens que ceux dont on se sert ordinairement pour les recherches sur le sol, c'est-à-dire les méthodes d'analyse chimique et les expériences physiques. Le sol forestier a été préparé de la même façon que pour des recherches sur les conditions de structure d'un organisme et on s'est servi pour cela des mêmes moyens de dissection et des procédés microscopiques. Les parties séparées du sol ont été examinées en place, dans leurs circonstances de gisement naturelles et l'analyse chimique n'a été appelée à l'aide que pour expliquer, quand c'était possible, les conditions pour lesquelles l'œil ne pouvait donner aucun éclaircissement.

On n'aurait sans doute pas pu employer avec succès un pareil procédé pour les études sur la terre arable, où le défrichement et le labourage, l'essartage et le roulage, la fumure et le marnage, etc., peuvent avoir détruit de diverses façons la structure primitive du sol. En forêt, au contraire, où le sol n'a jamais été soumis à l'action de facteurs autres que ceux que la nature elle-même met en action, on est en droit d'espérer, si le matériel d'études a été choisi avec soin, de pouvoir, par les procédés indiqués plus haut, jeter un coup d'œil sur la connexion organique des phénomènes. Au premier abord, il peut sembler déraisonnable de vouloir étudier, comme un tout organisé et homogène, un mélange aussi complexe que celui des sols d'alluvion. Combien de forces multiples et variées ne sont-elles pas entrées en mouvement, pour transformer la matière qui, déjà à son origine, était formée d'un agrégat varié ! On pourrait croire que la puissante influence de la végétation, le travail incessant des organismes animaux, l'œuvre ininterrompue de métamorphose des phénomènes physiques et chimiques, tout cela réuni devait donner naissance à un produit si varié qu'il ne pouvait pas être question de trouver là l'image d'un champ ordonné avec des caractères bien définis. Mais l'étude montre que du conflit des actions multiples ne sont pas sortis des états chaotiques, mais des formes déterminées, si bien que l'on arrive à distinguer des types variés du sol forestier qui n'a subi aucun changement, considéré comme un ensemble organisé. Comme partout, dans la nature, les types n'ont aucune délimitation bien tracée, ils passent de l'un à l'autre, mais ils peuvent pourtant être considérés et caractérisés par des traits essentiels. La série des présentes études n'est pas un travail scientifique, dans le sens étroit du mot, mais doit être avant tout envisagée comme une

étude pratique présentée sous une forme populaire de vulgarisation avec l'assistance de la science. Elle n'aurait pu être conduite d'après le plan suivant lequel l'auteur voulait poursuivre ses recherches, sans l'excellent concours que le professeur Tuxen lui a prêté par ses analyses habiles et exécutées avec le plus grand soin.

De la description et propriétés des Sols Bruns et Podzols sous hêtre

(« Sur les formes d'humus des forêts de hêtres sur le sable et sur l'argile (1878) »)

Cette partie débute par la nécessité du choix de situations contrastées et d'une nomenclature et classification.

(pages 12-13). *Lorsqu'on étudie les couches supérieures du sol forestier, on est conduit à les séparer et à les grouper d'après les phénomènes analogues ou très différents qui les caractérisent essentiellement. Comme dans toute classification, il faut commencer à chercher des types bien nets qui représentent un petit nombre de formes dominantes à caractères bien déterminés.*

Parmi les formes variées qu'on rencontre dans le sol des forêts de hêtres, j'en ai étudié particulièrement deux dont le caractère, l'origine et la signification pratique, si différents les uns des autres, établissent entre elles une démarcation bien tranchée. Les distinctions relatives aux couches superficielles des forêts de hêtres me semblent devoir être facilement groupées autour de ces deux types.

Je commencerai par étudier à fond ces deux formes d'humus, j'étendrai ensuite cette étude, à quelques-unes des formes qui en sont voisines et je terminerai par des vues théoriques et pratiques sur les faits qui découlent de ces observations.

Une classification exige une nomenclature. Le naturaliste suédois de Post a déjà proposé différentes désignations pour les dépôts à restes organiques qui recouvrent le sol situé au-dessous des eaux douces : mais on désigne jusqu'ici uniformément, sous le nom d'humus, les accumulations qui existent à la surface des terrains secs. Mais, lorsqu'on veut distinguer essentiellement quelques espèces d'humus, ce qui paraît désirable, il est bon d'adopter des dénominations simples, abrégées, et je propose de donner aux deux types principaux des dépôts humiques des forêts de hêtres, les noms de Mull (terreau) et de Torf (tourbe).

On ne peut naturellement donner une explication précise de ces dénominations avant d'avoir établi par une étude poussée assez loin la caractéristique (diagnose) de chacun de ces dépôts.

A titre de renseignement général, je ferai tout de suite observer que j'ai nommé « Mull » (terreau) la forme qui se rapproche le plus des variétés de mélanges humiques qu'on rencontre dans les sols arables et dans les jardins, tandis que je désigne par le mot « tourbe » la forme, qu'on ne saurait confondre avec la première, qui est due au travail longtemps prolongé du sol sans aucune culture. Le terme tourbe ne désigne pas seulement les amas de restes végétaux accumulés dans les tourbières et dans les lieux humides, mais aussi la couche supérieure qu'on rencontre dans les terrains secs, couche humique, tenace, sur laquelle on rencontre certaines plantes spéciales (bruyères, herbes, etc.). J'ai étendu à ces terres la dénomination de tourbe. L'expression allemande koh-

liger Humus (humus charbonneux) serait, d'après l'emploi qu'en font la plupart des auteurs, à peu près synonyme du mot tourbe, tandis que le nom milder Humus (humus doux) correspondrait à peu près au terme Mull (en danois muld).

Puis vient une description très précise, stationnelle, du Terreau de hêtre (Ruchenmull), avec tout d'abord celle de la strate végétale (Plantes caractéristiques), puis une description incroyablement détaillée des horizons organiques et organo-minéraux (aspect du sol), suivie par l'état du hêtre, les caractéristiques analytiques du sol, et, enfin, les Autres organismes, microflore et faune du sol. Nous donnons volontairement ci-dessous une description quasi-exhaustive de ces premières pages de l'ouvrage pour en montrer la richesse de l'observation.

(pages 14-17). **Plantes caractéristiques.** - *On sait que la flore forestière est composée de plantes phanérogames assez différentes et de caractères divers suivant les conditions où se trouve la forêt. D'ordinaire la nature de la flore est en relation étroite avec l'état plus ou moins ombreux et avec la teneur en principes nutritifs des débris qui constituent la couverture. Ces circonstances jouent sans doute un rôle essentiel dans la composition de la végétation qui doit vivre sur le couvert, mais il semble être demeuré inaperçu que le mode et la nature de la décomposition des restes organiques sur le sol forestier impriment leur cachet à la végétation du sol, favorisent le développement de certaines espèces, entravant celui de certaines autres.*

L'aspérule odorante (Asperula odorata) est tout particulièrement caractéristique pour le terreau de hêtre ; à côté d'elle on rencontre une série de plantes bien connues parmi lesquelles je citerai les Mercurialis perennis, Milium effusum, Melica uniflora, Stellaria memorum, fréquemment aussi l'Oxalis acetosella, l'anémone des bois (Anemone nemorosa), etc. Sur le terreau bien caractérisé, ou bien il ne vient jamais de mousses, ou l'on n'y rencontre que quelques petites touffes isolées de Polytrichum formosum (Udw.). Cette végétation d'aspérule, si l'on pouvait lui donner ce nom, se développe avec toute son intensité dans les forêts de hêtres fertiles ; elle subit, à la vérité, d'importantes modifications dans sa composition et dans sa manière d'être, dans différentes places de la forêt, mais elle constitue malgré cela un bon caractère distinctif du terreau par opposition à la tourbe.

Aspect du sol

Le sol, dans une forêt reposant sur le terreau, est recouvert d'une couche plus ou moins épaisse de débris des arbres, feuilles, branchettes, écailles de bourgeons, inflorescences, enveloppes de fruits, etc. Ces débris gisent à l'état meuble les uns sur les autres. Ça et là, on rencontre bien deux ou trois feuilles réunies par un mycélium blanc épais, mais prise dans son ensemble, la masse des détritiques est formée de fragments isolés éparpillés sur le sol.

Lorsqu'on écarte la couverture, la surface brun-noirâtre ou brun-grisâtre du sol a un aspect graveleux ou granuleux. La ligne de démarcation entre la couverture et le sol, entre les détritiques indécouposés et les restes organiques tout à fait désagrégés et pourris, est d'ordinaire tout à fait tranchée : il en résulte que, lorsqu'on écarte à la main la couverture, on a sous

les yeux le terreau pur, mêlé seulement à quelques branchettes ou enveloppes de fruits tombés des hêtres.

Vient-on à creuser cette terre, elle se montre aussi complètement meuble que la terre de champ ou de jardin la mieux travaillée. On constate déjà cette propriété rien qu'en marchant dans la forêt; le pied s'enfoncé à chaque pas, comme dans un sol labouré. La couche superficielle, sur une épaisseur d'environ 3 pouces (0,078 m), est plus foncée que le dessous, souvent tout à fait brun-noir, brun-gris lorsqu'elle est desséchée, et possédant l'aspect granuleux et sablonneux de la surface.

Cette couche passe progressivement à la forme qui est propre au sous-sol, la profondeur de la bande superficielle variant de 3/4 de pied à 2 pieds (environ à 0,230 m à 0,628 m), quelquefois s'étendant jusqu'à 3 à 4 pieds (0,941 m à 1,569 m) et plus au-dessous de la surface.

La terre conserve, à ces profondeurs variables, sa porosité et son ameublissement, mais sa couleur peut varier, bien que, dans un même emplacement, elle demeure complètement homogène dans toute la masse. Parfois la couleur de cette couche est brun-gris foncé comme celle de la bonne terre de jardin bien travaillée le sol semble alors constitué par des couches de terreau d'une puissance de 4 à 5 pieds (1,255 m à 1,569 m), quelquefois la teinte est plus claire et rappelle la couleur ocreuse des argiles jaunes du Danemark. Aussi loin que se sont étendues jusqu'ici mes observations, elles me conduisent à admettre que la couleur dans les formations de ce genre n'est pas une condition essentielle du sol, bien que les praticiens pensent tout autrement lorsqu'ils réservent le nom de terreau pour les sols foncés et considèrent comme sous-sol la terre moins colorée.

Comme l'analyse chimique montre qu'il y a autant de matière organique dans la couche profonde du terreau que dans la couche superficielle et que toutes deux semblent par toutes leurs propriétés appartenir à des formations analogues [voir Profils I à III sur la planche 1], je caractériserai cette couche, sans tenir compte de la coloration, comme couche superficielle du sous-sol (Obergrund) et je réserverai l'expression terreau (Mull) à la couche supérieure de couleur foncée et nettement graveleuse.

Partout, même dans les sols un tant soit peu ou assez argileux, j'ai toujours observé des limites très nettement caractérisées entre la couche superficielle du sous-sol et le sous-sol proprement dit. Lorsqu'on creuse, on constate le passage d'une couche complètement poreuse et meuble à une couche plus ferme; cette fermeté est parfois si grande, dans la partie supérieure du sous-sol, qu'on a de la peine à le fouiller et que de forts coups de bêche ne pénètrent qu'à un à deux pouces (0,0261 m à 0,0523 m) dans la terre.

La différence des deux couches est également reconnaissable à l'œil; la partie la plus superficielle du sous-sol, en dehors de la grande ténacité [on dirait compacité de nos jours], est reconnaissable à sa coloration fréquemment blanchâtre comparativement à celle des couches sus et sous-jacentes [Profils du tableau I et figure 9]. Lorsque cette couche blanchâtre est assez puissante, on y remarque fréquemment des taches et des veines colorées, comme il s'en présente dans les parties plus profondes du sous-sol, par de l'oxyde de fer hydraté. La limite entre le sol et cette couche solide blanchâtre, qui a d'ordinaire une puissance de 1/2 à 2 pieds (0,157 m à 0,628 m), est souvent assez nette, mais elle forme rarement sur de longs espaces une ligne horizontale. Le sol plonge fré-

quemment par languettes dans le sous-sol ou bien la limite de séparation est ondulée et irrégulière. J'ai rencontré cette couche blanche et solide dans les différents points des forêts de la mer du Nord, dans lesquels j'ai creusé les sols pas tout à fait exempts d'argile, jusqu'à la profondeur à laquelle j'atteignais la limite de la couche poreuse (Store Hareskov, Gelskov, Rungstedhegn, Gribskov, forêts domaniales de l'Odsharde); j'en conclus que cette formation est généralement répandue dans les forêts de hêtres reposant sur les sols à Mull (terreau)...

Analyse microscopique et mécanique

Les éléments graveleux et grumeleux de la couche propre de terreau, examinés au microscope, se montrent partout constitués par un mélange intime de matières organiques et d'éléments minéraux. A la surface apparaissent des grumeaux d'une masse de plantes associées à quelques restes d'animaux, à divers états de division, mais dont la structure est encore nettement reconnaissable. Beaucoup plus bas, la forme des fragments est plus incertaine, les restes organisés sont dissous en quelque sorte dans une masse qui n'offre plus que de rares traces d'organisation et qui ont l'aspect de détritiques organiques indéterminables. Les grumeaux isolés sont toujours poreux et se laissent écraser facilement par une légère pression de la lame de verre qui les recouvre...

Ces cailloux sont cependant fréquemment si bien entourés de particules meubles qu'ils sont invisibles quand on creuse et se dérobent si facilement qu'ils n'offrent aucune résistance à la bêche. Mais à un autre point de vue il existe une différence notable entre les éléments minéraux des couches superficielles et des couches profondes du sous-sol, la quantité d'argile augmentant avec l'approfondissement [tableau I], de telle façon que, dans les points que nous avons examinés, le taux d'argile était moitié plus élevé à cinq pieds (1,569 m) de profondeur qu'à la surface. On peut considérer comme un caractère constant de la superficie du sous-sol sa pauvreté en argile par rapport à la couche profonde, et des plongements du terrain peuvent seuls apporter une exception à cette règle. [Comparez Prof. VI.]

(Page 19). Végétation du hêtre sur le terreau.

Le hêtre en station sur le terreau. - L'accroissement du bois est intense, le développement en hauteur considérable. La végétation foliacée est luxuriante; l'écorce lisse et claire. Un grand nombre de mesures de l'accroissement seraient nécessaires pour permettre d'exprimer en nombres quelque peu rigoureux l'influence du terreau sur l'accroissement du bois, et ces mesures n'ont pas été faites. Mais rien qu'à l'aspect, tout forestier un peu expérimenté le constatera, s'il a dirigé son attention sur la constitution du terreau partout où, sur ces formations humiques, la croissance de la forêt est bonne.

(Pages 20 à 27). **Autres organismes.** - Le terreau de hêtre et le sol qui y confine servent, comme on le comprend aisément, d'habitation à une armée de petits organismes visibles ou invisibles à l'œil nu, appartenant aussi bien au règne végétal qu'au règne animal. Pas un de ces êtres innombrables n'est sans importance pour la formation du terreau. L'étude de ce petit monde et de leurs relations sociales si variées exigerait beaucoup plus de temps et de recherches que l'auteur n'a pu leur en

consacrer. Les organismes sur lesquels on appellera ici l'attention du lecteur sont ceux qui m'ont paru jouer le rôle le plus actif et qui, à mon avis, ont la signification la plus importante pour la distinction du terreau (Mull) d'avec la tourbe (Torf).

Les feuilles isolées et le terreau qui les recouvre sont divisés et détruits par une série de plantes et d'animaux qui seront à leur tour anéantis par l'action d'autres organismes.

Parmi les plantes viennent, en première ligne, les champignons. Rostrup m'a nommé 47 espèces parmi les grandes formes de champignons visibles à l'œil qu'on rencontre le plus fréquemment dans les forêts de hêtres...

Dans ce monde végétal invisible, mais si riche, se meut une quantité d'organismes animaux non moins considérable, parmi lesquels je m'occuperai spécialement des vers de terre, parce que, sans aucun doute, ils constituent l'élément le plus important du monde animal du terreau...

La nature de ses excréments (du ver de terre) prouve qu'il ne dévore pas seulement de la terre, mais qu'il mange aussi tous les restes végétaux morts, qui gisent sur le sol des forêts; par suite, il doit donc contribuer à un haut degré par la décomposition du sol à la formation du terreau, en mélangeant celui-ci avec la terre et en ramenant à la superficie les couches plus profondes. La grande quantité de galeries qu'il trace contribue aussi à l'approfondissement du sol. Il opère dans une certaine proportion un bon labourage du sous-sol, qui doit favoriser d'une façon extraordinaire la croissance des arbres, surtout en hauteur...

Cette masse de vers de terre, dont plusieurs millions vivent dans un hectare de terreau de hêtre type, doit produire un travail de la plus haute importance pour l'état du sol.

À cela s'ajoute encore l'activité de leur ennemie, la taupe, qui vit exclusivement de vers de terre et le terreau se reconnaît souvent rien que par les taupinières qu'il porte.

Outre ces vers de terre, il y a, bien entendu, ici une grande quantité d'insectes plantivores et de leurs larves, à côté d'animaux qui les recherchent: de plus, des scolopendres, des hysopes indigènes et d'autres; mais comme le ver de terre, seul, se rencontre sur le terreau, tandis que la tourbe sert d'habitation aussi bien à des représentants d'insectes qu'à d'autres crustacés du pays et d'autres groupes, de tous les organismes animaux, les vers peuvent être considérés comme caractéristiques du terreau proprement dit.

Et pour conclure, voilà une belle définition par Müller d'un horizon A de mull forestier, et qui reste bien d'actualité avec la prise en compte de la faune comme déterminant majeur:

Le terreau de hêtre doit donc être envisagé d'après cela comme un dépôt des débris des forêts de hêtre, riche en organismes animaux et principalement en vers de terre, transformé en une couche meuble et incohérente, dans laquelle les restes organisés sont mêlés intimement avec les substances minérales. Sous le terreau, le sol est parfaitement poreux et uni.

L'auteur passe ensuite à la description de la deuxième forme d'humus caractéristique, celle que nous nommons aujourd'hui Mor. En voici des extraits des pages 28 à 44, additionnés de quelques-

unes des illustrations du texte original.

(Pages 28 à 44). Tourbe de hêtre

Plantes caractéristiques. - La forme de l'humus que nous désignons sous le nom de tourbe de hêtre (Buchentorf) se distingue d'une façon évidente dans sa forme typique par sa végétation. Les plantes qui sont particulièrement caractéristiques de la tourbe de hêtre sont l'*Aira flexuosa* et le *Triezialis europæa*...

Cette flore, qu'on pourrait appeler *Trientalis Vegetation* (végétation trientalique), est si caractéristique de la tourbe de hêtre qu'elle est particulièrement propre à servir d'indice certain de l'existence de cette formation, quoiqu'elle éprouve des changements dans sa composition, de même que la végétation de l'aspérule.

Aspect du sol. - Dans une forêt de hêtre consistant en un massif tant soit peu élevé en futaie pleine, sur une couche de tourbe, le sol n'est recouvert que parcimonieusement de la végétation dont nous venons de parler. Il porte une culture misérable; de petites branches et des ramules et aussi, çà et là, quelques restes de plantes forment la surface entre la mousse et les plantes phanérogames peu abondantes et peu apparentes. Mais ce qui frappe surtout, c'est que, sur le sol de tourbe, la couverture de feuilles meuble, qui s'étend partout sur le terreau, fasse défaut. Le sol est ferme et ne cède pas plus sous le pied qu'une épaisse couverture de feutre sur un sous-sol dur. La superficie est si compacte que l'eau de pluie forme parfois des flaques sur le sol sablonneux meuble, quand la tourbe a étendu sa couverture sur le sol; mais une fois que cette couverture est entièrement humectée, après un temps humide continu, elle est comme une éponge imbibée l'eau, tandis que la couche de terre immédiatement sous-jacente est restée sèche. Si l'on creuse le sol à la bêche, on rencontre d'abord une couche d'humus noir-brun, tenace: la tourbe; puis en dessous, un sable en général meuble plus ou moins nettement limité par la couche de tourbe, qui n'a pas du tout la couleur jaune d'ocre, si habituelle à la croûte terrestre de formation d'alluvion. Sa coloration varie entre le gris-blanc et le gris ou noir-gris et est en général d'autant plus claire qu'on s'éloigne plus de la couche tourbeuse. Sous cette couche, on trouve une couche de terre colorée en rouge-brun ou brun et enfin sous celle-ci de l'argile sablonneuse, du sable ou une forme intermédiaire entre ces deux matières. Ces couches, représentées dans les figures 1 (Profil IV) et 2 ont cependant une puissance très différente et présentent encore des divergences importantes. La couche de sable gris, que nous appellerons sable plombifère, peut être réduite sous une couche mince de tourbe à une bande très fine d'une puissance d'à peine 1 pouce (0,026 m), sans limites nettes, et elle peut aussi croître jusqu'à une couche de sable presque blanc d'une épaisseur de 4 pouces (0,105 m) nettement délimitée, comme cela se trouve très souvent dans les forêts des pays de la mer du Nord; un petit nombre d'arbres seulement ont rarement une épaisseur de 6 pouces (0,157 m), mais ces dépôts atteignent pourtant dans les forêts sur le sable amoncelé du Jütland une puissance de 2 pieds (0,628 m).

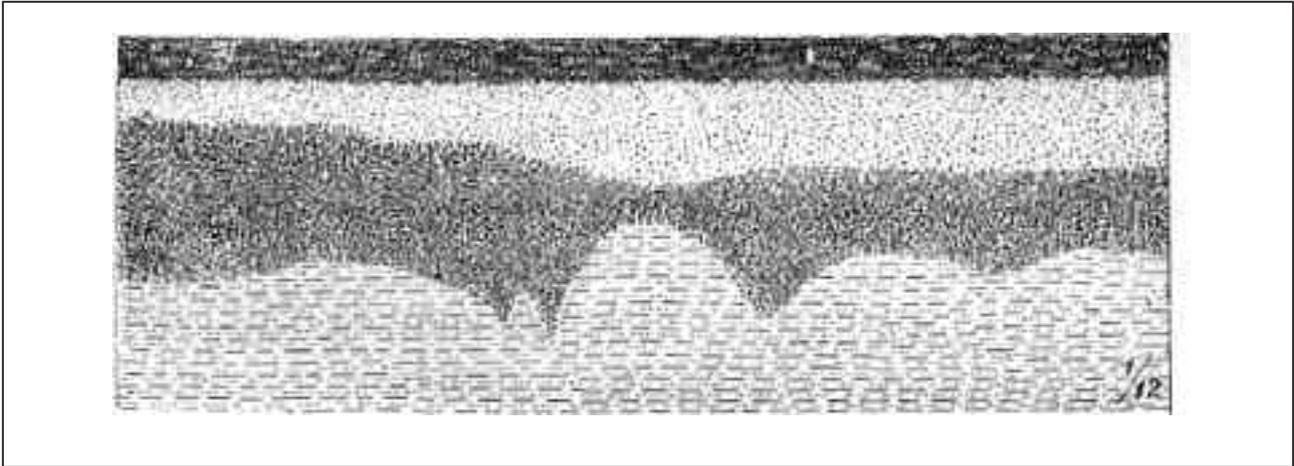
Sur le terrain plat, il existe, entre l'épaisseur de la couche de tourbe et de sable plombifère, un certain accord, et les plus puissantes couches de tourbe gisent sur les plus épaisses couches de sable. Sur le terrain

Nous rappelons que :

- les figures et le « Tableau » III ont la numérotation et la légende originales qu'ils ont dans l'ouvrage de Müller (1889) ;
- les 3 planches n'existent pas dans l'ouvrage de Müller.

Figure 1 - Profil IV. Store-Hareskov. (Forêt d'État dans Seeland)

Figure 1 - Profile IV. Store-Hareskov (State Forest in Seeland)



plus fortement coupé, cette règle souffre pourtant beaucoup d'exceptions, en ce sens que notamment dans les enfoncements les couches de tourbe, plus puissantes, sont déposées sur les couches plus épaisses de sable. Le sable est en général très meuble ; cependant, il est quelquefois, aux limites de la couche sous-jacente, dur et, à quelques places, comme siliceux [figure 2].

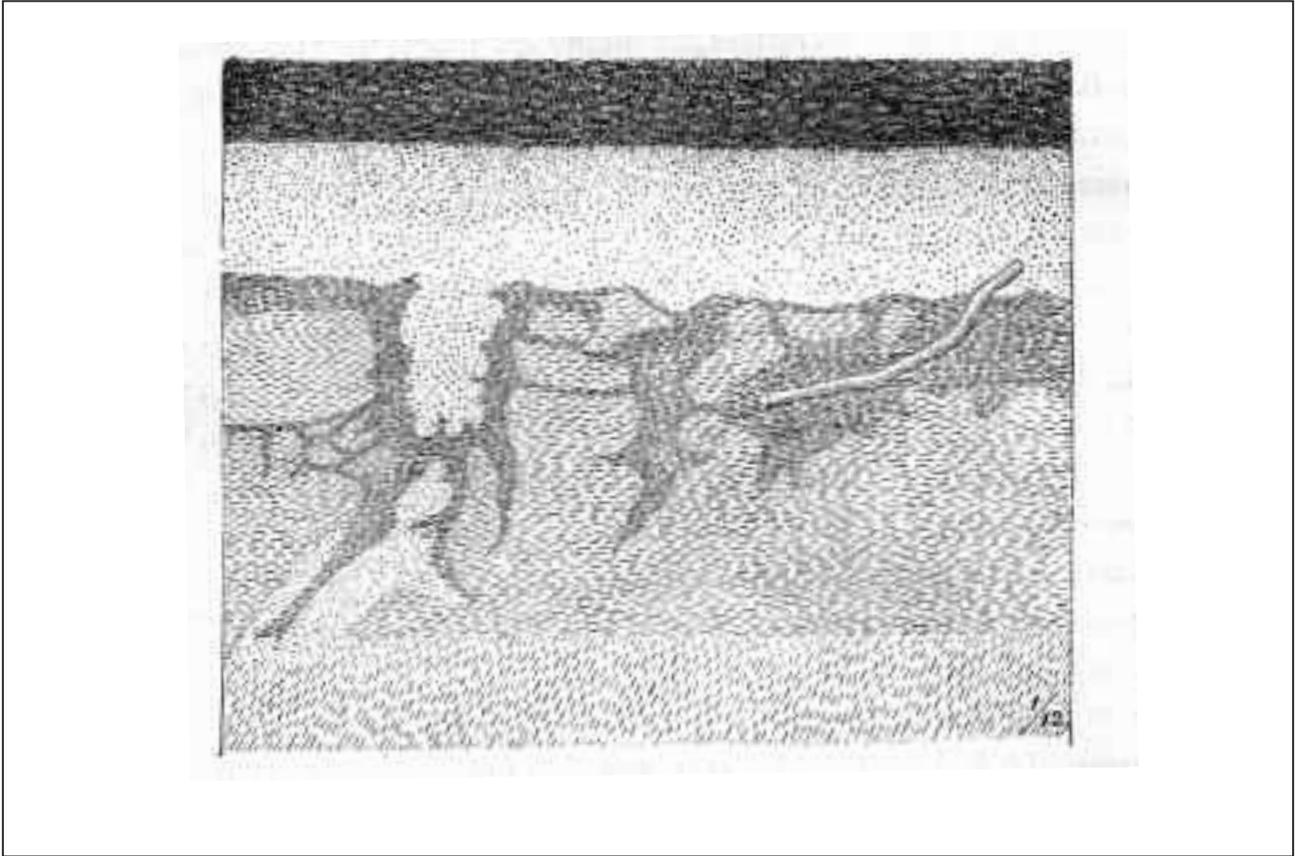
La couche brunâtre qui se trouve sous le sable plombifère, que dans la suite nous appellerons Orstein, est tout aussi variable comme puissance et consistance. Sous la fine bande de sable plombifère, qui a à peine l'épaisseur d'un pouce (0,026 m), la terre rouge n'a pas non plus ordinairement une grande épaisseur ; mais sous les couches plus puissantes de sable blanc, cette formation peut aussi atteindre une épaisseur de 4 à 6 pouces (0,105 m à 0,157 m), et même jusqu'à un pied et demi (0,471 m). J'ai vu varier la puissance totale de ces trois couches entre 4 pouces (0,105 m) à peine et 2 pieds 1/2 (0,785 m). Les couches minces de terre rouge sont toujours poreuses et terreuses, et même les dépôts plus puissants de 4 à 6 pouces ont souvent une consistance aussi faible. Mais, en général, les couches de terre rouge plus épaisses sont tenaces et se développent ensuite comme formation sablonneuse ou bien sous forme de véritable Orstein, bien connu des landes, comme notamment dans les forêts de Silkeborg, dans le Jütland.

Ces deux couches occupent soit toute la place du sous-sol [Profil VIII, figure 2] ou bien dans les formations récentes et plus faibles, seulement la plus petite partie supérieure [Profil IV, X, figure 1,9].

Analyse microscopique et mécanique. - Déjà à l'œil nu et avec l'ai-

Analyse microscopique et mécanique. - Déjà à l'œil nu et avec l'aide de la loupe, lorsqu'on sépare la couverture de tourbe tenace et feu-trée, on constate que les déchets des forêts de hêtre, les fleurs, les feuilles, les écailles de pédoncules, les enveloppes de fruits, représentent la masse principale de cette couche, à côté d'un tissu indéfiniment ramifié, formé de racines pour la plupart fines. Les racines ont partout la même structure, et leurs caractères anatomiques montrent qu'elles appartiennent à des dycotylédonées. Il y a cependant, surtout, dans la tourbe épaisse, une structure particulière de racines qui se bifurquent suivant des couches horizontales ; celles-ci sont en grande partie formées par des feuilles de hêtre, les plateaux sont réunis aux plateaux, en une série ininterrompue de faisceaux...

Dans la partie tout à fait superficielle de la tourbe, les restes de la couverture de la forêt de hêtres sont en quelque sorte intacts ; on y trouve une grande quantité de feuilles bien conservées entre des particules d'autres feuilles. Mais, plus on enfonce profondément dans la couche, plus irrégulière est la composition de la couche, plus les restes de feuilles sont divisés, plus grand est le nombre de directions suivant lesquelles les racines se ramifient. Dans la partie la plus basse de la tourbe, la couverture est plus fortement divisée, se détruit en débris de toutes les grosseurs possibles, et est mélangée avec une poudre fine noir brun. Des couches de tourbe très minces ou de puissance plus faible présentent une plus faible dégradation du haut en bas, mais en général les mêmes caractères. Si l'on cherche à séparer les fines ramifications de racines des feuilles mortes sur lesquelles elles s'étendent, on se trouve en présence d'une certaine résistance dont la cause n'est pas visible à l'œil nu, mais se reconnaît à l'analyse microscopique. La masse entière, les ramifications aussi bien que les feuilles et les autres éléments de la couverture, est pour ainsi

Figure 2 - Profil VIII. Strandskovea. (Forêt d'État dans Seeland)**Figure 2 - Profile VIII. Strandskovea (State Forest in Seeland)**

semblent être très tenaces et durs comme de la corne.

C'est un mycélium qui se développe en des masses infimes et qui se réunit en un fil épais et dur, dont est formée la tourbe (figure 5). Ce mycélium étudié, sur ma demande, par le mycologiste M. le professeur Rostrup, n'a pas encore pu être classé systématiquement avec certitude...

Pour comprendre exactement le pouvoir qu'ont ces formes de mycelium de servir de lien à la couverture des forêts et de réunir étroitement les racines existant dans la couche de tourbe à cette couverture, on doit observer leur force de résistance étonnante aux influences décomposantes; ce tissu microscopique semble être tout à fait indestructible. Aussi trouve-t-on dans la partie inférieure de la tourbe des débris et des morceaux de tissus morts, et dans l'estomac et les excréments des vers de terre et des larves d'insecte de petites parties de ces fils noir brun, qui paraissent n'avoir pas été altérés par les fluides du canal digestif. Dans une observation mentionnée plus bas, j'ai trouvé dans un état d'extrême décomposition, d'innombrables restes de ce tissu qui, vraisemblablement, étaient morts depuis une série d'années...

Quelle que soit la grande part que prend aussi ce réseau de racines d'un développement extraordinaire, à donner de la consistance à la tourbe,

on ne peut mettre aucunement en doute que cette ténacité doit être attribuée surtout au mycélium brun...

Les analyses mécaniques montrent que la teneur en pierres des trois couches qui gisent sous la tourbe, aussi bien que sous le terreau, augmente avec la profondeur, tandis que leur teneur en argile croît tantôt avec la profondeur et tantôt diminue. Sous ce rapport, il est particulièrement intéressant de noter que, pour tous les profils qui représentent des places élevées, la teneur en argile s'accroît d'une façon très considérable avec la profondeur... Nous verrons plus tard que cette propriété doit être attribuée au pouvoir qu'a l'eau de délayer l'argile des parties hautes et de la conduire soit au fond du sol, soit dans les parties basses du champ...

Une recherche plus approfondie sur la structure particulière du sable plombifère et de la terre rouge démontre, en outre, que le premier consiste surtout en fragments purement minéraux, formés principalement de quartz, mélangé avec des particules des autres éléments du granite... Le caractère de la terre rouge est tout différent. Là, chaque grain et chaque particule tenace sont entourés d'une substance qui paraît dépourvue de structure; ils sont incrustés d'une matière brune qui donne à la couche sa couleur et toute la masse entière, à cause de cela, ressemble d'une

Figure 5 - Une racine de hêtre dans la tourbe, avec la pointe d'une écaille de bourgeon tissée par le mycélium noir-brun.

Figure 5 -



façon si frappante à la partie superficielle de la couche gisant sous le terreau, qu'il était impossible, à cause de cette uniformité de coloration, de découvrir à l'aide du microscope une différence perceptible entre la structure de la terre rouge et celle de cette couche. On trouve une incrustation semblable, mais, en général, moins parfaite et d'une autre composition, dans le sous-sol argileux.

Analyse chimique. - La couche tourbeuse de la forêt de hêtres renferme une grande quantité d'éléments organiques qui se monte en moyenne à 40 p. 100 et peut varier entre 30 et 50 p. 100; mais elle est en outre très acide, non seulement à cause de sa teneur en acide carbonique, mais en même temps à cause d'une quantité considérable d'acides humiques qui, sans doute, en pénétrant toute cette masse tourbeuse, contribuent à sa stabilité. D'ailleurs, comme le montre le tableau II, elle est extraordinairement riche en éléments nutritifs des plantes, ce qu'explique seule sa teneur élevée en restes de plantes et en éléments minéraux. Même le sable plombifère, généralement très pauvre en terreau, n'est pas tout à fait exempt d'acides, mais nous trouvons pourtant ceux-ci en beaucoup plus grande quantité dans la terre rouge; qui est de nouveau plus riche en humus, et dans laquelle, à ce qu'il paraît, l'excédent de la matière organique colorante consiste en acides humiques

qui sont sans doute, pour la plupart, combinés à différentes bases minérales.

Le sable plombifère est relativement pauvre en pareilles combinaisons solubles dans l'acide chlorhydrique étendu. Il doit être, à cause de cela, considéré comme une couche de terre extraordinairement maigre. De là, les acides solubles descendent vers le sous-sol, tout à fait comme sous le terreau, mais beaucoup plus vite; on doit descendre à une profondeur 4 à 6 fois plus grande dans le sol sous le terreau que sous la tourbe, pour trouver en masse double la quantité d'éléments ordinaires et d'éléments inorganiques importants pour la nutrition des plantes.

Le hêtre en station sur la tourbe. - Les peuplements de hêtres sur le sol revêtu de tourbe ont une croissance lente; les vieux arbres ont la cime desséchée, sont recouverts de mousse et présentent d'autres signes d'un état maladif...

Sur des formations aussi fortes de tourbe, la forêt arrive, pour ainsi dire, à se tenir au haut du sol et tire en réalité sa nourriture de sa propre couverture. Enfin, les racines absorbantes fraîches se trouvent aussi de préférence au milieu des couches de feuilles supérieures et la plus grande partie de ce tissu incommensurable n'est plus en état d'assimiler la nourriture et doit être seulement considérée comme un reste non décomposé des organes de nutrition primitifs.

L'entière conception de ce fait ressort d'une recherche faite sur les pointes fonctionnelles des racines de hêtre.

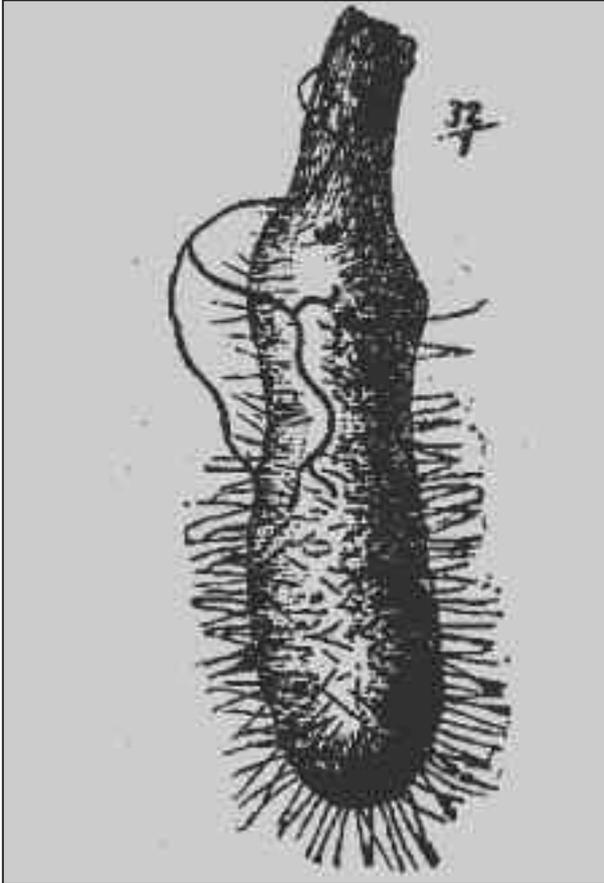
Quand on prépare une des racines de hêtre finement ramifiée dans la partie supérieure de la tourbe entre les feuilles, on voit que plusieurs des radicules brun foncé et rugueuses se terminent en renflements blanchâtres [figure 4].

Cette partie seulement de la racine de hêtre, dont la longueur ne dépasse pas quelques millimètres, est recouverte d'un parenchyme d'écorce clair enflé, dont les cellules s'allongent en poils de racines en brosse, courts et clairs. Cette partie peu considérable de la racine est seule en état d'absorber la nourriture; à une distance relativement faible de la pointe, les poils de la racine sont morts, les cellules du parenchyme de l'écorce, sèches et brunes, la couverture ridée et crevassée et recouverte partout d'une végétation des parasites inséparables, des fils de mycélium bruns, mais qui attaquent seulement le parenchyme de l'écorce morte (figure 8).

Autres organismes. - Déjà au premier coup d'œil on s'aperçoit qu'une différence importante existe entre la vie animale dans le terreau et dans la tourbe, car aucun tas de taupe ne rompt la superficie plane de cette dernière. La taupe, ainsi que sa victime, le ver de terre, n'existe jamais dans les formations de tourbe proprement dites; une seule fois, j'ai trouvé un exemplaire d'une sorte de petit Enchytreus dans la tourbe, où il était probablement tombé par hasard. On ne trouve du reste, relativement, que très peu de morceaux ou d'excréments d'insectes, si même ils ne font pas complètement défaut; mais tout le monde d'insectes qui s'agit dans une forêt de hêtres doit pourtant aussi laisser sa trace dans la tourbe, mais on ne peut pas conclure d'après cela à une vie animale dans la tourbe. L'entomologiste professeur Schiödtte à qui je communiquai cette remarque m'a confirmé ce fait que le sol de tourbe était considéré comme un champ stérile par les entomologistes. A l'exception de quelques trous creu-

Figure 8 - Pointe d'une racine de hêtre avec le parenchyme de l'écorce gonflé. Dans les couches mortes de l'écorce et de la partie supérieure, fils bruns de mycélium.

Figure 8 -



sés par des taupes, je n'ai trouvé dans la tourbe aucune trace d'animaux autres que quelques crustacés indigènes, Oniscés et Julidés (Oniscen und Juliden), ainsi qu'en quantité assez considérable, différentes formes de quelques représentants des vers, très petits et en partie microscopiques, qui se tiennent à la plus grande profondeur, des formes des groupes des gordiacées et anguillules.

Et pour conclure, une définition du mor :

La tourbe de hêtre doit être d'après cela regardée comme un dépôt de couverture des forêts de hêtres extraordinairement pauvre en vie animale, qui est transformée en une tourbe tenace par les racines de hêtres et un champignon mycélium très résistant. Sous cette tourbe, la superficie du sol est désagrégée en sable plombifère et terre rouge qui, suivant le développement de la formation, embrasse une plus ou moins grande partie de la puissance totale du sol.

Puis (pages 45 à 47) viennent les descriptions des « formations de passage » entre le mull et le mor comme la « tourbe-terreau (mullartiger Torf) » (notre moder actuel ou plutôt son horizon OH), la « tourbe de mousse », les « dépôts humiques mélangés » ainsi que « transformation du terreau et de la tourbe ».

Après cette caractérisation morphologique, physique, chimique et biologique des principaux types d'humus, Müller nous offre une « Discussion » (pages 64 à 103) organisée en quatre parties (cf. Table des Matières). La première s'appuie à la fois sur les propres observations de Müller et sur les travaux de la littérature et vise à distinguer les principales étapes de l'humification, les agents qui en sont responsables et la différenciation des profils. C'est uniquement cette partie que nous commenterons ici.

(page 64). La formation de l'humus est ordinairement envisagée comme une oxydation (chimique)... dont les produits finaux sont de l'acide carbonique, de l'eau de l'ammoniaque, etc... Mais... il n'a été fait jusqu'à présent qu'un très petit nombre de recherches qui puissent résoudre la question de savoir à quelle cause sont dues les variations si multiples du procédé d'humification sur un sol ferme. Le plus souvent, cette multiplicité a été attribuée à des causes climatiques et physiques...

Puis citation des travaux précurseurs du Pr Schiödte sur le rôle des insectes et de van Post sur l'origine des différentes formes d'humus, avant de continuer par :

(pages 65-66). Nos propres observations ne peuvent pas contribuer de façon notable à éclairer la nature des phénomènes chimiques... mais elles apportent une contribution plus étendue à la notion acquise grâce au travail de Post d'après laquelle la plupart des formes d'humus... doivent être considérées comme consistant principalement en excréments animaux.

La division mécanique des restes organiques est la première phase de l'humification... Mais, à l'action divisante des animaux, s'ajoute celle des plantes saprophytes... les champignons... (ainsi que) l'action de myriades d'organismes inférieurs du règne des monères... il paraît hors de doute que cette première phase de l'humification est essentiellement l'œuvre des animaux et des plantes saprophytes... Enfin, un témoignage important... du rôle joué par la vie animale, nous est fourni par ce fait que plus la vie animale décroît en abondance et en intensité, plus est limitée la division des restes organiques, jusqu'au point où, cette vie animale s'affaissant au minimum, les restes organiques demeurent, même très longtemps, pour ainsi dire sans changement, ainsi que cela se passe dans les couches de tourbe les plus puissantes et les plus tenaces...

(page 67). **Le mélange des restes organiques** avec la terre minérale est la deuxième phase... de la formation de l'humus... Le mélange en question est de la plus grande importance pour la fertilité de cette forme d'humus.

Müller explique alors que l'ensemble de la vie animale participe de cette fonction de mélange qui associe l'humus finement

divisé aux particules d'argile, mais, (page 69)... il faut l'intervention d'un élément plus actif pour que le mélange devienne un véritable terreau, et ce sont les vers de terre qui paraissent à jouer ce rôle.

Müller mentionne alors les travaux de Hensen et de Darwin (1837, 1838) qui ont montré l'importance des vers de terre dans cette fonction de mélange (cf. Feller *et al.*, 2000, 2003). Noter qu'en 1878, Darwin n'a pas encore édité son fameux ouvrage sur les vers de terre (Darwin, 1881) et que Müller ne réfère là qu'àux très courts articles anciens de Darwin (1837). De son côté Darwin, en 1881, ne mentionne pas le remarquable travail très détaillé de Müller sur les vers de terre. Toutefois, Müller nuance fortement les propos de ses prédécesseurs, en n'attribuant pas nécessairement au lombric le rôle majeur :

(pages 70-71). Le *Lumbricus terrestris* ne se trouve nullement dans toutes celles de nos forêts de hêtres dont le sol est recouvert de terreau... Par contre, le petit lombric du hêtre et les petites espèces du genre *Enchytreus* ne paraissent jamais manquer là où il y a du terreau... Cependant ces objections ne sauraient guère affaiblir l'impression causée par le rôle grandiose des vers de terre, si l'on se rappelle que j'ai toujours trouvé de ces animaux dans le terreau, jamais dans la tourbe, et si l'on compare la structure des couches de terreau avec les excréments des vers de terre.

Noter ici aussi la relation faite par Müller entre les activités biologiques et la structure du sol. Ce qui conduit l'auteur à étudier le rôle de l'eau dans, ce que nous appellerions maintenant la différenciation du profil. Müller s'intéresse alors au podzol, à la nature de l'humus en haut de l'horizon cendré et à celui que l'on retrouve dans la « terre rouge », l'horizon B_{Fe}.

(pages 72-75). La couleur noire de la couche située immédiatement au-dessous de la tourbe et la diminution très rapide du nombre de particules d'humus... rendent très vraisemblable l'hypothèse que la terre sableuse a servi de filtre pour retenir d'une façon régulière les corps solides entraînés par l'eau de pluie... La couche d'humus, presque amorphe, qui se trouve dans la terre rouge, possède... une toute autre structure. Elle ne consiste pas en corps définis nettement déposés entre les grains de sable, mais elle entoure chaque grain comme une enveloppe... Si l'on compare cette répartition des couches... la seule conclusion qu'on semble avoir droit de formuler est... que l'origine des strates est variable... ici, une lixiviation de haut en bas (*Herabspülung*) et là par une précipitation d'une dissolution. Tout paraît me conduire à penser que la teneur de la terre rouge en humus résulte principalement de ce processus... (Donc) nous avons ici l'occasion d'étudier deux processus qui paraissent tous deux être... des moyens de mélange très énergiques...

Müller rajoute toutefois, après observations microscopiques des horizons A sous le mull, que le processus de dissolution-précipitation des substances humiques peut exister aussi dans les sols à mull et se juxtaposer au processus de mélange dû à l'activité

tation des substances humiques peut exister aussi dans les sols à mull et se juxtaposer au processus de mélange dû à l'activité biologique.

Le tableau ci-contre, basée sur ces dernières observations et sur des analyses chimiques des teneurs en MO et des « acides humiques libres » (solubles dans l'eau) permet à Müller de proposer une première classification des humus des forêts de hêtre.

Suivent ensuite, aussi bien pour les sols à mull que pour ceux à mor des observations et interprétations sur les mouvements du calcium et du fer dans ces sols :

(Page 81). Lorsque l'activité en vertu de laquelle les animaux divisent et mélangent les éléments du sol est fortement entravée, les détritiques organiques, aussi bien que tous les autres, restent gisants à la surface du sol... Quand les racines des hêtres ou des bruyères transforment les détritiques organiques en tourbe... le sol devient alors imperméable... et la face inférieure de cette couche ne peut recevoir... l'oxygène nécessaire pour se décomposer; il en est de même des acides humiques et de leurs combinaisons qui s'infiltreront avec l'eau de pluie et se changent en acides carboniques et carbonates; les uns et les autres sont donc obligés d'emprunter de l'oxygène à ceux des composés organiques qui renferment la plus grande quantité de ce corps simple, notamment à l'oxyde de fer. Il se forme alors des sels d'oxydure de fer, facilement solubles, qui sont entraînés par les pluies hors de la couche de terre superficielle, de sorte que celle-ci perd peu à peu sa couleur primordiale, due surtout à l'oxyde de fer. En même temps... cette couche essentiellement maigre perd une grande partie de son pouvoir absorbant... et ces acides (qui proviennent de la tourbe) possèdent un pouvoir merveilleux de dissoudre les autres sels et même les silicates.

La formation de la « terre rouge » ou de l'« ortstein » sous l'horizon cendré est ensuite longuement discutée en fonction des conditions de milieu et à partir d'analyses chimiques, ce qui conduit Müller à distinguer différents types d'horizons d'accumulation (page 88) :

- (la) terre rouge (*Rotherde*) pour « les couches cimentées et colorées par des matières humiques ou des sels formés par ces acides... mais qui ne contiennent pas plus de fer que le sous-sol situé immédiatement au-dessous... »
- *Ortstein* désignerait des couches analogues... dans lesquelles l'amoncellement de l'hydrate d'oxyde de fer est plus grand que dans la terre environnante et dont la grande majorité consiste en sable et substances inorganiques analogues...
- (le) fer limoneux (*Raseneisenstein*)... ces agrégats de fer dont la masse principale est formée d'oxyde de fer. »

De cet ensemble d'observations et interprétations, Müller en déduit certaines « Applications » possibles (pages 104 à 133 et cf. Table des Matières). Parmi celles-ci, il y a « l'examen des sols », et Müller bien évidemment s'élève contre « l'examen ordinaire fait à une profondeur de deux coups de bêche (et qui) s'exprime le plus souvent de la façon suivante : couche supérieure de terreau reposant sur un sous-sol (*Untergrund*) d'argile sableuse ou de

sable argileux, etc. ». Il insiste pour que soit décrite particulièrement bien la couverture d'humus ; il fait remarquer que ce qui est pris généralement pour le sous-sol ne l'est pas et que celui-ci est à des profondeurs bien plus importantes : ainsi (page 105) «...la couche supérieure du sol, estimée de cette façon, a ordinairement une puissance de 2 à 4 pieds (0,6277 m à 1,255 m)... » ; que la couleur plus ou moins brune n'est pas toujours un indicateur de la teneur en MO. Il donne des conseils sur les horizons à prélever, non seulement pour caractériser les sols sur un plan chimique mais aussi pour estimer « le degré de limonage de la couche supérieure ». C'est donc bien constamment une démarche pédogénétique qui est proposée par Müller.

Dynamiques spatiales et temporelles des Sols Bruns aux Podzols sous chênaies et landes. (« Sur les formes de l'humus dans les forêts de chênes et les landes (1884) »)

Dans l'introduction de cette deuxième partie, l'auteur nous donne quelques informations préliminaires importantes. Tout d'abord, il y a eu la publication du livre de Darwin sur les vers de terre et la formation de l'humus ce qui entraîne « un puissant appui (à ce) point essentiel de la première partie de nos études », puis les recherches de König sur le pouvoir absorbant des matières humiques qui vont aussi dans le sens des interprétations de Müller ; enfin, nous apprenons que ce deuxième mémoire était, en fait, prêt depuis deux ans, soit en 1882.

La démarche de Müller reste la même dans cette deuxième partie : il retrouve selon les conditions stationnelles, les mull, les mor, les formations de transition, les horizons cendreaux et les horizons d'accumulation en profondeur de fer et d'humus. Mais il y a une figure [la figure 14, page 159] et le tableau III (qui est en fait une figure) qui sont absolument exemplaires et qui méritent d'être commentés.

La figure 14 s'inscrit dans la section « Le passage du sol de terreau au sol de tourbe dans les landes » (pages 156 à 167).

Cette figure parle d'elle-même à tout pédologue des milieux froids et tempérés : c'est le passage, sur quelques mètres, sous l'effet d'un changement de végétation d'un Brunisol (sous chênes) à un Podzsol (sous bruyères). Mais laissons parler l'auteur.

(Pages 156 à 158). C'est un phénomène au plus haut point surprenant, que les sols de terreau et de tourbe peuvent se transformer si subitement dans les landes jütlandaises et qu'une différence de quelques toises suffit pour conduire l'observateur d'un sol, qui sous une couverture épaisse et ferme de tourbe, a une couche de sable plombifère de 4 à 6 pouces (0,1046 m à 0,1569 m) reposant sur des formations d'Ortstein, et de terre rouge puissantes et dures comme la pierre, à un sol en forme de terreau, dont la couche superficielle est poreuse et a la couleur du terreau, et qui passe insensiblement à un sous-sol sableux, couleur d'ocre... comme le représente la figure 14. Cet état n'est pas du tout une exception, et l'auteur, après que son attention eût été appelée une première fois sur ce fait, a retrouvé ce même phénomène à beaucoup d'endroits.

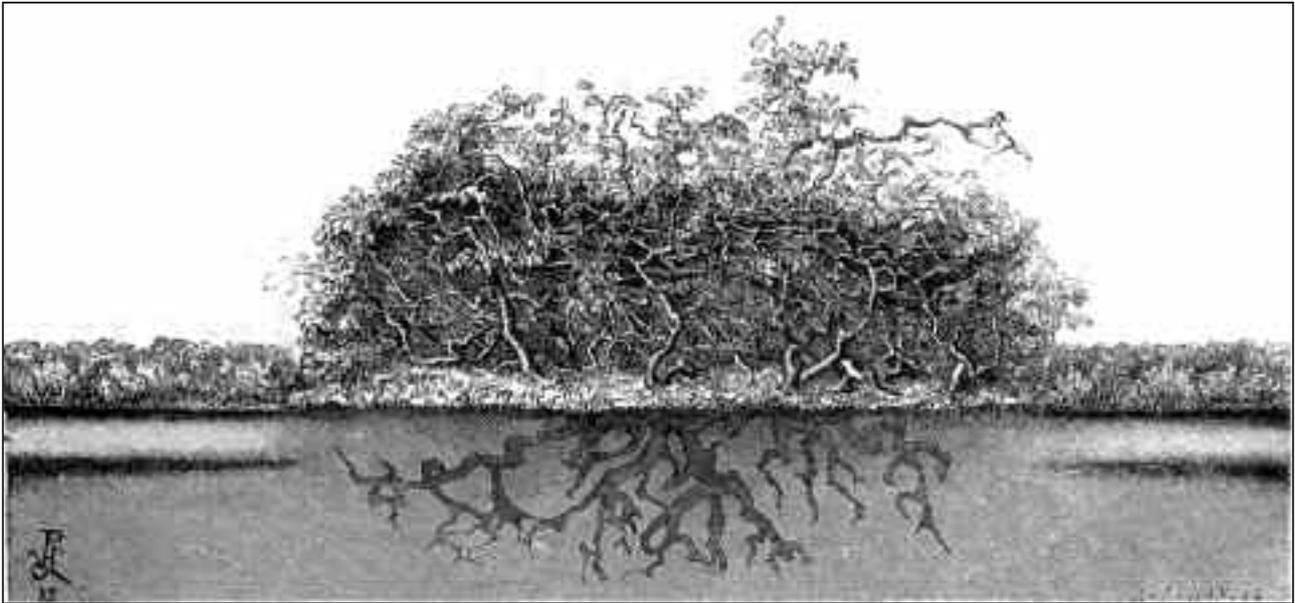
(Page 162)... Il n'existe aucune différence visible relativement au terrain à l'intérieur et à l'extérieur de la limite du boqueteau : de même, après

Tableau (recomposé), page 76 de l'ouvrage de Müller

		Principalement produit de la vie animale dans le sol.	Principalement couche de terre végétale.
Ne renferme pas plus de 10 p. 100 de substance organique sans acides humiques libres et solubles, est bien mélangé avec la terre minérale, tant par le travail des animaux que par l'action de l'eau.	Parfaitement divisé, meuble, sans cohésion	<i>Terreau proprement dit.</i>	<i>Echter Mull.</i>
Renferme 30 à 60 p. 100 de substances organiques ; renferme aussi des acides humiques libres et solubles ; est mélangé avec la terre minérale d'une façon très imparfaite, à peu près uniquement par l'action de l'eau.	Parfaitement divisé, meuble, sans cohésion.	<i>Tourbe en forme de terreau.</i>	<i>Mullartiger Torf</i>
	Imparfaitement divisé, ferme, tenace, cohérent.	<i>Tourbe proprement dite.</i>	<i>Echter Torf</i>

Figure 14 - Coupe d'un Krattbusch de chênes et du sol qui le porte. Sous le dais de feuillage de chêne, le terreau grisâtre de la superficie passe peu à peu au sable jaune du sous-sol ; extérieurement au bosquet, là où le sol porte une végétation de bruyères, la tourbe demande, le sable plombifère et l'Orstein se sont formés. Les racines de chênes sont représentées par une esquisse.

Figure 14 - Vssss



les analyses entreprises, le sous-sol est le même aux deux places... si l'on examine un profil... le sol montre tous les passages entre les trois stades représentés par les figures 2, 3 et 4 du tableau III.

Le tableau III est exemplaire à plus d'un titre. Nous venons d'en parler à propos de la figure 14. Ce tableau montre le passage du Brunisol (profil 1) au Néoluvisol (profil 2) sous chênes, puis le passage au Sol podzolique (profils 3 et 5) et Podzosol (profil 4) pour les associations chênes-bruyères puis à différents Podzosols et Paléopodzols (profils 6 et 7, commentaires aux pages 207 et 248-251) Le profil 8 correspond probablement à un Podzosol hydromorphe (commentaires aux pages 242-243) et laisse apparaître une forme d'orstein particulière que Müller dénomme « orstein argileux (Thon orstein) », très répandu dans le Jütland Nord.

Noter aussi la numérotation « a, b, c » des horizons, qui correspond à nos horizons A, B d'accumulation et C d'altération ou R de roche-mère. Noter aussi, que pour les horizons « a » de podzol, Müller distingue « a', a'' et a''' », pour nos horizons correspondants A, E (anciennement A2) et BPh. Les appellations « a, b, c » de Müller, même si elles ont une signification pédogénétique ne recouvrent toutefois pas encore exactement nos appellations A, B et C.

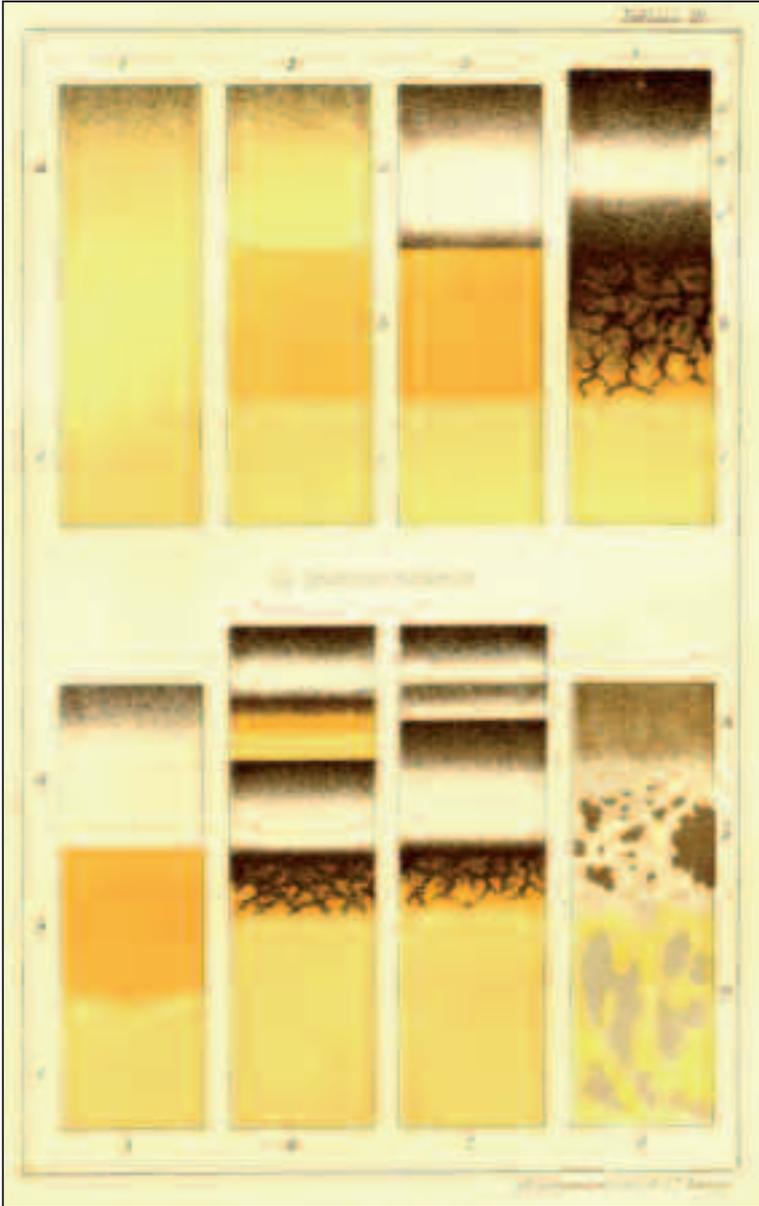
Nous ne commenterons pas dans le détail cette partie II de 1884, qui se poursuit par l'étude des processus de « limonage », l'analyse des différentes formes d'orstein, les analyses physiques et chimiques des sols décrits, le rôle de la faune, très développé, avec de larges commentaires sur le livre de Darwin récemment publié - en 1881 - sur les vers de terre. On se doit toutefois de dire un mot plus détaillé, car tellement original, sur la section intitulée par Müller : « La rapidité de la formation de la lande » (pages 244 à 251), dans laquelle il s'interroge sur « la rapidité avec laquelle le changement (des profils de sols) s'accomplit en général ». Pour cela : (i) il fait des recherches historiques sur les variations de la végétation comme indicateur du changement, (ii) des profils dans des sites archéologiques (tumuli) des tombeaux situés à Hjortsballe (Tableau III, figures 6, 7) pour bien démontrer que ces superpositions de profils sont bien en place. Malheureusement, il ne fournit pas de datation (peut-être n'y en avait-il pas à l'époque ?). Et sa conclusion est :

D'après cela, il me semble solidement établi, si l'on veut arriver à une compréhension du sable plombifère et d'Orstein, qui accompagne la formation des landes, qu'on doit tenir compte de la façon dont s'accomplit ce développement non seulement de notre temps, mais aussi de la façon dont s'est accompli celui qui s'étend vraisemblablement pendant des siècles loin dans la nuit des temps, et qui doit être envisagé comme un

«Tableau» III - Aucune légende n'accompagne cette illustration.

Cf. texte pour compréhension.

«Table III» - Vssss



état caractéristique du sol pour les landes actuelles et qu'il s'effectue avec une rapidité très différente suivant la nature de l'emplacement et de la végétation prédominante, selon toute vraisemblance beaucoup plus rapidement dans les forêts que dans les landes.

LES RECHERCHES ULTÉRIEURES DE P.E. MÜLLER ET L'ENSEMBLE DE SES PUBLICATIONS

Recherches ultérieures de P.E. Müller

Ces quelques données bibliographiques sont extraites (et traduites par nous-mêmes) de la publication de L. Petersen (1991) sur l'histoire de la pédologie au Danemark.

« A la suite de la démission de P.E. Müller de l'Université Royale Vétérinaire et Agricole, ses activités de recherche se concentrèrent sur l'amélioration de la production forestière, en particulier sur les sols acides avec mor (Müller, 1905; Müller et Weiss, 1906, 1908, 1913; Müller et Helms, 1913). En relation avec une recherche sur la croissance de l'épicéa sur sols sableux de bruyère, Müller et al. (1910) décrivent 36 profils de sol et firent des analyses mécaniques et chimiques d'horizons de profondeur prélevés sous les horizons pédogénétiques. Beaucoup de ces sols étaient des podzols. Dans une conférence honorifique à l'Université Royale Vétérinaire et Agricole, Müller (1918) présenta quelques nouvelles idées sur la pédogenèse des podzols de bruyère du Jutland. Ces théories et leurs fondements ont été décrits en détail dans Müller (1924). A cette époque, l'origine géologique des plaines à bruyère comme des dépôts alluviaux de la glaciation Weichsel était bien connue (Johnstrup, 1875; Ussin, 1903, 1907). Selon les nouvelles théories de P.E. Müller, ces podzols se formèrent pendant la glaciation quand les terres hors des glaciers étaient sous végétation de tundra. Il interpréta la limite supérieure de la couche 'al' comme la limite supérieure du permafrost, et l'horizon cendré comme un résultat de la cryoturbation. Les glosses du matériau 'al', qui descendent souvent jusque dans la roche-mère, furent interprétées comme étant dues à des inclusions de glace pendant la période de toundra. A l'exception de la relation entre les glosses de la couche « al » et les premières inclusions de glace, ces théories n'ont pas été confirmées par les recherches ultérieures, et les explications sur la formation du profil de podzol proposées par P.E. Müller 40-50 ans avant étaient évidemment supérieures à ces théories tardives. »

Nous ajouterons, après lecture du long (13 pages) résumé étendu que Müller (1924) a fait en français, que, dès les premières lignes, l'auteur emploie les termes « étude pédologique », et « podsol – terminologie fino-russe ». Mais dans la liste bibliogra-

phique, il n'y a aucune référence à Dokuchaev. Nous n'avons malheureusement pas dépouillé tous les écrits de Müller pour vérifier s'il avait eu connaissance des travaux de Dokuchaev.

Les travaux publiés

Comme de nombreux travaux de P.E. Müller ne sont pas cités dans notre texte, nous donnons cette liste exhaustive ici et non en bibliographie. Par contre, les titres cités par nous-mêmes dans le texte sont bien donnés en références.

- Müller P.E., 1867 - Danmarks Cladocera.
- Müller P.E., 1868 - Bidrag til Cladocerernes Forplantningshistorie. Særsk. Aftr. af: Naturhistor. Tidsskr. 3. R., 5. Bd.
- Müller P.E., 1870 - Notes sur les Cladoceres des grands lacs de la Suisse. Tiré des Archives de Sciences de la Bibliothèque de Genève (S.a.).
- Müller P.E., 1871 - lagttagelser over nogle Siphonophorer. Thèse de P.E. Müller., Avec un résumé en français.
- Müller P.E., 1873 - De i Danmark hidtil fundne Phyllopoder Af "Naturhist. Tidsskr." 3. R., 8. Bd.
- Müller P.E., 1878 - Nogle Undersøgelser af Skovjord. Tidsskrift for Landøkonomi, IV. Række, 12: pp. 259-83.
- Müller P.E., 1879 - Studier over Skovjord, som Bidrag til Skovdyrkningens Theori. I. Om bøgemuld og Bøgemor på Sand og Ler. Tidsskrift for Skovbrug, 3: pp. 1-124.
- Müller P.E., 1879 - Notices sur les forêts en Danemark. Revue des Eaux et Forêts, Février 1879, pp.49-71.
- Müller P.E., 1881 - Omrids af en dansk Skovbrugsstatistik Samt Optegnelser om vore Skoves min-dre Bidrag til Landboernes
- Müller P.E., 1882 - Forelæsninger over Skovbrugs-Historie og Statistik holdt for de Skovbrugs-studerende på den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole.
- Müller P.E., 1882-83 - Forelæsninger over Skovdyrkningslære "Driftslære" holdt på den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole.
- Müller P.E., 1884 - Studier over Skovjord, som Bidrag til Skovdyrkningens Theori. II. Om Muld og Mor i Egeskove og paa Heder. Tidsskrift for Skovbrug, 7: pp. 1-232.
- Müller P.E., 1887 - Studien über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden. Berlin.
- Müller P.E., 1889 - Recherches sur les formes naturelles de l'humus et leur influence sur la végétation et le sol.
- Müller P.E., 1899 - Zur Theorie der Ortsteinbildung, eine Antwort an Herrn Prof. Dr. Ramann. Engler's botanischen Jahrbüchern 27: 3, Beiblatt Nr. 63.
- Müller P.E., 1899 - Bemærkninger i Anledning af Sehesteds Afhandling.
- Müller P.E., 1903 - Om Bjergfyrens Forhold til Rødgranen i de jydsk Hedekulturer.
- Müller P.E., 1904 - Nogle Nye Undersøgelser over skovtræernes Svampørdder., Mykorrhizer).
- Müller P.E., 1905 - Om nogle Bælgplanters Udvikling i bearbejdet jydsk Hedejord. Det Forstlige Forsøgsvæsen, 1: pp. 97-112.
- Müller P.E., 1905 - Muldformer. Meddelelser givne i Forstl. Discussionforening d. 21. Jan. 1905.
- Müller P.E., 1918 - Fortsatte lagttagelser over Muld og Mor i Egeskove og på Heder. Dansk Skov-forenings Tidsskrift, 3: pp. 477-95.
- Müller P.E., 1924 - Bidrag til de jydsk Hedesletteres Naturhistorie. Karup Hedeslette og beslægtede Dannelser. En pedologisk Undersøgelse. Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab. Biolo-giske meddelelser. IV, 2.
- Müller P.E., Gyldenfeldt, W., 1876-1903 - Tidsskrift for Skovbrug.
- Müller P.E. & Helms, J., 1913 - Forsøg med Anvendelse af Kunstgødning til Grankultur i Midt-jydsk Hedebund. Med Bidrag til Hedebundens Naturhistorie. Det Forstlige Forsøgsvæsen i Dan-mark, 3: pp. 271-403.

Müller P.E., Rørdam, K., Helms, J. & Wøldike, E.H., 1910 - Bidrag til Kundskab om Rødgranens Vækstforhold i Midtjydsk Hedebund. Det Forstlige Forsøgsvæsen i Danmark, 3: pp. 1-270.

Müller P.E. & Weiss, F., 1906 - Studier over Skov- og Hedejord. I. Om Kalkens Indvirkning paa Bøgemor. Det Forstlige Forsøgsvæsen, 1: pp. 235-320.

Müller P.E. & Weiss, F., 1908 - Studier over Skov- og Hedejord. II. Om Salpetersyrens Forekomst og Dannelse i Muld og Mor. Det Forstlige Forsøgsvæsen, 2: pp. 257-96.

Müller P.E. & Weiss, F., 1913 - Studier over Skov- og Hedejord. III. Forsøg over forskellige Kalk-mængders Indflydelse paa Bøgens Udvikling paa Morbund. Det Forstlige Forsøgsvæsen i Dan-mark, 3: pp. 404-37.

CONCLUSION

Nous espérons avoir fait percevoir à travers ces larges extraits et ces quelques commentaires la singulière actualité de P.E. Müller sur les humus, mais encore plus son approche unique de l'observation des profils de sols et des mécanismes de différenciation des horizons. Avec P.E. Müller nous sommes déjà dans ce que l'on appelle maintenant le modèle « CLORPT », issu du fameux traité de « Pédologie Quantitative » de Jenny (1941) et qui résume par son acronyme le rôle des différents facteurs du milieu sur la pédogenèse : climat, roche, topographie, végétation, organismes du sol et durée. Tout l'ouvrage de Müller prend ces paramètres, et de manière intégrée, en compte. Pour un climat donné, Müller nous montre comment chacun des paramètres roche-mère, végétation, activité biologique du sol et durée vont interférer sur le développement du profil. La *figure 14* (qui associe végétation et sol) et le tableau III et ses profils schématisés qui nous résument tous les termes de passage entre un Sol Brun et un Podzol en passant par le Sol Lessivé et le Lessivé Podzolique, sont tout simplement saisissants.

Il est intéressant de se demander pourquoi P.E. Müller n'est pas considéré comme le fondateur, à la fois, de la pédologie (au sens pédogénétique) et de la pédobiologie ?

Pour la Pédobiologie, on pourrait dire que P.E. Müller n'aura pas eu de chance par suite de la publication par Darwin de sa communication en 1837 sur « Le rôle des vers de terre dans la formation de la terre végétale ». Mais entre-temps, et avant la publication du livre de Darwin en 1881, Müller avait fait un travail exceptionnel sur le rôle de la faune dans la pédogenèse, travail non connu de Darwin, et largement supérieur à ce titre (la pédogenèse) aux quelques données de Darwin. Malheureusement le Mémoire de 1884 de Müller ne sera traduit en Europe qu'en 1887 en allemand et en 1889 en français. La célébrité de Darwin concernant les vers de terre portera ombrage à une célébrité précurseur de Müller sur le sujet. Müller fait d'ailleurs un long chapitre à ce sujet dans la Partie II de 1884, et, entre les lignes on peut sentir un peu de sa frustration à ce sujet.

Pour la Pédologie, Müller n'a pas eu la stratégie de Dokuchaev et de ses élèves pour faire connaître ses travaux au niveau international. Par ailleurs, chez Dokuchaev, il y a, en plus, toute la partie géographie des sols avec des cartes. Dans ce sens Müller n'est

pas au niveau de Dokuchaev, mais, par contre, dans l'étude extrêmement élaborée des processus de pédogenèse, Müller lui est probablement supérieur.

Régulièrement, des articles historiques et biographiques sont publiés pour proposer qu'à côté de Dokuchaev, d'autres savants soient considérés comme son égal devant l'histoire en tant que fondateurs de la pédologie. Albert Fallou (1862) est un de ceux-là, et une discussion a eu lieu récemment à ce sujet entre Asio (2005) et Johnson *et al.* (2005) à propos de commentaires sur l'article historique de Tandarich *et al.* (2002) - Il en est de même, ici, pour P.E. Müller, dont les travaux si considérables et modernes nous conduisent à écrire, en conclusion, que le forestier Peter Erasmus Müller (Danemark) est probablement le plus important précurseur, voire co-fondateur avec Dokuchaev (Russie), de la création de la pédologie, à côté d'autres noms illustres tels que Darwin en Angleterre), Fallou en Allemagne et Hilgard aux USA.

La partie 2 de cet article (Jabiol *et al.*, ce numéro spécial) analysera les travaux sur la typologie et la classification des humus, avant et après Müller, jusqu'à nos jours.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement le Dr B.T. Christensen du « Danish Institute of Agricultural Sciences » (Tjele, Danemark), pour son aide dans la recherche de documents biographiques sur P.E. Müller, ainsi que le Dr J.P. Tandarich et le Dr D.L. Johnson pour leur aide dans la documentation sur Dokuchaev.

BIBLIOGRAPHIE

- Asio V.B., 2005 - Comments on "Historical development of soil and weathering profile concepts from Europe to the United States of America". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, pp. 571-572.
- Boulaine J., Feller C., 1985 - L. Grandeau (1834-1911) professeur à l'École Forestière. *Revue Forestière Française* 37 (6), pp. 449-455.
- Darwin C., 1837 - On the formation of mould. *Transactions Geological Society of London*. Vol. 5, 505.
- Darwin Ch., 1838 - On the formation of mould. *Proceedings of the Geological Society of London* 2, pp. 574-576.
- Darwin Ch., 1881 - The formation of vegetable mould through the action of worms with some observations on their habits. John Murray, London, 298 p.
- Dokuchaev V.V., 1883. Russian Chernozem. In *Selected Works of V.V. Dokuchaev*, vol. 1, pp. 14-419. Moscow, 1948. Israel Program for Scientific Translations Ltd. (for USDA-NSF), S. Monson, Jerusalem, 1967. (Translated from Russian into English by N. Kander).
- Engelstoft P., S. Dahl., 1939 - Dansk Bibliografisk Leksikon, Bind XVI, pp. 273-296.
- Fallou F.A., 1862 - *Pedologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde*. (En allemand) - G. Schönfeld's Buchhandlung, Dresden. (Cité par Asio, 2005).
- Feller C., Brown G.G., Blanchart E., 2000 - Darwin et le biofonctionnement du sol. *Étude et Gestion des Sols* 7, pp. 395-402.
- Feller C., Brown G.G., Blanchart E., Deleporte P., Chernyanski S.S., 2003 - Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lessons from past to future. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99, pp. 29-49.
- Jenny H., 1941 - *Factors of soil formation*. Mac Graw Hill, New York USA, 281 p.
- Johnson D.L., Tandarich J.P., Follmer L.R., 2005 - Response to "Comments on 'Historical development of soil and weathering profile concepts from Europe to the United States of America'". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, pp. 572-584.
- Müller P.E., 1879 - Studier over Skovjord, som Bidrag til Skovdyrknings Teori. Om Bøgemuld og Bøgemor paa Sand og Ler. *Tidsskrift for Skovbrug*, 3, pp. 1-124.
- Müller P.E., 1887 - Studien über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden. Berlin.
- Müller P.E., 1884 - Studier over Skovjord, som Bidrag til Skovdyrknings Teori. Om Muld og Mor i Egeskove og paa Heder. *Tidsskrift for Skovbrug*, 7, pp. 1-232.
- Müller P.E., 1889 - Recherches sur les formes naturelles de l'humus et leur influence sur la végétation et le sol. Berger-Levrault et Cie, Paris-Nancy, 351 p.
- Petersen L., 1991. Pedological Research in Denmark. In "Soil Research in Denmark", pp. 9-48, J.P. Møberg & H. Breuning Madsen, *Folia Geographica Danica*, Tom. 29, C.A. Reitzels Forlag, Rosendahls Bogtrykkeri, Esbjerg, København, Denmark.
- Tandarich J.P., Darmody R.G., Follmer L.R., Johnson D.L., 2002 c Historical development of soil and weathering profile concepts from Europe to the United States of America. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, pp. 335-346.
- Waksman S.A., 1936 - Humus. Origin, chemical composition and importance in nature. Baillière, Tindall and Cox, London, 494 p.
- Wesenberg-Lund C., 1927 - Peter Erasmus Müller, *Bulletin de L'Académie Royale des Sciences et des Lettres du Danemark*, Copenhagen.

Planche 1 - Académie des Sciences du Danemark. Voir P.E. Müller en position 33, entre les deux derniers chandeliers. A. Tableau. B. Schéma explicatif. (Source : Asker Lomholt 1954)

Planche1 - Vssss

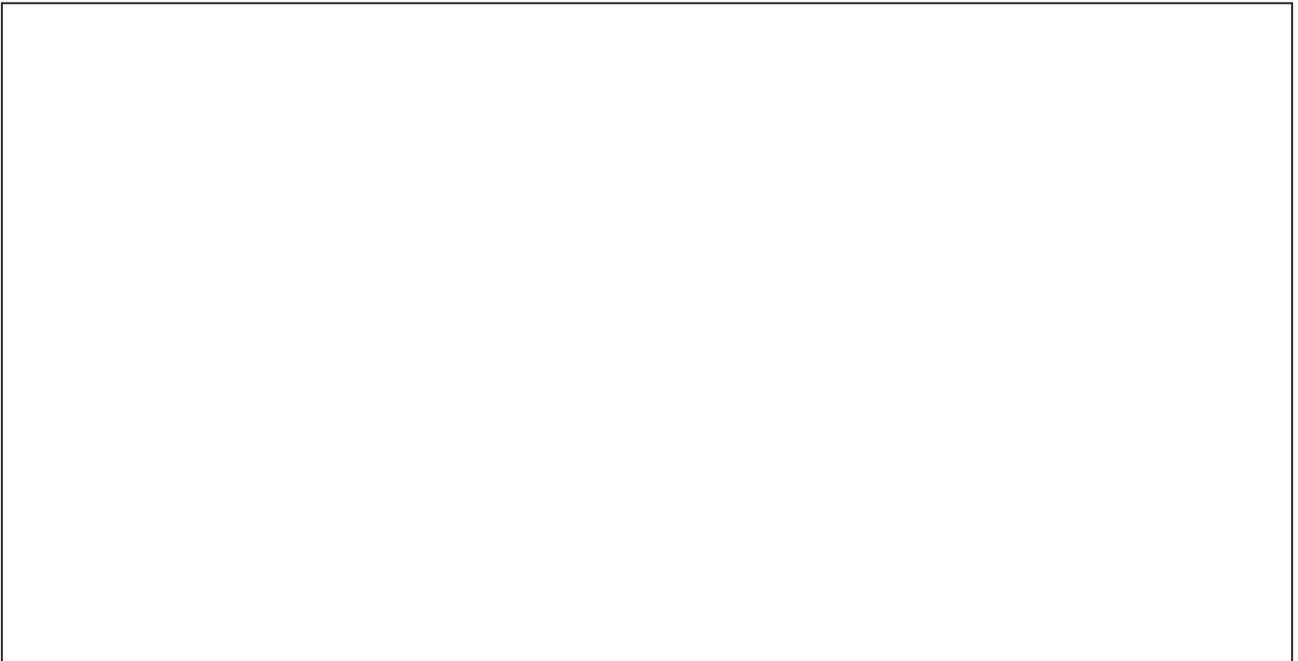


Planche 2 - Portrait de P.E. Müller. A. : Image agrandie à partir du Schéma explicatif - B. : Etude préparatoire, tirée de l'ouvrage de Asker Lomholt (1954) qui concerne l'histoire du tableau de la Planche 1

Figure 2 - Vssss



