

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

2. Avant et après P.E. Müller : évolution des conceptions sur la description et la typologie « des humus »

B. Jabiol⁽¹⁾, Ch. Feller⁽²⁾ et M. H. Grève⁽³⁾

- (1) UMR ENGREF-INRA « Ressources Forêt-Bois », Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, 14 rue Girardet, CS 4216, 54042 Nancy Cedex.
- (2) UR179 SeqBio, IRD, Laboratoire MOST, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France.
- (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

Avant P.E. Müller la notion d'humus « couche de sol » ne fait qu'émerger. Et même si Müller la précise, quasiment même jusqu'à parler d'une succession de couches, et malgré la formalisation et l'interprétation biologique de ces principales couches (L, F, H) par Hesselman en 1926, la première moitié du xx^e siècle ne verra guère émerger de typologie claire des formes d'humus au-delà de ce qu'avaient décrit ces précurseurs. Il faudra attendre Kubiena (1953) pour voir établies les bases solides d'une typologie plus complète. Ses travaux sous-tendront ensuite les investigations plus fouillées des équipes, principalement européennes ou canadiennes, qui se sont attachées et s'attachent à caractériser, tant biologiquement que morphologiquement, les formes d'humus, dans la voie tracée par Müller. Le diagnostic et la caractérisation des écosystèmes à l'aide des formes d'humus est un enjeu dont l'actualité dépasse actuellement le simple diagnostic des potentialités forestières, et s'inscrit dans le besoin d'une prédiction de l'évolution de ces écosystèmes. Des typologies harmonisées sont des outils indispensables à ces travaux.

Mots clés

Forme d'humus, histoire, horizon organique, classification

SUMMARY

DESCRIPTION AND CLASSIFICATION OF HUMUS FORM BEFORE AND AFTER MÜLLER

Before Müller (1879), literature about the classification of humus was poor, and the difference between the concepts of "humus-organic matter" and "humus-horizon(s)" was not clear. Hundeshagen (1830) was certainly the first scientist to propose a morphological classification of forest humus forms.

After Müller, and before 1950, literature offered numerous studies on the biological decomposition of litters and even on the classification of forest humus. For example, in 1926, Hesselmann proposed a definition of L, F and H horizons. However Müller's descriptions and his definition of the two main humus forms (mull and mor) remained the basis of all works, since some national systems did not use another classification than these two forms. At last, at the end of this period, all works led to a great confusion in terminology, without any harmo-

nization of classification or any clear definition of the concept of « humus form ». Kubierna proposed an important synthesis and a complete proposition of classification in 1953 : humus forms were clearly defined as a succession of organic and organo-mineral horizons! This concept was at the core of many following studies carried out in different countries, such as Belgium (Manil, 1959, Delecour, 1980) or Canada (Bernier 1968), which will also considered humus forms as an essential step in the comprehension of ecosystems functioning. These authors proposed a very complete classification, whose modern conceptions remained therefore in the spirit of Müller's teaching! Moder was defined as a specific humus form, with a characteristic activity of soil fauna, and not as a transitional form. The more and more precise definition of diagnostic horizons took a great place in their classifications, where « types » were defined from the succession of these horizons. During the last 20 years, studies have been led by French (Brêthes et al., 1992) and Canadian (Green et al., 1993) teams which each proposed a new classification of humus forms based on morphological features and on the functional role of biological activities, while following an approach similar to that initiated by Müller. However, these classifications do not cover all climatic conditions, and thus do not fit to each country. Today, studies on humus forms dynamics appear to be of great important to understand and predict the dynamics of ecosystems under human activities. In this purpose, a harmonized classification is really needed. Some international European consensus are just beginning to be accepted nowadays (Jabiol et al., 2004).

Key-words

Humus form, organic horizon, history, classification

RESUMEN

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

2. Antes y después de P.E. Muller : evolución de las concepciones sobre la descripción y la tipología “de los humuses”

Anteriormente a P.E. Muller la noción de humus “capa de suelo” casi no aparece. Y mismo si Muller la precisa, casi hablando de una sucesión de capas, y a pesar de la formalización y la interpretación biológica de sus principales capas (L, F, H) por Hesselman en 1926, la primera mitad del siglo veinte apenas verá surgir tipología clara de las formas de humus más allá de lo que estos precursores habían descrito. Se necesita esperar Kubierna (1953) para ver establecer las bases sólidas de una tipología más completa. Sus trabajos basaron después las investigaciones más precisas de equipos europeos o canadienses, quien se ataron o se atan para caracterizar, tanto biológicamente como morfológicamente, las formas de humus, en las vías trazadas por Muller. El diagnostico y la caracterización de los ecosistemas con ayuda de las formas de humus es una puesta cuyo la actualidad rebasa actualmente el simple diagnostico de las potencialidades forestales, y se inscriba en la necesidad de una predicción de la evolución de estos ecosistemas. Tipologías armonizadas están herramienta indispensable por estos trabajos.

Palabras clave

Forma de humus, historia, horizonte orgánico, clasificación.

Dans la première partie de cet article, nous avons vu en quoi l'œuvre de P.E. Müller sur les processus pédogénétiques de brunification, lessivage et podzolisation est exceptionnelle, et comment elle est basée sur une approche morphologique et fonctionnelle des différentes formes d'humus.

Dans cette deuxième partie, nous rappellerons les quelques travaux sur les humus publiés avant Müller, mais nous insisterons surtout sur l'évolution des conceptions relatives à l'observation et l'individualisation de ce compartiment du sol et l'évolution des typologies des humus depuis Müller jusqu'à nos jours.

L'« HUMUS » AVANT P.E. MÜLLER (1880 ENVIRON) : LA PRÉHISTOIRE

Jusqu'au XVIII^e siècle, les deux concepts d'humus-constituant et d'humus-horizon n'étaient pas clairement distingués (Feller & Boulaine, 1987). C'est la classification minéralogique de Wallerius (1753) qui renferme probablement la première classification des « humus », où il mélange les notions de constituants, avec différentes sortes de terre, les *humus extra, rubra, umbra, palustris, animalis* etc.), et d'horizon... « Elles (les terres franches, humus) servent d'enveloppe à notre globe dont elles couvrent la surface... l'épaisseur de la terre noire des jardins n'a pas plus d'un demi-pied ».

De 1753 à 1830, ce concept d'humus-horizon a été peu développé, si ce n'est la prise en compte des terreaux, des terres franches, des tourbes etc. dans diverses classifications de terres (par exemple Anonyme 1765, Duhamel du Monceau 1773) toutes plus ou moins inspirées de Liger (1721). Il faut citer aussi le danois Erik Pontoppidan (Bunting, 1997) qui développe dans son atlas du Danemark (1763-81), le concept de « muld », dans le double sens de constituant et d'horizon. A signaler aussi, la première publication de Darwin en 1837 sur la formation de la terre végétale (« vegetable mould ») par les vers de terre.

Mais c'est Hundeshagen (1830) qui, selon Wilde (1971), fut le premier à proposer une classification morphologique des humus forestiers. Il distingue deux types d'humus avec des effets différents sur la sylviculture. Puis Emeis (1875) reconnaît trois types d'humus, dont l'un est formé de matières organiques bien décomposées et incorporées au sol minéral (le mull actuel), et un autre de débris organiques bruts et grossiers. A la même époque, Ebermeyer (1876) fait une étude détaillée des humus des forêts de Bavière. Les principaux résultats (rapportés par Grandeau, 1878), concernent la composition des feuilles (étude de leur brunissement avant la chute), leur renouvellement, les propriétés physiques et chimiques des litières. Une classification des humus forestiers est proposée en : humus « fertile », « humus poudreux ou charbonneux », humus « acide », humus « astringent ».

C'est à cette époque que se situe l'œuvre exceptionnelle de P.E. Müller exposée précédemment.

LE BOUILLONNEMENT CHAOTIQUE DE LA PREMIÈRE MOITIÉ DU XX^e siècle

Les travaux de Müller, puis le développement de la Pédologie comme science indépendante grâce aux travaux de Dokuchaev sur le « Chernozem russe » (1883), vont conduire à une multiplication des études sur la typologie des horizons de sols, et, en particulier, des horizons organiques.

Aux trois types d'humus décrits par Müller, les *Mull, Mor* et *Mullartiger Torf* (équivalent de Moder), Ramann (1893) ajoute l'« humus grossier » (*Rohhumus*) proche, en fait, du *Mullartiger Torf* (Wilde, 1971) et donc équivalent de l'appellation actuelle de Moder (selon Kubiena, 1953). Signalons toutefois que, d'après Waksman (1936), le terme « Moder » avait été déjà utilisé par Hermann en 1841 et 1842, pour désigner un matériau complexe de débris végétaux plus ou moins décomposés.

Henry (1908), dans son ouvrage sur « Les sols forestiers », développe aussi largement en France les aspects biologiques de la décomposition des litières (par la faune et la microflore) et leur incorporation aux horizons sous-jacents, et propose une classification en trois groupes : l'humus doux ou terreau neutre, les humus brut imparfaits (des steppes, de forêt, de bruyère), les humus tourbeux (infra-aquatique et supra-aquatique). D'après Duchaufour (1956), les termes mull et mor ont été adoptés en France au Congrès de l'Union des Stations de Recherche forestière en 1932. Dans la deuxième édition de son ouvrage, Demolon (1938) ne va pas au-delà, et dans les définitions qu'il donne (d'après III^e Congr. Intern. Sc. du sol, Oxford 1935) le « type d'humus » apparaît comme un matériau issu de la décomposition de la matière organique plus ou moins mélangée de matière minérale : mull = terreau forestier, mor = humus des forêts résineuses et de bruyères. Il n'est pas sûr qu'on ait ici beaucoup progressé !

Mais à la suite des travaux de Ramann, de nombreuses classifications d'humus aux terminologies confuses ont été proposées dans les premières décennies du XX^e siècle. Selon Wilde (1971), presque chaque expression a deux ou plusieurs significations à l'échelle internationale et la même forme d'humus est citée sous des noms différents. Ainsi mull et mor sont utilisés aussi bien pour désigner des formes de la matière organique (incorporée ou libre) ou des « matériaux », comme on l'a vu ci-dessus, que pour des horizons de sols, voire des successions d'horizons ; selon Waksman, 1936 (cité par Wilde, 1954), la terminologie existante sur l'humus peut se résumer en un seul mot : le « chaos » ! Cet état de fait est sans doute le lot des sciences naissantes puisque Du Rietz écrit en 1930 « la confusion qui existe dans la terminologie des unités de végétation est bien connue de tous les écologistes » (in Ponomarenko & Alvo, 2001)

LA CRISTALLISATION : LES « FORMES D'HUMUS » SONT DES SUCCESSIONS D'HORIZONS DIAGNOSTICS

Kubiena (1953), dans un ouvrage publié en trois langues (anglais, allemand, espagnol), met le doigt sur le problème, devant un tel chaos, d'uniformiser une nomenclature aussi bien des sols que des formes d'humus, avant de proposer lui-même un nouveau système, basé sur une importante revue de l'existant et sur l'utilisation, dit-il, du principe linnéen de classification.

Sa proposition clarifie quelques notions qui restent à la base des classifications actuelles : il définit les « formes d'humus » comme des voies particulières de formation et d'évolution de l'humus du sol. Ces formes d'humus sont caractérisées aussi bien par des paramètres physico-chimiques que par une **succession donnée d'« horizons d'humus »**. Il commence donc par définir ce que l'on appellerait maintenant des « horizons diagnostiques », sur la base des travaux d'Hesselman (1926). Dans la définition de ces horizons et des formes d'humus, l'observation microscopique des débris et des traces d'activité animales prend une grande place. C'est ainsi qu'il redéfinit les horizons Aoo (équivalent, pour un horizon organique, à ce que serait un horizon C minéral) et Ao, ou L (= Aoo, résidus non décomposés), F (couche de « fermentation », avec un début de fragmentation, décomposition et humification) et H (couche à fortes décomposition et humification, avec peu de résidus reconnaissables).

Les bases des classifications modernes sont jetées et la distinction entre humus et forme d'humus est claire, même si la langue française gardera toute l'ambiguïté jusqu'à ces dernières années¹, ainsi même que la langue américaine avec les expressions *forest floor*, *duff* ou *litter* employées au sens de humus form (d'après Green *et al.*, 1993). La description des « formes d'humus » correspond ainsi de plus en plus à la description d'une succession d'horizons et non d'un matériau ou d'un seul horizon. Même si cela était au moins partiellement le cas pour Müller, qui inclut par exemple dans sa définition du terreau le « dépôt de débris des forêts », c'est-à-dire les horizons OL, ça ne l'était plus forcément pour d'autres auteurs, y compris jusque dans les dernières décennies, puisque, par exemple, ont pu être décrites des successions de mor sur des mull (successions d'horizons OH sur des horizons A grumeleux).

Sur ces bases, Kubiena identifie 17 formes d'humus, classées en trois groupes selon l'importance des conditions d'engorgement :

- « *Unterwasser-humusformen* », sub-divisés en « *Unterwasser-Rohbodenhumus*, *Dy*, *Gyttja*, *Sapropel*, *Flachmoortorf* »,
- « *Semiterrestrische-humusformen* », sub-divisés en « *Zwischenmoortorf*, *Hochmoortorf*, *Anmoor* »,
- « *Terrestrische-humusformen* », sub-divisés en « *Rohbodenhumus*

¹ Ce n'est que lors de la parution du *Référentiel Pédologique* qu'il fut conseillé d'utiliser l'expression « forme d'humus », largement employée dans le monde (humus form) pour désigner « l'épisolum humifère ».

(*Syrosemhumus*), *Rohhumus*, *Tangelhumus*, *Moder* (*Silikatmoder*), *Mullartiger moder*, *Rendsinamoder*, *Mullartiger rendsinamoder*, *Mull* ».

Pour Kubiena, l'activité biologique du sol et la caractérisation des formes d'humus constituent des critères majeurs de classification des sols. C'est pour cette raison, qu'il utilise les mêmes critères dans la classification des sols et des formes d'humus, avec des distinctions entre les sols subhydriques, les sols semi-terrestres et les sols terrestres.

Mais même si les propositions de Kubiena ont servi de base à beaucoup des nombreuses classifications apparues dans la seconde moitié du siècle, il est difficile de dire pourquoi elles n'ont pu s'imposer comme système « universel ». L'heure n'était sans doute pas à la normalisation.

Aux USA, Wilde (1954, 1971) base sa classification des formes d'humus en prenant en compte la position de l'horizon humifère par rapport aux horizons minéraux et sa pigmentation. Ceci conduit à la distinction d'horizons majeurs en « ecto- » ou « endo-organiques » : holorganiques (ecto), amphimorphiques (ou ectendorganiques), mélanisées (endo) et crypto-organiques (endo). Les subdivisions des horizons d'humus s'appuient sur des données morphologiques, l'importance des facteurs biotiques et des critères stationnels. En référence aux concepts de Müller, les terminaisons « l » (mull) et « r » (mor) sont choisies pour caractériser respectivement les horizons endo- et ecto-organiques. L'addition de la lettre « m » signale un horizon mélanisé. Quelques exemples : *Vermio*l = earthworm mull, *Rhizo*l = root mull, *Lentar* = matted lignomycelial mor, etc.

Duchaufour (1956) base sa classification des humus selon les conditions d'aération (conditions d'aérobiose ou d'anaérobiose) et l'acidité du milieu. Ceci conduit aux « types d'humus » suivant : mull calcique, mull forestier (= « humus doux »), moder et mor, et d'autre part les anmoor et les tourbes « mésotrophiques » ou « oligotrophiques ». Ces types d'humus sont décrits

- par les caractères de leurs horizons Ao et A1, définis cependant très succinctement, Ao comme « horizon organique ») et A1 comme « horizon mixte » ;

- par la structure de ces horizons, leur pH, C/N et activité biologique.

L'approche est finalement beaucoup plus simple que celle de Kubiena.

Hartmann (1944, 1951, 1970) développe un système de classification très élaboré, utilisé en Autriche et Italie jusqu'à ces dernières années, qui distingue (d'après l'édition italienne de 1970) les formes d'humus suivantes, très liées aux types d'activités biologiques :

I. Humus terrestre

A. Humus aérobie

1. Humus zoogène
 - Humus des lombriciens
 - Humus des arthropodes
 - Humus « gémellaire » zoogène (mélange des humus de lombriciens et d'arthropodes)
2. Humus zoogène avec mycélium
 - Type xéromorphe
 - Type hydromorphe
3. Humus mycogène

B. Humus anaérobie

1. Humus de marais noir (humus putride onctueux carbonisé)
2. Humus putride mélangé de marais noir et de marais rouge (humus putride fibro-carbonisé)
3. Humus putride mélangé de marais rouge (humus putride rouge-brun)

C. Humus forestier abiotique (humus de sphaigne)

II. Humus subaquatique et semi-terrestre (Gyttia, Anmoor)

L'HUMUS AU CENTRE DU FONCTIONNEMENT DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS

La classification CPCS, en 1967, ne dépasse pas la précision de Kubiena dans la définition des horizons holorganiques (Aoo et Ao) et n'aborde pas la classification des formes d'humus. Pourtant, à la même époque, belges et canadiens vont beaucoup plus loin. Les auteurs belges (Manil, 1959, Manil *et al.* 1963) s'inspirent d'Hartmann pour définir, parmi les humus aérobies, mull (humus de vers), moder (humus « d'insectes ») et mor (humus mycogène) et leurs sous-types. De plus, ces types d'humus vont correspondre au niveau supérieur de la classification des sols forestiers qu'ils proposent, sur l'argument que « l'humus forestier... se manifeste comme la caractéristique la plus expressive... de l'ensemble des propriétés du milieu tout entier, y compris le sol ». Les cinq groupes de sols non hydromorphes sont :

- les sols à mull calcaire
- les sols à mull doux
- les sols bruns à mull acide
- les sols à moder
- les sols à mor

« Le système tend à catégoriser des propriétés fonctionnelles, beaucoup plus que des aspects pédogénétiques » (Manil, 1959)

Au Canada, Bernier (1968), dans le cadre de la Commission canadienne de la pédologie, considérant, à la suite de Müller, que les « types d'humus » sont des unités naturelles biologiquement actives, met en exergue leur importance dans la genèse des sols et la qualité des sols forestiers. Il propose une classification morphologique très claire, à partir de la définition de trois horizons diagnostiques et du degré d'incorporation d'humus fin au sol minéral : un horizon F et deux horizons H permettent de caractériser les trois formes principales mull, moder et mor et leurs très nombreux sous-types. La juxtaposition matière organique - matière minérale est bien signalée pour les moders, à travers l'horizon diagnostique Hi (que l'on appellerait A de juxtaposition actuellement). Le mor est, par contre, caractérisé par l'absence de mélange matière minérale - matière organique. Enfin, la taille et la netteté de la structure des horizons A est prise en compte dans la différence entre trois sous-types de mulls. De très nombreuses correspondances sont faites avec les appellations antérieures.

Le moder est donc à cette époque clairement défini, biologiquement et morphologiquement, et l'on retrouve dans sa définition les observations de Müller, reprises par Hartmann ! Non seulement le moder n'est plus oublié comme pour beaucoup d'auteurs de la période antérieure (d'après Ponge *et al.*, 2000), mais il n'est plus une simple « transition entre le mull et le mor » comme il l'était encore par exemple pour Duchaufour en 1956.

Dans la classification américaine (Soil Survey Staff, 1975), les différents types d'humus sont pris en considération pour la définition des « matériaux organiques » et des « épipédons ».

L'APRÈS 68 : LA PRÉCISION SANS CESSER CROISSANTE DES NOTIONS ET LA PRISE EN COMPTE DE LA DYNAMIQUE

De manière générale, on peut estimer que les trois principales formes d'humus sont maintenant relativement bien établies et souvent prises en compte dans les systèmes de classification des sols. Mais de nouvelles étapes sont franchies dans la précision de la description, du fonctionnement biologique et de la définition des horizons organiques et donc des formes d'humus, comme par exemple avec le système du Belge Delecour (Delecour & Kindermans, 1977 ; Delecour, 1980). Ce système fait apparaître des subdivisions basées essentiellement sur des critères morphologiques et des tests de terrain (pH, effervescence). Cette classification se veut avant tout descriptive plutôt « qu'explicative » ou fonctionnelle. Mais la définition des horizons diagnostiques, très fouillée, est basée sur de nombreux travaux anciens (Hesselman, 1926, Kubiena, 1953) mais aussi plus récents (Zachariae, 1965 ; Babel, 1971), qui mettent de mieux en mieux en évidence les relations entre morphologie, micromorphologie (à travers l'étude de lames minces) et activités animales. Ainsi, de nombreux horizons et sous-horizons sont définis :

- horizons holorganiques non tourbeux (O) : Ol, Of, Oh (équivalents des anciens L, F, H) et avec maintenant leurs subdivisions. L'horizon Of n'est plus un simple horizon de « fragmentation » et encore moins de « fermentation », c'est le lieu de consommation active des litières par la faune, où se rencontrent donc en mélange boulettes fécales et fragments résiduels.

- horizons holorganiques tourbeux (H) : Hl, Hf, Hh (fibrist, hémist, saprist).

- horizons hémiorganiques Ah : Ah1, Ah2 et OAh (transition O-Ah).

L'échelle de Von Post (1924) est utilisée pour quantifier l'état de décomposition des débris végétaux des horizons tourbeux.

En définitive, ce sont 37 « formes » d'humus qui sont considérées en fonction des horizons diagnostiques présents. La classe distingue les humus « submergés » ou « émergés ». Les humus « émergés » sont « semi-terrestres » (anmoor, tourbe) ou « terrestres » (forestiers et herbacés) avec les subdivisions, au niveau de la famille, en : Mor, Moder, Mull, Anmoor, tourbes, vases, etc.

Malgré sa clarté et son caractère pratique, ses fondements scientifiques et biologiques, la proposition de Delecour, en langue française, ne semble pas avoir eu d'impact important en dehors des frontières belges, restant même très discrète en France où, pourtant, aucun système officiel n'existait, la classification proposée par Duchaufour en 1977 étant plus « scientifique » que « pratique », basée sur des critères biochimiques, géochimiques ou pédoclimatiques. Il semble que, en France, d'un côté les pédologues cartographes se désintéressent de l'épisolum humifère, alors que, de l'autre, les praticiens gestionnaires forestiers attendent des pédologues un outil fiable et pratique de diagnostic stationnel.

Une équipe française continue cependant, dans la lignée de Delecour et de Babel en Allemagne, à travers de nombreuses études sur les fonctionnements biologiques et leur prise en compte dans la typologie : ce sont les travaux de Toutain (1981) et ses élèves (Brun, 1978, Loustau, 1984...). Ces travaux conduisent, en 1992, à une proposition faite par un groupe de travail regroupant pédologues, biologistes du sol et praticiens forestiers (Brêthes *et al.*, 1992, 1995), dont l'impact a été beaucoup plus important, y compris à l'étranger, à la fois parce qu'elle a été lancée dans le cadre du Référentiel pédologique (Baize et Girard 1995) et ainsi « officialisée » en France, et parce qu'elle était construite pour répondre aux besoins pratiques de plus en plus pressants des gestionnaires des milieux naturels. Cette proposition, que l'on pourrait qualifier de « morphofonctionnelle », est très inspirée des travaux de Babel, Delecour, Toutain. Elle est construite dans l'esprit du Référentiel autour des trois principales formes aérées mull, moder et mor et leurs subdivisions, définies par la succession d'horizons diagnostiques. Parmi ceux-ci, l'horizon A prend le pas sur les horizons O, à la différence de bon nombre d'autres classifications, ce qui représente la principale différence de fond avec la classification de Delecour. Par l'adjonction de qualificatifs, elle permet de prendre en compte les

caractéristiques chimiques ou biochimiques des formes d'humus : le système est peu hiérarchisé.

Pendant la même période, une seule autre équipe présente une proposition de classification d'impact international réel, c'est celle des Canadiens de Colombie britannique (Klinka *et al.*, 1981 ; Green *et al.*, 1993). Ses grands fondements sont compatibles avec les conceptions développées en France : les trois formes d'humus principales mull, moder et mor sont caractérisées par des successions d'horizons diagnostiques, mais certains d'entre eux sont difficiles à concilier avec ceux rencontrés en Europe. Cette classification très hiérarchique décrit 3 types de mulls, 6 moders et 7 mors au niveau du groupe. Elle est complétée et a été suivie par plusieurs études de relations forme d'humus / caractéristiques chimiques / végétation. Nous verrons que les deux classifications, française et canadienne, se complètent en fait.

Depuis, l'orientation principale des équipes s'est faite, en France comme à l'étranger, à travers la prise en compte des variabilités spatiales et temporelles des formes d'humus (Ponge *et al.*, 1998). Dans ce cadre, on peut, pour les travaux français, citer par exemple les thèmes suivants :

- liens entre variabilité spatiale des formes d'humus et essences (Beniamino *et al.*, 1991), (Jabiol *et al.*, 2000a), (Peltier *et al.*, 2001), (Aubert *et al.*, 2004) etc.,
- forme d'humus et cycles sylvogénétiques (Bernier et Ponge 1994), etc.,
- formes d'humus et enrichissement des terres délaissées par l'agriculture (Brun *et al.*, 1993),
- forme d'humus et amendements (Jabiol, 1997),
- etc.

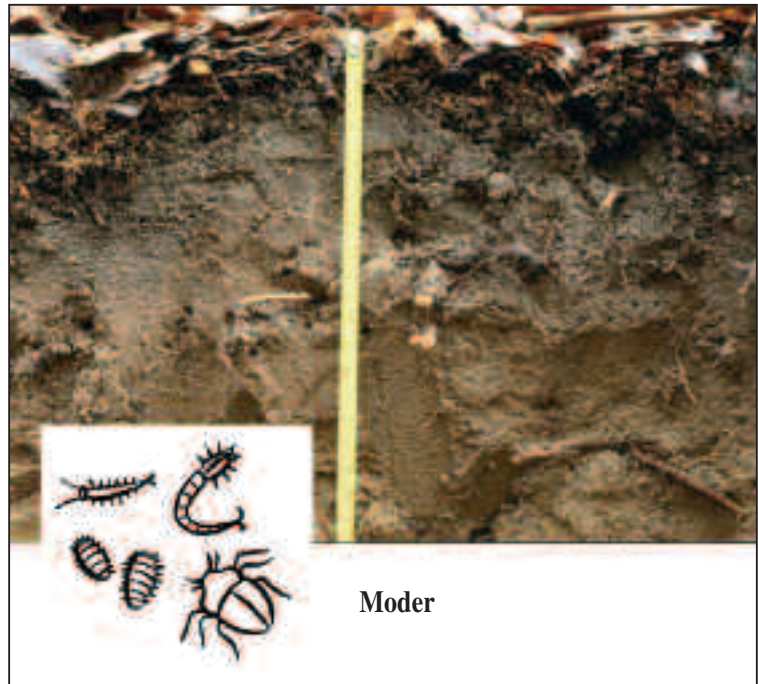
Depuis 10 ans, les besoins de prendre en compte « l'épisolum humifère » ne cessent de croître, en particulier dans les aménagements ou la protection des milieux naturels, dans l'étude des équilibres globaux et du cycle du carbone ou des cycles biogéochimiques. C'est ainsi, qu'en dehors du Canada et de la France, ont fleuri les études sur ce compartiment, avec souvent un besoin d'outil typologique, une fréquente comparaison des classifications récentes, française et canadienne (Calabrese *et al.*, 1996), (Katzensteiner *et al.*, 2000), (Baritz 2003), et souvent l'apparition de nouvelles classifications comme en Europe dans les dix dernières années : Pays Bas (Van Delft 2004), Allemagne (*in* Schulze, 1996), Autriche (Nestroy *et al.*, 2000), Italie (Zanella *et al.*, 2001), par exemple.

L'HEURE DE LA MONDIALISATION : LE BESOIN D'UNE HARMONISATION INTERNATIONALE

Un bilan doit être tiré de l'épisode précédent :

- Tout d'abord, on peut dire qu'on est loin désormais du chaos cité par Waksman : les principales terminologies sont stabilisées, ou

Figure 1 - Forme d'humus et activité biologique
Figure 1 - Humus forms and biological activity



souvent claires d'une langue à l'autre : si l'on parle horizon L, OL, OI, si l'on parle de mull, moder ou mor à l'échelle du globe, on a des chances d'être approximativement compris.

- Cependant, au-delà de la variabilité compréhensible des conceptions nationales, liées à des contextes historiques ou culturels, les concepts exacts concernant les horizons ou les formes d'humus ne sont pas forcément clairement définis et identiques aux niveaux les plus hauts des classifications. L'horizon diagnostique du mor est par exemple, au Canada, un horizon OF sans trace d'activité animale qui n'est guère reconnu par les Européens. Il peut exister encore des problèmes de nomenclature, par exemple dans l'appellation « horizon H », qui est historique pour les uns, équivalent à OH pour les autres. Les limites entre formes principales coïncident rarement exactement. Les niveaux inférieurs, quant à eux, sont encore plus souvent difficilement conciliables.

- Ce reliquat de cacophonie est clairement dû au manque de coordination internationale, et au fait, qui en est une résultante, qu'aucune des classifications proposées ne peut répondre à des besoins internationaux, entraînant la construction d'autres classifications nationales qui ont, elles aussi, le même travers : en effet, et à titre d'exemple, la classification canadienne est particulièrement adaptée aux forêts boréales, détaillant, à l'inverse de la classification française, les formes mors et « oubliant » les mulls ; la seconde, qui détaille particulièrement les mulls, oublie quant à elle les formes d'humus de montagne, bien pris en compte par les

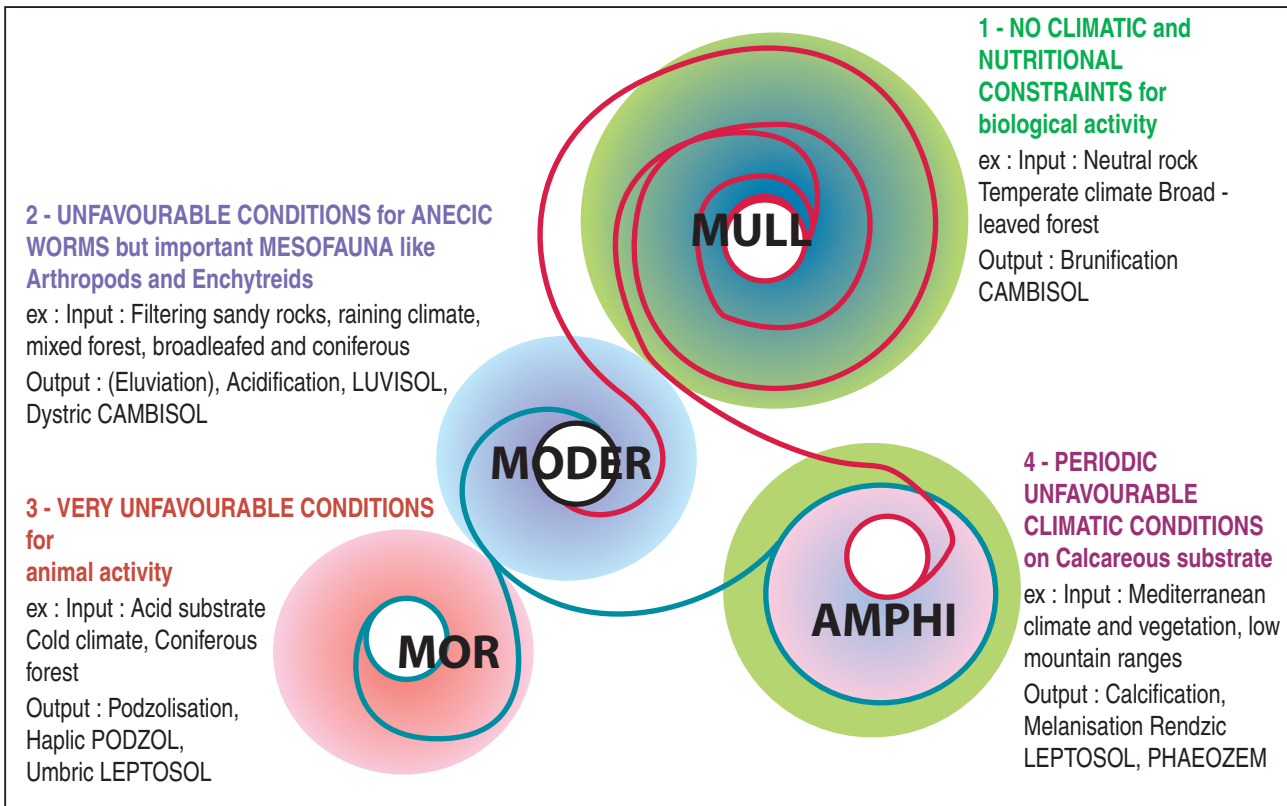
Tableau 1 - Définition de 4 formes principales d'humus en fonction de la présence d'horizons diagnostiques A et OH et de l'activité biologique - TR : transition (D'après Jabiol *et al.*, 2004)

Table 1 - Humus taxonomy : actors of biodegradation and horizons

		PREMIER NIVEAU	MULL	MODER	MOR	AMPHI
		Second niveau		TR	TR	TR
OH résultant de l'activité de	Vers épigés et/ou arthropodes et/ou enchytréides			---	-----	-----
	Absence d'activité = OHm				-----	-----
A résultant de l'activité de	Vers anéciques et endogés	-----	---			-----
	Vers épigés et/ou arthropodes et/ou enchytréides = Ajz, Aze			-----		---
	Absence d'activité biologique = Ae				-----	

Figure 2 - Exemples de sens d'évolution des formes d'humus entre 4 formes majeures stables avec les conditions de milieu («puits») D'après Jabiol *et al.*, 2004

Figure 2 - Hypothetical evolutionary lines and «wells» in a model of four forms



Autrichiens, et les formes méditerranéennes, étudiées par les Italiens (Zanella *et al.*, 2001), alors que les Néerlandais n'oublient aucun détail concernant les formes engorgées !

De cet état de fait, il résulte qu'une mise en commun et une harmonisation s'imposent. Telle est bien la démarche entamée en 2003 par les équipes françaises, italiennes et autrichiennes, qui ont rassemblé des spécialistes de huit pays européens et créé des groupes de travail, dont un premier résultat a été présenté à Eurosoil à Freiburg, en septembre 2004 (Jabiol *et al.*, 2004). Une harmonisation à l'échelle européenne semble réellement possible, au moins à des niveaux supérieurs de classification, et l'implication de l'Europe du nord entraînera inmanquablement un rapprochement avec les conceptions canadiennes.

Cette harmonisation doit intéresser autant les méthodes d'étude et de description, la définition des horizons diagnostiques et celle des différents types. Elle est basée, outre sur une volonté commune, sur des concepts similaires entre les équipes, et dont on ne sera pas surpris désormais de voir combien ils étaient déjà présents dans les conceptions de Müller :

i) les formes d'humus étant des indicateurs et le résultat d'activités biologiques particulières, la classification doit être basée sur des morphologies liées à ces activités. C'est ainsi que, pour le premier niveau, ont été associés (et là rien d'original, mais il fallait le proclamer ensemble) : mull et activité de vers anéciques, moder et activités de la mésofaune du sol (vers épigés et/ou arthropodes, vers enchytréides), mor et absence d'activité animale (*figure 1 et tableau 1*). Un quatrième type est proposé à ce niveau de classification, correspondant aux amphimulls de la classification française, c'est-à-dire à la présence de deux compartiments à activité animale différente. Ces quatre grands « types » sont considérés comme en équilibre avec les conditions de milieu lorsque celles-ci sont stables. D'autres types seront certainement définis à ce niveau, comme par exemple dans les contextes de montagne.

ii) les formes d'humus doivent être considérées comme des systèmes évolutifs dans le temps et l'espace, et toute classification doit prendre en compte ces possibilités d'évolution par les « formes intermédiaires » ; celles-ci doivent être placées non seulement dans un continuum morphologique, comme c'est fait classiquement, mais aussi dans des séquences spatiales ou des séries évolutives (*figure 2*).

Il est important de noter cependant que ces travaux systématiques concernent depuis un siècle généralement et essentiellement les milieux forestiers tempérés et froids. Curieusement, il ne semble pas y avoir eu d'approches systématiques aussi développées pour les régions intertropicales. On peut citer quelques études ponctuelles (Hardon, 1936 ; Richards, 1941 ; de Boissezon, 1962 ; de Boissezon & Gras, 1970. Selon Klinge (1966, 1968), ceci serait lié au fait que, pendant longtemps, les sols tropicaux furent considérés comme généralement pauvres en humus, que la matière organique s'y décomposait rapidement, et

donc que tous les humus devaient être plus ou moins de type « mull ». Avec les études de Perraud (1971) sur les sols tropicaux d'altitude de Côte d'Ivoire, ceux de Turenne (1977) et de Schwartz (1988) sur les podzols tropicaux, et enfin ceux de Volkoff et Cerri (1988) qui proposent une « Classification des humus du Brésil » en 4 classes : de type O (ochrique), U (umbrique), M (mollique), H (hydromorphe), la variabilité des humus tropicaux apparaît maintenant beaucoup plus étendue.

CONCLUSION

Après la vision particulièrement claire de Müller sur deux types majeurs de formes d'humus forestiers et de leur conséquences sur les sols, sur les forêts, et les écosystèmes en général, après des multitudes d'observations ultérieures dans les forêts du globe, et malgré une remarquable compréhension, parfois intuitive mais combien juste, des fonctionnements biologiques, il est surprenant de voir comment il a fallu attendre la moitié du siècle dernier pour formaliser clairement la notion de forme d'humus comme une « succession d'horizons diagnostiques dans le cadre d'activités animales données ». Le rôle d'Hesselmann (1926) et de Kubiena (1953) est majeur dans cette aventure, et tous les travaux ultérieurs leur feront référence. Les étapes suivantes, éclairées par l'apparition de techniques d'investigation nouvelles, ont été orientées vers une meilleure compréhension des processus et donc des typologies. Et l'on est persuadé maintenant qu'une bonne compréhension des processus, de leur origine et leurs conséquences, doit prendre en compte la dynamique temporelle, indispensable pour prévoir les conséquences des activités humaines sur les écosystèmes forestiers et adapter des modes de gestion durable. Et des concepts clairement définis, des typologies harmonisées sont des outils incontournables pour progresser en ce sens.

BIBLIOGRAPHIE

- Les références se terminant par le signe *, n'ont pas été lues directement par les auteurs. La plupart d'entre elles ont été empruntées à Grandeau (1879), Maillard (1913), Waksman (1936), Kononova (1961) ou Vaughan & Ord (1985).
- Anonyme, 1765 - Dictionnaire domestique portatif. Vincent impr., 3 tomes, Paris.
- Aubert M., Bureau F., Alard D., Bardat J., 2004 - Effects of tree mixture on the humic epipedon and vegetation diversity in managed beech forests (Normandy, France). *Canadian Journal of Forest Research*, 34 (1), 133-248.
- Babel U., 1971 - Gliederung und Beschreibung des Humusprofils in mitteleuropäischen Wäldern. *Geoderma* 5, pp. 297-324.*
- Baize D., Girard, M. C., 1995 - Référentiel Pédologique. 2^e édition. Paris, AFES, INRA. 332 p.
- Baritz R., 2003 - Humus forms in forests of the Northern German Lowlands. Stuttgart, *Geologisches Jahrbuch: Sonderhefte: Reihe F, Bodenkunde; H. SF 3*. 145 p.
- Beniamino F., Ponge J. F. Arpin P., 1991 - Soil acidification under the crown of oak trees: I- Spatial distribution. *Forest ecology and management*, 1991 (40),

- pp. 221-232.
- Bernier B., 1968. - Vue d'ensemble de la classification des humus forestiers. *In* Commission canadienne de la pédologie, Compte-rendu de la 7^e assemblée de la Commission canadienne de la pédologie (C.C.P.), Edmonton, Canada. 19 p.
- Bernier N., Ponge J. F., 1994 - Humus form dynamics during the sylvogenetic cycle in a mountain spruce forest. *Soil biology, biochem.*, 26, (2), pp. 183-220.
- Boissezon P. de, 1962 - Contribution à l'étude des matières organiques des sols de la République du Congo. *Rapp. mult. ORSTOM*. 54 p.
- Boissezon P. de, Gras F., 1970 - Notice explicative n° 44. Carte pédologique Sibiti-Est, République du Congo, à 1/500 000. ORSTOM, Paris, 144 p.
- Brêthes A., Brun J. J., Jabiol B., Ponge J. F., Toutain F., 1992 - Typologie des formes d'humus. *Référentiel Pédologique*. D. Baize, M.C., Girard eds., Association Française pour l'Etude du Sol. Paris, INRA, pp. 177-192.
- Brêthes A., Brun J. J., Jabiol B., Ponge J. F., Toutain F., 1995 - Classification of forest humus forms: a French proposal. *Ann. Sci. For.*, 52, pp. 535-546.
- Brun J. J., 1978 - Etude de quelques humus forestiers aérés acides de l'Est de la France. Critères analytiques, classification morphogénétique. Thèse de 3^e cycle. Université de Nancy I, 136 p.
- Brun J. J., Grossi J. L., Cluzeau D., 1993 - L'humus et la dynamique des formations ligneuse. Grenoble, CEMAGREF, 44 p.
- Bunting B.T., 1997 - Pioneer observations on soil formation and environment in Scandinavia: Erik Pontoppidan (1698-1764): His Danish Atlas of 1763 and his Natural History of Norway (1752). *In* "History in Soil Science. International Perspectives", pp. 351-364, D.H. Yaalon & S. Berkowicz eds., *Advances in GeoEcology* 29, Catena Verl., Reiskirchen, Germany, 438 p.
- Calabrese M. S., Mancabelli A., Nicolini G., Sartori G., Zanella A., 1996 - Humus forestali del Trentino / Forest humus in Trentino. Trento, Centro di Ecologia Alpina. 53 p.
- Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS), 1967 - Classification des sols. Document ronéoté, 96 p.
- Darwin C., 1837 - On the formation of mould. *Transactions Geological Society of London*. Vol. 5, 505 p.
- Delecour F., 1980 - Essai de classification pratique des humus. *Pédologie* 30 (2), pp. 225-241.
- Delecour F., Kindermans M., 1977 - Manuel de description des sols. *Service Sci. Sol, Fac. Agron. Gembloux*, 111 p. + annexes.
- Demolon A., 1938 - La dynamique du sol. 2^e édition. Paris, Dunod. 487 p.
- Dokuchaev V.V., 1883 - The Russian chernozem. St. Petersburg.*
- Duchaufour P., 1956 - Pédologie. Applications forestières et agricoles. Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy, 310 p.
- Duchaufour P., 1977 - Pédologie. 1. Pédogénèse et classification. T. 1., première édition. Paris, Masson. 477 p.
- Duhamel Du Monceau, 1763 - Elements d'agriculture. 2 tomes, Guérin et Delatour, Paris.
- Du Rietz, G.E., 1930 - Classification and nomenclature of vegetation. *Sven. Bot. Tidskr.* 24, pp. 489-503.*
- Ebermeyer E., 1876 - Die gesammte Lehre der Waldstreu mit Rücksicht auf die chemische Statik des Waldbaues, unter Zugrundlegung der in den koenigl. Staatsforsten Bayerns angestellten Untersuchungen. Berlin.*
- Emeis C., 1875 - Waldbauliche Forschungen und Betrachtungen. Berlin.*
- Feller C., Boulaine J., 1987 - La réapparition du mot humus au XVII^e siècle et sa signification agronomique. *Revue Forestière Française* 39 (6), pp. 487-495.
- Grandeau L., 1878 - La statique chimique des forêts. *In* « Annales de la Station Agronomique de l'Est. Travaux 1868-78. pp. 145-224 » Berger-Levrault Ed. Paris, 410 p.
- Grandeau L., 1879 - Chimie et physiologie appliquée à l'agriculture et à la sylviculture. 1. La nutrition de la plante. Berger-Levrault et Cie, Paris, 624 p.
- Green R. N., Trowbridge R. L., Klinka K., 1993 - Towards a taxonomic classification of humus forms. *Forest Science*, 39, (monograph 29), pp. 1-49.
- Hardon H.S., 1936 - Podsol profiles in the tropics. *Nat. Tijd. Ned. Ind.* 96, pp. 25-41.*
- Hartmann F., 1944 - Waldhumusformen, *Z. Ges. Forstwes.* Vol 70, pp. 39-70.
- Hartmann F., 1951 - Der Waldboden. Humusboden und Wurzeltypen als Standortanzeiger, Osterreichisches productivitäts Zentrum, Vienne, 152 p.
- Hartmann F., 1970 - Diagnosi degli humus forestali su basi biomorfologiche. Centro di Economia delle Venezie. Padova, Cedam, Casa Editrice DoTT, Antonio Milani, 102 p. + 47 tableaux-illustrations.
- Henry E., 1908 - Les sols forestiers. Berger-Levrault Ed. Paris-Nancy, 485 p.
- Hermann R., 1841 - Untersuchungen über den Moder. *J. prakt. Chem.* 22, pp. 65-81, and (1842) 23, pp. 375-386; 25, pp. 165-188, and, pp. 189-206.*
- Hesselmann H., 1926 - Studier över barrskogens humustäcke, dess egenskaper och beroende av skogvaarden. *Medd. Stat. Skogsförsöksanst (Stockholm)*, 22 (5), pp. 169-552.*
- Hundeshagen J.C., 1830 - Die Bodenkunde in land-und forstwirtschaft-licher Beziehung. Tübingen.*
- Jabiol B., 1997 - Etude des facteurs écologiques et sylvicoles du fonctionnement de l'écosystème hêtraie de basse altitude. Volet III: gestion durable de la fertilité. Effet à moyen terme des amendements minéraux (Forêt domaniale de Fougères). Caractérisation des modifications macromorphologiques des humus. Nancy, ENGREF centre de Nancy. 38 p.
- Jabiol B., Höltermann A., Gégout J. C., Ponge J. F., Brêthes A., 2000a - Typologie des formes d'humus peu actives. Validation par des critères macro et micromorphologiques, biologiques et chimiques. *Etude et Gestion des Sols*, 7, (2), pp. 133-154.
- Jabiol B., Nys C., Arpin P., Ponge J. F., Bernier N., Betsch J. M., Deleporte S., Forgeard F., Lebreton M., Guillet B., Disnar J. R., Toutain F., 2000b - Evolution de la diversité et du fonctionnement des humus au cours d'une révolution forestière en futaie régulière de hêtres. Site atelier de la forêt de Fougères. Rapport de synthèse. ECOFOR. 43 p.
- Jabiol B., Zanella A., Englisch M., Hager H., Katzensteiner K., De Waals R., 2004 - Towards a European Classification of Terrestrial Humus Forms. Colloque « Eurosoil », Freiburg, Albert Ludwigs Universität, 10 p.
- Katzensteiner K., Englisch M., Hager H., 2000 - Taxonomy of forest humus forms: a proposal for a european classification. unpublished, 18 p.
- Klinge H., 1966 - Verbreitung tropischer Tieflandspodsole. *Naturwiss.* 53, 442-443.
- Klinge H., 1968 - Report on tropical podsoles. *FAO, Rome*, t.IV, 88 p.
- Klinka K., Green R. N., Trowbridge R. L., Lowe L. E., 1981 - Taxonomic classification of humus forms in ecosystems of British Columbia. Victoria, Province of British Columbia, B.C. Ministry of Forests, Re. n°8. 54 p.
- Kononova M.M., 1961 - Soil organic matter, its nature, its role in soil formation and in soil fertility. 2nd Ed. Pergamon, Oxford, 505 p.
- Kubiena W.L., 1953 - Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. F. Enke Verlag, Stuttgart, 392 p.
- (Kubiena W.L., 1953 - The Soils of Europe, illustrated diagnosis and systematics. London, Thomas Murby & Co. 317 p.)
- Liger L., 1721 - La nouvelle maison rustique ou économie générale de tous les biens de campagne. 2 tomes, 3^e édition, Tome 1, Prudhomme, Paris, 782 p.
- Loustau D., 1984 - Morphologie et fonctionnement biodynamique de quelques humus hydromorphes de l'Est de la France. *Doct. Univ. Nancy-1*, 160 p.
- Maillard L.C., 1913 - Genèse des matières protéiques et des matières humiques. Masson Ed. Paris, 423 p.
- Manil G., 1959 - Aspects pédologiques du problème de la classification des sols forestiers. *Pédologie*, 9, pp. 214-226
- Manil G., Delecour F., Forget G., El Attar A., 1963 - L'humus, facteur de station dans les hêtraies acidophiles de Belgique. *Bulletin de l'Institut agrono-*

- mique et des stations de Recherche de Gembloux, 31, pp. 1-114
- Nestroy O., Danneberg O., Englisch M., Gessl H., Hager H., Kilian W., Nehlhiebel P., Pecina O., Schneider W., 2000 - Oesterreichische Bodensystematik 2000. Wien, Mitt. OEBG 60. 92p.*
- Peltier A., Ponge J. F., Jordana R., Arino A., 2001 - Humus forms in Mediterranean scrublands with aleppo pine. *Soil Science Society of America Journal*, 65, (3), pp. 884-896.
- Perraud A., 1971 - La matière organique des sols forestiers de la Côte d'Ivoire. Thèse Doct. Univ. Nancy, 134 p.
- Ponge J. F., Andre J., Zackrisso O., Bernier N., Nilsson M. C., Gallet C., 1998 - The forest regeneration puzzle. *Bioscience*, 48, (7), pp. 523-530.
- Ponge J.F., Charnet F., Allouard J.M., 2000 - Comment distinguer dysmoder et mor ? L'exemple de la forêt domaniale de Perche-Trappe (Orne). *Rev. For. Fr.*, 52, 1, pp. 23-37.
- Ramann E., 1893 - Forstliche Bodenkunde und Standortslehre. Berlin.*
- Ponomarenko S., Alvo R., 2001 - Perspectives pour l'élaboration d'une classification des communautés écologiques du Canada. Service Canadien des forêts, Ottawa. 55 p.
- Richards P.W., 1941 - Lowland tropical podsoils and their vegetation. *Nature* 148, pp. 129-131.
- R.P.F. (1990) : Référentiel Pédologique Français. 3è proposition, Avril 1990. INRA-AFES, rapp. mult., 279 p.
- Schwartz D., 1988 - Histoire d'un paysage: le Lousséké. Paléo-environnements quaternaires et podzolisation sur sables Batéké (Congo). Coll. Etudes et Thèse, ORSTOM Ed., Paris, 285 p.
- Schulze G., 1996 - Anweisung für die forstliche Standortserkundung im nordost-deutschen Tiefland. SEA, 95, (2), pp. Auflage der SEA 74.*
- Soil Survey Staff, 1975 - Soil Taxonomy. U.S. Department of Agriculture Handbook, n° 436.
- Toutain F., 1981 - Les humus forestiers. Structures et modes de fonctionnement. *Revue Forestière Française*, 33 (6), pp. 449-477.
- Turenne J.F., 1977 - Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. Mém. ORSTOM, n°84. ORSTOM Paris, 173 p.
- Van Delft B., (2004). - Humusvormen. Wageningen, Alterra. 91 p.
- Vaughan D., Ord B.G., 1985 - Soil organic matter. A perspective on its nature, extraction, turnover and role in soil fertility. In « Soil Organic Matter and Biological Activity », pp. 1-36, D. Vaughan & R.E. Malcolm Eds., M. Nijhoff and D.W. Junk Publ. Dordrecht, 469 p.
- Volkoff B., Cerri C.C., 1988 - L'humus des sols du Brésil. Nature et relations avec l'environnement. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 24 (2), pp. 83-95.
- Von Post H., 1924 - Das genetische System des organogenen Bildungen Schwedens. Mem. Nomencl. Classif. Soils, Intern. Comm. Soil Sci. Helsingfors, pp. 287-304.*
- Waksman S.A., 1936 - Humus. Origin, chemical composition and importance in nature. Baillière, Tindall and Cox, London, 494 p.
- Wallerius J.G., 1753 - Minéralogie ou description générale des substances du règne minéral.
- Wilde S.A., 1954 - Forest Humus : its genetic classification. *Proc. Wisc. Acad. of Sci., Arts and Lett.*, 43, pp. 137-163.*
- Wilde S.A., 1971 - Forest humus : its classification on a genetic basis. *Soil Sci.* 111 (1), pp. 1-12.
- Zachariae G., (1965). - Spuren tierischer Tätigkeit im Boden des Buchenwaldes. Hamburg, Paul Parey. 121 p.
- Zanella A., Tomasi M., De Siena C., Frizzera L., Jabiol B., Nicolini G., 2001 - Humus Forestali. Manuale di ecologia per il riconoscimento e l'interpretazione. Applicazione alle faggete. Trento, Centro di Ecologia Alpina. 321 p.

