

# RELATIONS SOL-VEGETATION DANS LES PINEDES A *PINUS MUGO* TURRA DU TRENTO (ITALIE)

## SOIL-VEGETATION RELATIONSHIP IN THE *PINUS MUGO* TURRA SHRUBS OF TRENTO (ITALY)

Paolo MINGHETTI<sup>1</sup>, Giacomo SARTORI<sup>2</sup> & Karine LAMBERT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Botanica ed Ecologia, Università di Camerino, via Pontoni 5, I-62032 Camerino.

<sup>2</sup> Museo Tridentino di Scienze Naturali, via Calepina 14, I-38100, Trento.

<sup>3</sup> Université Joseph Fourier, Centre de Biologie Alpine, BP 53X - GRENOBLE Cedex France

**Résumé** - Les pinèdes à *Pinus mugo* du Trentin se localisent typiquement dans l'étage subalpin, entre 1900 et 2200 m, où elles constituent la végétation climacique. On les trouve de préférence sur substrat carbonaté, mais elles peuvent aussi se rencontrer sur roches silicatées. Dans des stations rocheuses ou sur éboulis, *Pinus mugo* peut descendre à l'étage collinéen-montagnard et y constituer des communautés pionnières ou un climax stationnel.

D'un point de vue pédologique, la pinède de l'étage collinéen-montagnard (*Amelanchiero-Pinetum mugo*) se développe sur des rendzines peu humifères à humus de pH basique (*Rendosols*). Les associations de l'étage subalpin présentent en général des sols plus humifères à humus plus acides : *Rendosols humifères* pour la pinède à *Erica carnea* (*Erico-Pinetum prostratae*), *Organosols calcaires* pour la pinède à *Rhododendron hirsutum* (*Rhododendro hirsuti-Pinetum prostratae*) et *Organosols tangéliques* pour le *Sorbo chamaespili-Pinetum mugo*. L'association sur substrat silicaté (*Rhododendro ferruginei-Pinetum prostratae*) se développe typiquement sur des sols podzoliques (*Podzosols* ou *Podzosols ocriques*).

Le gradient de communauté le long de l'axe 1 d'un diagramme d'ordonnement, basé sur la composition spécifique des relevés, est interprété comme un gradient d'activité biologique. L'interprétation se base sur la variation conforme à cet axe de quelques caractères pédologiques tels que l'épaisseur des horizons organiques, le pH, le taux de matière organique, le rapport C/N, le taux de saturation.

Ce gradient s'explique par des facteurs écologiques stationnels, en particulier l'altitude, l'exposition, la géomorphologie et la nature du substrat. Les facteurs macroclimatiques n'interviennent pas dans la détermination de ce gradient.

**Mots-clés** - relations sol-végétation, pinèdes à *Pinus mugo* Turra, analyse indirecte du gradient, Trentin.

**Abstract** - The *Pinus mugo* shrubs of the Trentino region are primarily found in the subalpine belt, from 1200 to 2000 m, where they form the climatic vegetation. Normally they prefer limestone but they are to be found on silicatic rocks as well. In particular conditions, like rocky cliffs or debris, *Pinus mugo* can reach the montane-colline belt, where it forms pioneer or permanent communities.

From a pedological point of view, the montane-colline *Pinus mugo* community (*Amelanchiero-Pinetum mugo*) is characterized by rendzina soils (*Rendosols* according to Référentiel Pédologique, A.F.E.S., 1995); otherwise the communities characteristic of the subalpine belt present more humiferous and acid soils : *Rendosols humifères* in the *Pinus mugo* and *Erica carnea* community (*Erico-Pinetum prostratae*), *Organosols calcaires* in the *Pinus mugo* and *Rhododendron hirsutum* community (*Rhododendro hirsuti-Pinetum prostratae*) and *Organosols tangéliques* in the limestone *Pinus mugo* and *Rhododendron ferrugineum* community (*Sorbo chamaespili-Pinetum mugo*). The silicate *Pinus mugo* and *Rhododendron ferrugineum* community (*Rhododendro ferruginei-Pinetum prostratae*) is characterized by podzolic soils (*Podzosols* and *Podzosols ocreux*).

By means of indirect gradient analysis, the first axis of an ordination diagram is interpreted as a mineralisation efficiency gradient. This interpretation comes from the correlation with this axis of various soil characters which express the mineralisation efficiency in the organic layers of the soil. This gradient is primarily determined by microclimatic factors such as altitude, exposure, substrate nature and geomorphology. Macroclimatic factors are not significant in this case.

**Key words** - Soil-vegetation relationship, *Pinus mugo* Turra shrubs, indirect gradient analysis, Trentino region.

## INTRODUCTION

Les pinèdes à *Pinus mugo*, bien représentées dans le Trentin, se localisent typiquement dans l'étage subalpin entre 1900 et 2200 m, de préférence sur substrat carbonaté mais aussi sur roches silicatées. On peut également rencontrer ce type de pinède à l'étage collinéen-montagnard dans des stations rocailleuses ou sur éboulis.

Elles ont déjà fait l'objet d'une étude approfondie (Minghetti, 1996), mais aucune étude sur les sols n'a été réalisée. Les données pédologiques en relation avec ce type de végétation concernent d'autres régions des Alpes : les Wettersteingebirges (Zöttl, 1951, 1965) et, en ce qui concerne plus particulièrement les pinèdes à *Pinus uncinata*, le Parc National Suisse de l'Engadine (Braun-Blanquet *et al.*, 1954; Pallman & Frei, 1943) et les Alpes occidentales (Gilot & Dommergues, 1967; Bartoli, 1966; Cadel, 1981; Sandoz, 1983; Ackerman, 1989).

## BUT DE LA RECHERCHE

La recherche a pour objectif de caractériser d'un point de vue pédologique les différentes associations de *Pinus mugo* reconnues dans le Trentin. Au moyen de l'analyse indirecte du gradient (Orloci, 1978; ter Braak, 1987), on propose également d'individualiser les facteurs écologiques les plus explicatifs de la diversité des communautés végétales. On aboutit à un ordonnancement des relevés sur la base de leur composition spécifique, permettant d'interpréter d'un point de vue écologique les gradients de communauté.

SITUATION GEOGRAPHIQUE,  
LITHOLOGIE ET CLIMAT

Le Trentin (ou province de Trento) est une région montagneuse entre les Alpes rétiques et les Dolomites.

On rencontre des roches carbonatées dans la partie centrale et méridionale de la région, et des roches cristallines dans le secteur oriental et occidental. Parmi les substrats carbonatés prévalent les calcaires durs, les dolomies, et dans une moindre mesure, les calcaires marneux. Les substrats cristallins sont représentés surtout par des roches métamorphiques (schistes cristallins, paragneiss), et par des roches intrusives (granites, tonalites, granodiorites) et volcaniques (rhyolites, rhyodacites).

Situé entre les Alpes centrales et orientales, les Alpes internes et les Préalpes, le Trentin est très hétérogène du point de vue climatique. On distingue de façon générale une région préalpine aux précipitations abondantes dans la partie méridionale, et une région septentrionale plus continentale et moins pluvieuse. Sur la base de l'angle de continentalité hydrique de Gams ( $\alpha$ ) et selon le schéma proposé par Ozenda (1985), le territoire du Trentin peut être subdivisé en 3 parties : une zone préalpine au sud où  $\alpha < 40$ , une zone intermédiaire où  $40 < \alpha < 50$  et une zone intra-alpine au nord où  $\alpha > 50$  (Gafta, 1994).

## METHODOLOGIE

L'étude de la végétation se base sur 98 relevés floristiques qui excluent les pinèdes développées sur substrats tourbeux (*Sphagno-Pinetum mugo* Kästner & Flößner 1933).

Dans chaque association végétale définie, 3 profils pédologiques considérés comme représentatifs sont réalisés. La description des sols suit le protocole du Soil Survey Manual américain (1993). Les formes d'humus sont décrites selon les méthodes proposées par Green *et al.*, 1993. La nomenclature des horizons minéraux suit la Soil Taxonomy; les horizons hologéniques sont nommés à partir du Référentiel Pédologique Français (A.F.E.S., 1995). Pour la dénomination des sols, la Soil Taxonomy (1994), la classification F.A.O. (1990) et le Référentiel Pédologique Français (1995) sont utilisés.

Les analyses physico-chimiques des sols sont réalisées à partir des méthodes proposées par la Société Italienne des Sciences du Sol (1985), sauf pour l'analyse granulométrique qui suit la méthode dite "internationale" à la pipette de Robinson après destruction de la matière organique (Baize, 1988). Les cations échangeables à l'exception du potassium, et l'acidité d'échange sont déterminés au pH du sol; la solution d'extraction utilisée est le KCl (0.1N) (Rouiller *et al.* in Bonneau & Souchier, 1994). Le potassium est extrait à l'acétate d'ammonium. La capacité d'échange est déterminée avec le chlorure de barium comme extractif.

SCHEMA SYNTAXONOMIQUE  
DES ASSOCIATIONS (Minghetti, 1996)

- *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. *et al.* 1939
  - *Piceetalia* Pawlowski *et al.* 1928
    - *Rhododendro-Vaccinion* (Br.-Bl. in Br.-Bl. & Jenny 1926) Br.-Bl. 1948
      - *Rhododendro ferruginei-Pinetum prostratae* Zöttl 1951
      - *Sorbo chamaemespili-Pinetum mugo* Minghetti 1996
- *Erico-Pinetea* Horvat 1959
  - *Erico-Pinetalia* Horvat 1959
    - *Erico-Pinion mugo* Leibengut 1948
      - *Erico carnea-Pinetum prostratae* Zöttl 1951
      - *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostratae* Zöttl 1951
- *Quercu-Fagetea* Br.-Bl. & Vlieger in Vlieger 1937
  - *Prunetalia spinosae* Tüxen 1952
    - *Berberidion vulgaris* Br.-Bl. 1950
      - *Amelanchiero-Pinetum mugo* Minghetti in Pedrotti 1994

**NB** : *Pinus montana* var. *prostrata* Tubeuf est un ancien synonyme de *Pinus mugo* Turra, conservé en application du code de nomenclature phytosociologique (Barkman *et al.* 1986) lorsque il a été utilisé dans la dénomination initiale d'une association (telles celles décrites par Zöttl).

## ASSOCIATIONS VÉGÉTALES ET TYPES DE SOLS

### □ *Erico carnae-Pinetum prostratae* Zöttl 1951

Association à *Pinus mugo* et *Erica carnea*, à caractères héliophile et xérophile.

#### Synécologie et caractères floristiques

L'*Erico carnae-Pinetum prostratae* est une association caractéristique de l'étage subalpin supérieur des Alpes calcaires nord et sud orientales. Elle se développe sur les versants raides d'exposition méridionale, aussi bien sur éboulis que sur roche en place. *Erica carnea* et *Daphne striata* sont les espèces caractéristiques de l'association, auxquelles s'ajoutent de façon constante *Carex humilis*, *Rubus saxatilis*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Polygala chamaebuxus*, *Sesleria albicans* et *Calamagrostis varia*. Des éléments à caractères héliophile et thermophile comme *Epipactis atropurpurea*, *Coronilla vaginalis*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Chamaecytisus purpureus*, *Chamaecytisus hirsutus*, *Helianthemum nummularium* et *Teucrium montanum* représentent les espèces différentielles de l'association.

#### Sols et formes d'humus

Les sols, modérément profonds (50-70 cm) à peu profonds (<50 cm), ont un profil de type A-AC-C. Le squelette est fréquent à abondant dans la partie superficielle du sol, et très abondant en profondeur. La texture est limoneuse fine. Les carbonates sont très abondants et le pH est de l'ordre de 7.8 à 8.3. L'horizon A est biomacrostructuré, avec des agrégats grumeleux ou polyédriques subangulaires; il présente une légère décarbonatation par rapport aux horizons inférieurs. La teneur en matières organiques est élevée (12.3%) et le rapport C/N est de l'ordre de 15 à 16. La capacité d'échange cationique (C.E.C.) varie de 40 à 80 cmol/kg. Le drainage est bon à excessif (dessèchement rapide).

L'humus est un *dysmull* (A.F.E.S., 1995) avec un horizon OF pauvre en éléments fins (OFr) de 8-20 cm, et en dessous, un éventuel OFm peu épais. Dans l'horizon OF les racines sont abondantes et les myceliums communs à abondants.

Ces sols s'apparentent aux *Rendosols humifères* ou aux *Dolomitosols humifères* du Référentiel Pédologique Français (1995). Ils font partie des *Calcaric Phaeozem* selon la F.A.O. (1990). Selon la Soil Taxonomy (U.S.S.S.S., 1994) ils se classent dans les *Typic Rendolls* ou *Cryic Rendolls*.

Sur substrats grossiers, pauvres en éléments fins, les sols tendent à être plus profonds (>100 cm) avec un horizon A très développé. Ils se classent dans les *Pachic Cryoborolls* ou les *Pachic Haploborolls* (sols humocalcaires d'après Duchaufour, 1983).

### □ *Amelanchiero-Pinetum mugo* Minghetti in Pedrotti 1994

Association à *Pinus mugo* et *Amelanchier ovalis* submontagnarde.

#### Synécologie et caractères floristiques

L'*Amelanchiero-Pinetum mugo* possède des caractères tout à fait particuliers par rapport aux autres associations du

Trentin, car elle se développe dans l'étage collinéen-montagnard, entre 450 et 850 m. d'altitude. Mélange particulier d'espèces orophiles et d'espèces caractéristiques des forêts de feuillus et des broussailles du collinéen-montagnard, la combinaison spécifique caractéristique est constituée par *Erica carnea*, *Polygala chamaebuxus*, *Rhododendron hirsutum*, *Sesleria albicans* et *Carex humilis*, et par des espèces de la classe *Quercus-Fagetum* (*Amelanchier ovalis*, *Viburnum lantana*, *Berberis vulgaris*, *Cotoneaster nebrodensis*, *Coronilla emerus*, *Cotinus coggygria*, *Juniperus communis*, *Rhamnus saxatilis* et *Prunus spinosa*).

#### Sols et formes d'humus

Les sols de cette association, à profils A-AC-C, sont semblables à ceux décrits pour l'association précédente. Ils tendent cependant à être moins profonds et le squelette est en général très abondant dans tout le profil (éboulis ou roche dure en place). La texture encore limoneuse fine est cependant plus riche en sables et moins riche en argiles. La teneur en matières organiques dans l'horizon A est très faible et le rapport C/N est moins élevé. L'humus est un *amphimull* avec un horizon OHR de 8-15 cm.

Ces sols se réfèrent aux *Rendosols pachiques* ou aux *Dolomitosols pachiques* du Référentiel Pédologique Français (1995). Ils font partie des *Calcaric Phaeozem* selon la F.A.O. (1990), ou des *Typic Rendolls* selon la Soil Taxonomy (U.S.S.S.S., 1994).

### □ *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostratae* Zöttl 1951

Association à *Pinus mugo* et *Rhododendron hirsutum*, à caractère sciaphile.

#### Synécologie et caractères floristiques

La pinède à *Rhododendron hirsutum*, située à l'étage subalpin supérieur des Alpes calcaires nord et sud orientales, se développe typiquement sur éboulis non stabilisés d'ubac. Elle se caractérise par une faible couverture du tapis végétal et par un pourcentage élevé de roches affleurantes. Elle est conditionnée en outre par des apports continus de cailloux calcaires, originaires des parois rocheuses amont, qui freinent l'évolution des sols.

Les espèces caractéristiques sont *Rhododendron hirsutum*, *Rhododendron intermedium*, *Rhodothamnus chamaecystus* et *Arctostaphylos alpinus*, associées à *Sesleria albicans*, *Erica carnea*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea* et *Homogyne alpina*. Les espèces différentielles sont représentées par *Dryas octopetala*, *Salix reticulata*, *Salix waldsteiniana*, *Carex firma* et *Tofieldia calyculata*.

#### Sols et formes d'humus

Les sols du *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostratae* sont peu à modérément profonds (30-70 cm). Leur profil est de type A-AC-C ou (A)-C sur éboulis grossiers. Le squelette est abondant à très abondant et la texture est limoneuse fine à limoneuse. Les carbonates sont très abondants et le pH est de l'ordre de 6.8 à 8.3. L'horizon A est biomacrostructuré et présente des agrégats grumeleux ou polyédriques subangulaires. Cet horizon de couleur noire est riche en matières organiques (20-60%); le rapport C/N varie de 22 à 15. La C.E.C. est comprise entre 70 et 100 cmol/kg. Sur éboulis grossiers, les horizons organiques reposent sur un

seul horizon O/C en général décarbonaté (sol lithocalcique). Le drainage est bon ou même excessif.

L'humus est de type *dysmull* (A.F.E.S., 1995) avec un OF de 10 à 35 cm, ou *amphimull* (ou "Tangel") avec un horizon OH d'épaisseur réduite. L'horizon OF est caractérisé par la présence importante de fibres reconnaissables (OFR) et par un passage abrupt à l'horizon A. Les racines sont abondantes et le pH est neutre.

Ces sols s'apparentent aux *Organosols pierreux calcaires* ou *Organosols pierreux calciques* du Référentiel Pédologique Français (1995), aux *Calcaric Phaeozem* ou *Histic Regosol* selon la F.A.O. (1990), ou aux *Typic* (ou encore *Lithic Rendolls* de la Soil Taxonomy (U.S.S.S.S., 1994).

□ ***Sorbo chamaemespili-Pinetum mugo* Minghetti 1996**  
Association à *Pinus mugo* et *Rhododendron ferrugineum*, sur substrat calcaire.

#### Synécologie et caractères floristiques

Cette association acidophile se développe sur substrat carbonaté, sur des morphologies planes ou versants stabilisés d'ubac. Elle se situe à l'étage subalpin des Alpes calcaires septentrionales et méridionales. Sa combinaison spécifique est constituée par une majorité d'espèces acidophiles (*Rhododendron ferrugineum*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Calamagrostis villosa*, *Lonicera coerulea*, *Homogine alpina*, etc), et par une petite composante d'espèces basophiles qui témoignent de la nature carbonatée du substrat.

#### Sols et formes d'humus

Les horizons minéraux sont semblables à ceux décrits pour le *Rhododendron hirsuti-Pinetum prostratae*. La forme d'humus en contrepartie se différencie autant par ces caractères morphologiques que chimiques. L'épaisseur totale des horizons organiques est supérieure (entre 20 et 40 cm); l'horizon OH, le plus épais, présente une partie supérieure brune rougeâtre foncée (5YR 2.5/2) et une partie inférieure noire (5YR 2.5/1) de structure grumeleuse. Le passage à l'horizon A biomacrostructuré est abrupt. Dans les horizons organiques les racines sont abondantes; le pH est très acide. Les sols du *Sorbo chamaemespili-Pinetum mugo* s'apparentent aux *Organosols tangeliques* ou aux *Organosols pierreux calcaires* du Référentiel Pédologique Français (1995). Ils font partis des *Histi-Calcaric Phaeozem* ou *Histic Regosols* ou *Terric Histosols* selon la F.A.O. (1990). Selon la Soil Taxonomy (U.S.S.S.S., 1994), ces sols se classent dans les *Lithic* ou *Typic Cryofolist*, ou encore *Lithic* ou *Typic Cryorthents*.

□ ***Rhododendron ferruginei-Pinetum prostratae* Zöttl 1951**

Association à *Pinus mugo* et *Rhododendron ferrugineum* sur roche silicatée, non carbonatée.

#### Synécologie et caractères floristiques

Cette association se développe sur substrat silicaté sans prédilection pour une exposition ou une pente particulière, surtout dans les chaînes cristallines des Alpes internes et intermédiaires, en limite d'aire du *Pin mugo*. Elle se caractérise du point de vue floristique par la domination des éricacées acidophiles (*Rhododendron ferrugineum*,

*Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea* et *Vaccinium gaultherioides*), et se différencie du *Sorbo chamaemespili-Pinetum mugo* par l'absence d'éléments basophiles.

#### Sols et formes d'humus

Les sols sont des sols podzoliques de 70 à 110 cm de profondeur, dont le profil est de type A-Bh (ou Bhs)-C. Le squelette est fréquent en surface et plus abondant en profondeur. La texture varie de limoneuse fine à limoneuse. Le pH est acide (4.5-5) et le taux de saturation (S/T) inférieur à 40%. L'horizon A est un horizon de juxtaposition (A.F.E.S., 1995) avec une teneur en éléments organiques très élevée (25-50%) et un C/N compris entre 25 et 20. Le drainage est bon.

L'humus est de type *dysmoder* (A.F.E.S., 1995); l'épaisseur des horizons OF et OH varie de 15 à 60 cm. L'horizon OF est généralement réduit au profit de l'horizon OHf. Dans ce dernier se distinguent une partie supérieure de couleur brune rougeâtre foncée (5YR 2.5/2) et une partie inférieure noire (5YR 2.5/1) de structure grumeleuse. Les racines sont abondantes, le pH est très acide (pH 4-4.3) et le S/T est inférieur à 50%.

Ces sols s'apparentent aux *Podzosols* ou *Podzosols ocriques* du Référentiel Pédologique Français (1995). Ils font partis des *Carbic Podzols* ou *Folic Histosols* (quand l'épaisseur des horizons organiques est supérieure à 40 cm) selon la F.A.O. (1990). Selon la Soil Taxonomy (U.S.S.S.S., 1994), ces sols se classent parmi les *Humicryods* ou les *Haplocryods*.

## DISCUSSION

La figure 1 représente un diagramme d'ordonnement des relevés sur la base de leur composition spécifique (Principal Coordinates Analysis, Euclidean Distance) (Podani, 1993); les relevés sont regroupés à partir du dendrogramme présenté par Minghetti (1996). Les différentes associations se distinguent de manière évidente à l'exception des pinèdes à *Rhododendron ferrugineum* (*Sorbo chamaemespili-Pinetum mugo* et *Rhododendron ferruginei-Pinetum prostratae*) où la présence commune des espèces dominatrices masque dans l'analyse multivariée l'influence des éléments différentiels.

La confrontation entre la figure 1 et 2 montre clairement que le gradient des phytocénoses en parcourant l'axe 1, de l'*Amelanchiero-Pinetum mugo* vers le *Rhododendron ferruginei-Pinetum prostratae*, correspond à :

- une augmentation de l'épaisseur des horizons organiques.
- une diminution du pH dans les horizons organiques et A.
- une augmentation de la teneur en matières organiques des horizons A.
- une augmentation du C/N dans A.
- une diminution du taux de saturation en bases (S/T) dans A.

Pour essayer de synthétiser l'ensemble de ces caractères par un unique processus, on peut interpréter le premier axe d'ordonnement comme un gradient d'activité biologique : la meilleure minéralisation caractérise l'*Amelanchiero-Pinetum mugo*, puis une diminution progressive de celle-ci s'observe de l'*Erico-Pinetum prostratae* vers le *Rhododendron hirsuti-Pinetum*

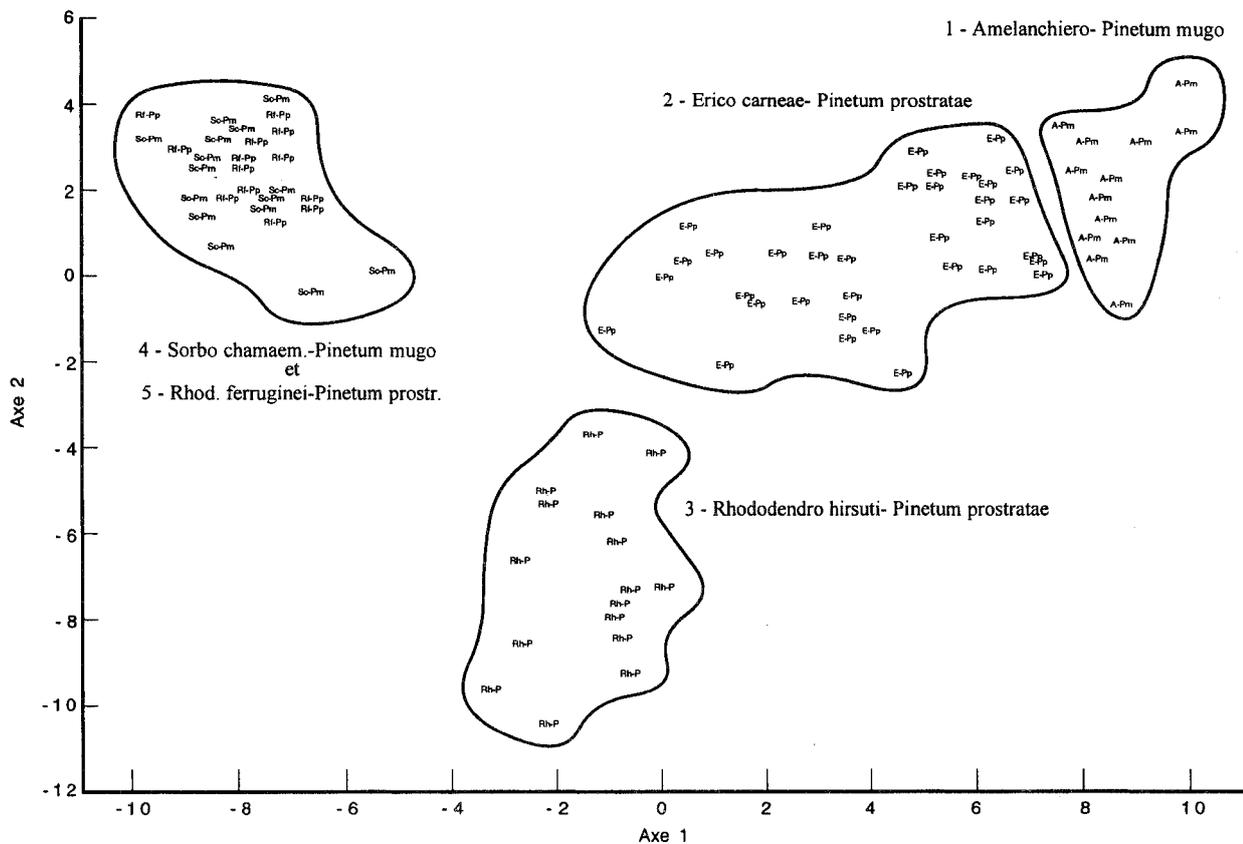


Figure 1 - Diagramme d'ordonnement des relevés sur la base de leur composition spécifique (Principal Coordinates Analysis, Euclidean Distance); les relevés sont regroupés à partir du dendrogramme présenté par Minghetti (1996)

*prostratae*, jusqu'aux *Sorbo chamaespili-Pinetum mugo* et *Rhododendron ferruginei-Pinetum prostratae*.

Les différences d'activité biologique dans les diverses associations s'expliquent par l'intervention des différents facteurs écologiques (tableau I et figure 3) : L'altitude intervient pour différencier l'*Amelanchiero-Pinetum mugo* de l'étage collinéen-montagnard (conditions favorables à une meilleure minéralisation de la matière organique) des autres associations subalpines, cependant la présence d'un horizon OH témoigne de quelques problèmes d'humification en surface, liés probablement à quelques épisodes de sécheresse estivale. Au subalpin, les sols sont en général plus humifères et plus acides. Parmi les associations développées sur roche carbonatée, l'exposition représente un facteur important de différenciation des associations : l'*Erico-Pinetum prostratae* lié aux expositions méridionales, est soumis en particulier à des températures moyennes estivales relativement élevées, et à des couvertures nivales de courte durée, favorables à la décomposition de la matière organique. A l'opposé, le *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostratae* et le *Sorbo chamaespili-Pinetum mugo* sont liés aux expositions septentrionales (ou à des morphologies planes en ce qui concerne le dernier groupement), caractérisées par des températures moyennes estivales inférieures et par une couverture neigeuse de plus longue durée, à l'origine d'une plus faible activité biologique qu'en adret. Dans ces conditions les sols tendent à être plus humifères et plus acides. Selon Gilot & Dommergues (1967), le ralentissement particulier de la minéralisation en ubac de l'étage subalpin est dû à la désynchronie thermique

entre la température de l'air et la température du sol, qui pendant la saison végétative, reste constamment inférieure à celle de l'air. Le *Sorbo chamaespili-Pinetum mugo* et le *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostratae* présentent des expositions assez proches (en ubac), mais se différencient par des caractères étroitement stationnels : roche en place ou éboulis stabilisés pour la première, et éboulis non stabilisés pour la seconde.

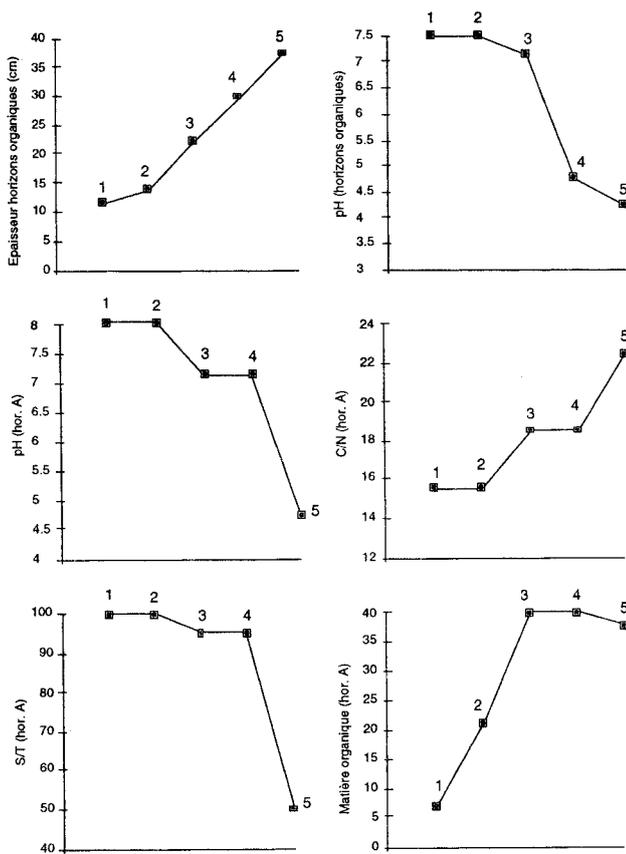
Ces différences géomorphologiques se reflètent en particulier sur le type d'humus. Sur les éboulis en mouvements le sol est caractérisé par un apport continu de matériaux carbonatés en surface, qui s'opposent aux processus de décalcification et d'acidification. Le *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostratae* est donc caractérisé par un humus de pH neutre, contrairement à l'humus acide du *Sorbo chamaespili-Pinetum mugo*.

La position isolée suivant sur l'axe 1 du *Rhododendron ferruginei-Pinetum prostratae*, correspond au substrat siliceux, aux sols podzoliques à faible activité biologique, qu'ils soient en adret et en ubac.

On peut noter la position très proche sur l'axe 1 du *Rhododendron ferruginei-Pinetum prostratae* et du *Sorbo chamaespili-Pinetum mugo* développé sur calcaire. Les sols de ces deux associations présentent en fait une convergence des caractères chimiques et morphologiques dans les horizons organiques (concept des "sols analogues" défini par Palmann, in Braun-Blanquet et al., 1954). Dans ce cas, l'exposition nord sur substrat carbonaté peut en partie "compenser" la nature silicatée du substrat.

Tableau I - Typologie des stations.

Association	Amelanchiero-Pinetum mugo	Erico-Pinetum prostratae	Rhod. hirsuti-Pinetum prostratae	Sorbo chamaemespili-Pinetum prostratae	Rhod. ferruginei-Pinetum prostratae
Nature du substrat	carbonaté	carbonaté	carbonaté	carbonaté	silicaté
Altitude					
Exposition					
Pente					
Forme du substrat (%)	8	40	6	100	46
roche en place ou éboulis stabilisés	92	60	94	0	54
éboulis meubles					



**Figure 2** - Variations de quelques caractères pédologiques dans les différentes associations. 1 : *Amelanchiero-Pinetum mugo*; 2 : *Erico carnea-Pinetum prostratae*; 3 : *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostratae*; 4 : *Sorbo chamaespili-Pinetum mugo*; 5 : *Rhododendro ferruginei-Pinetum prostratae*.

De même une augmentation d'altitude peut être en partie compensée par une exposition méridionale, ce qui s'exprime par la proximité sur le diagramme entre l'*Erico-Pinetum prostratae* et l'*Amelanchio-Pinetum mugo*.

L'interprétation de l'axe 2 ne semble pas opportune car la disposition en fer à cheval des relevés correspond sans doute plus à une forme de distortion propre à l'élaboration plutôt qu'à un gradient écologique (Whittaker, 1967).

## CONCLUSION

Le premier axe d'ordonnement de l'analyse multivariée est interprété comme un gradient d'activité biologique dans les différentes associations. Ceci se justifie par la variation conforme à cet axe de quelques caractères pédologiques qui expriment l'efficacité de minéralisation de la matière organique.

Ce gradient s'explique par l'influence des facteurs écologiques stationnels, en particulier l'altitude, l'exposition, la forme et la nature du substrat. Ces facteurs stationnels semblent manifester leur influence sur la diversité des pinèdes à pin mugo du Trentin d'une façon plus évidente sur substrat carbonaté que sur substrat silicaté. Le déterminisme des facteurs reste cependant complexe, et leurs effets peuvent dans certains cas se compenser.

Le gradient macroclimatique, représenté dans le Trentin par une augmentation de l'angle de continentalité hydrique de Gams du sud vers le nord, n'est pas corrélé au gradient d'activité biologique exprimé par l'axe 1 dans notre étude.



## BIBLIOGRAPHIE

- A.F.E.S., 1995 - Référentiel Pédologique Français. I.N.R.A., Paris.
- ACKERMAN F., 1989 - *Etude de quelques Pinèdes à crochets du Briançonnais. Caractérisation des types fonctionnels d'humus et relations possibles avec la productivité.* DEA Grenoble.
- BAIZE D., 1988 - *Guide des analyses courantes en pédologie.* I.N.R.A., Paris.
- BARKMAN J.J., MORAVEC J. & RAUSCHERT S., 1986 - Code of phytosociological nomenclature. *Vegetatio*, 67 : 145-195.
- BARTOLI C., 1966 - Etudes écologiques sur les associations forestières de la Haute Maurienne. *Annales de Sciences Forestières*, 23 (3) : 433 - 752.
- BRAUN-BLANQUET J., PALLMANN H. & BACH R., 1954 - Pflanzensoziologische und Bodenkundliche untersuchungen im schweizerische Nationalpark und seinen Nachbargebieten, II. Vegetation und Boden der Wald- und Zwergstrauchgesellschaften (*Vaccinio-Piceetalia*). Lüdin, Liestal.
- CADEL G., 1980 - Série de végétation et sols du Subalpin Briançonnais sur roches-mères silico-alumineuses. Comparaison avec la Maurienne et la Tarentaise. *Science du Sol - Bulletin de l'AFES*, n°4 : 249-264.
- DUCHAUFOR Ph., 1976 - Atlas écologique des sols du monde. Masson, Paris.
- DUCHAUFOR Ph., 1983 - Pédologie, tome 1. Pédogénèse et classification. Masson, Paris.
- F.A.O.-U.N.E.S.C.O., 1990 - Soil map of the world, revised Legend. Roma, F.A.O.
- GAFTA D., 1994 - Tipologia, sinecologia a sinorologia delle abetine nelle Alpi del Trentino. *Braun-Blanquetia* 12 : 1-69.
- GILOT J.CL. & DOMMERGUES Y., 1967 - Note sur le lithosol calcaire à mor de la station subalpine de la R.C.P. 40. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 4 (3) : 357-383.
- GREEN R.N., TROWBRIDGE R.L. & KLINKA K., 1993 - Towards a taxonomic Classification of Humus Form (C.H.F.) - Suppl. *Forest Science Monograph* 29. *Soc. Am. For.*, Vol. 29, No. 1.
- MINGHETTI P., 1996 - Analisi fitosociologica delle pinete a *Pinus mugo* Turra del trentino (Italia). *Doc. Phytosoc.*, 16 : 461-503.
- ORLOCI L., 1978 - *Multivariate analysis in vegetation research.* 2nd ed. Junk, The Hague
- OZENDA P., 1985 - La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen. Masson, Paris.
- PALLMANN H. & FREI E., 1943 - Betrag zur Kenntnis der Lokalklimate einiger kennzeichnender Waldgesellschaften der schweizerische Nationalpark. *Résultats des Rech. scient. au Parc National suisse*, 1 (10).
- PODANI J., 1993 - SYN-TAX 5.0 : Computer programs for data analysis in ecology and systematics. Scientia Publishing.
- ROUILLER J, SOUCHIER B., BRUCKERT S., FELLER C., TOUTAIN F. & VEDY J.C., 1994 - Méthodes d'analyses des sols. in Bonneau M & Souchier B. (eds.) - Pédologie. Tome 2. Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris.
- S.I.S.S., 1985 - *Metodi normalizzati di analisi del suolo.* Edagricole, Bologna.
- SANDOZ H., 1983 - *Recherches taxonomiques, biogéographiques et phytoécologiques sur les principaux conifères subalpins des Alpes : Mélèze d'Europe, Pin à crochets et Pin mugho.* Thèse Dr. ès Sciences. Aix Marseille 3.
- SARTORI G., WOLF U., MANCABELLI A. & CORRADINI F., 1997 - Principali tipi di suoli forestali nella provincia di Trento. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, Vol. 71.
- ter BRAAK C.J.F., 1987 - Ordination. In : Jongman R.H.G., ter Braak C.J.F. & O.F.R. van Tongeren (eds) : *Data analysis in community and landscape ecology.* Pudoc, Wageningen.
- U.S. Soil Survey Staff, 1993 - *Soil Survey Manual. U.S.D.A. Handbook No. 18*, Washington.
- U.S. Soil Survey Staff, 1994 - *Keys to Soils Taxonomy*, 6th edition. Pocahontas Press, Blacksburg, Virginia.
- WHITTAKER R.H., 1967 - Gradient analysis of vegetation. *Biol. Rev.*, 42 : 207-264.
- ZÖTTL H., 1951 - Die vegetationsentwicklung auf Felschutt in fer alpinen und subalpinen Stufe des Wettersteingebirges. *Jahrb. Ver. Schutze Alpenpfl. u. - Tiere*, 16 : 10 - 74.
- ZÖTTL H., 1965 - Zur Entwicklung der Rendzine in der subalpinen Stufe : I. Profilmorphologie und II. Chemisch-biologische Dynamik. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde*, 110 (2) : 109-126.

## ANNEXES

Description et données analytiques d'un profil type de chaque association.

**1 - *Amelanchiero-Pinetum mugo***

Localisation : Santa Giuliana

Classification : *Calcaric Phaeozem* (PHc) (FAO, 1990)  
*Typic Rendoll* (Soil Taxonomy, 1994).Forme d'humus : *Amphimull* (R.P.F., 1995)  
*Leptomoder* (Green *et al.*, 1993)

Altitude : 500 m; morphologie : versant; pente : 44%; exposition : nord-ouest; pierrosité : absente; érosion : faible; drainage : bon; substrat : éboulis calcaires.

OFrc : 0-4 cm.

Ohr : 4-17 cm; structure granulaire; abondants petits coprolytes; 25% de matériaux fibreux; transition claire linéaire.

A : 17-28 cm; peu humide; brun grisâtre très foncé (10YR 3/2); limon sableux; structure grumeleuse très faible; squelette très abondant (75%), angulaire, petit angulaire; forte effervescence; beaucoup de racines, très fines à fines; transition graduelle linéaire.

AC : 28-75 cm; peu humide; gris rougeâtre foncé (10YR 4/2); limon sableux; tendance à une structure polyédrique subangulaire; squelette très abondant (60%), de très petit à petit; forte effervescence; racines communes; transition abrupte linéaire.

Ab : 75-85 cm; peu humide; brun grisâtre très foncé (10YR 3/2); limon sableux; beaucoup de racines; transition claire linéaire.

Horizons	A	AC	Ab
Texture %			
- sables grossiers	49.0	50.5	76.2
- sables fins	7.3	7.1	6.6
- limons grossiers	21.5	19.5	8.3
- limons fins	18.5	18.9	6.5
- argiles	3.7	4.0	2.4
CaCO <sub>3</sub> %	96.0	100.0	100.0
Calcaire actif %	0.19	0.70	0.82
Carbone organique %	2.65	1.23	0.10
Substances organiques %	5.3	2.26	0.20
Azote total %	0.143	0.078	
Rapport C/N	18.5	15.7	
pH (H <sub>2</sub> O 1 : 2.5)	7.80	7.8	8.25
CEC (meq/100g)	12.3	6.6	0.9

**2 - *Erico-Pinetum prostratae***

Localisation : Malga Spora.

Classification : *Calcaric Phaeozem* (PHc) (FAO, 1990)  
*Pachic Cryoboroll* (Soil Taxonomy, 1994).Forme d'humus : *Dysmull* (R.P.F., 1995)  
*Mormoder* (Green *et alii*, 1993)

Altitude : 1870 m; morphologie; versant; pente : 80%; exposition : sud; pierrosité : absente; érosion : faible; drainage : bon; substrat : éboulis dolomitique.

OL : 3-0 cm.

OFrc : 0-15 cm; humide; brun jaunâtre foncé (10YR 3/4); forte activité fongique; feutré; 30% de matière organique fine.

OFm : 15-17 cm; humide; noir (10YR 2/1); coprolytes de petite taille (&lt;1mm) abondants; 70% de matière organique fine.

A11-A12: 17-80 cm; humide; brun foncé (10YR 3/3); limoneux fin; structure moyenne grumeleuse fine; squelette abondant (50%) de taille moyenne à grande, subangulaire; forte effervescence (lente); beaucoup de racines très fines à moyennes; transition régulière graduelle.

AC : 80-90+ cm; humide; squelette très abondant; forte effervescence; rares racines.

Horizons	A11 (17-40 cm)	A12 (40-80 cm)	AC
Texture %			
- sables grossiers	9.2	5.2	7.0
- sables fins	14.5	19.6	10.6
- limons grossiers	47.3	41.5	39.0
- limons fins	18.1	23.0	21.0
- argiles	10.9	11.3	22.4
CaCO <sub>3</sub> %	80.0	68.0	62.0
Calcaire actif %	0.50	1.13	1.26
Carbone organique %	6.29	3.31	1.26
Substances organiques %	12.6	6.6	2.26
Azote total %	0.241	0.218	0.075
Rapport C/N	26.1	15.2	12.2
pH (H <sub>2</sub> O 1 :2.5)	7.80	8.00	
CEC (meq/100g)	23.8	24.6	15.2

### 3 - *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostratae*

Localisation : Val Brenta

Classification : *Calcaric Regosol* (FAO, 1990)  
*Pachic Cryoboroll* (Soil Taxonomy, 1994).

Forme d'humus : *Amphimull* (R.P.F., 1995)

Altitude : 1600 m; morphologie : versant; pente : 65%; exposition : 10° nord; pierrosité : absente; érosion : faible; drainage : bon; substrat : éboulis dolomitiques.

OLv : 2-0 cm.

OFR : 0-12 cm; humide; coprolytes de type arthropode, communs; racines abondantes très fines à moyennes; pH 4.5 à 2 cm et 7.5 à la base.

OHR : 12-18 cm; humide; présence de micro-agrégats; pH 7.5; transition distincte ondulée.

A11 : 18-45 cm; humide; noir (10YR 2/1); limoneux fin; structure polyédrique subangulaire, forte, très fine à fine; squelette abondant (70%) de taille moyenne à grande, subarrondi; effervescence modérée (à chaud); beaucoup de racines fines à moyennes; transition distincte ondulée.

A12 : 45-65 cm; humide; noir (10YR 2/1); limoneux fin; structure polyédrique angulaire, forte, fine; effervescence modérée (à chaud); peu de racines moyennes à grossières; transition régulière graduelle.

AC : 65-85+ cm; humide; brun grisâtre foncé (10YR 4/2); limoneux fin; structure polyédrique subangulaire, faible, très fine; squelette très abondant de très petite taille jusqu'aux pierres, angulaire.

Horizons	A11	A12
Texture %		
- sables grossiers	2.4	15.1
- sables fins	15.1	5.6
- limons grossiers	30.8	29.2
- limons fins	46.0	51.2
- argiles	5.7	8.3
CaCO <sub>3</sub> %	21.7	28.1
Carbone organique %	23.4	18.4
Substances organiques %	46.8	36.8
Azote total %	1.110	0.833
Rapport C/N	21.1	22.1
pH (H <sub>2</sub> O 1 :2.5)	6.8	7.5
CEC (cmol/kg)	93.8	88.7
Fe (tot.)	15.6	18.8

### 4 - *Sorbo chamaemespili-Pinetum mugo*

Localisation : Malga Flavona

Classification : *Rendzic Leptosol* (LPk) (FAO; 1990)  
*Lithic Cryofolist* (Soil Taxonomy; 1994).

Forme d'humus : *Amphimull* (R.P.F.; 1995)

Altitude : 1880 m; morphologie : éboulis stabilisés; pente : -; exposition : -; pierrosité : 15%; érosion : faible; drainage : bon; substrat : Calcaires gris de Noriglio.

OFR : 0-10 cm; humide; racines abondantes fines à très fines; pH 4; transition régulière graduelle.

OHR : 10-20 cm; humide; structure granulaire; squelette absent; racines abondantes fines à très fines; pH 4; coprolytes de type enchytréides; limite abrupte ondulée.

A : 20-32 cm; humide; noir (10YR 2/1); limoneux fin; structure grumeleuse très fine et secondaire polyédrique subangulaire fine, modérée; squelette fréquent (15-20%) de taille moyenne à grande, subangulaire; effervescence absente; pH 5; transition abrupte ondulée.

C : 32+ cm : squelette de taille moyenne jusqu'aux pierres, angulaire.

Horizons	A
Texture %	
- sables grossiers	3.6
- sables fins	5.6
- limons grossiers	30.9
- limons fins	29.4
- argiles	30.5
CaCO <sub>3</sub> %	1.2
Carbone organique %	30.4
Substances organiques %	60.8
Azote total %	0.910
Rapport C/N	33.4
pH (H <sub>2</sub> O 1 :2.5)	6.40
CEC (cmol/kg)	88.2
Fe(tot.) %	2.12

### 5 - *Rhododendro ferruginei-Pinetum prostratae*

Localisation : Passo Manghen

Classification : *Humic Cambisol* (CMu) (FAO; 1990)

*Spodic Cryumbrept* (Soil Taxonomy; 1994).

Forme d'humus : *Dysmoder* (R.P.F.; 1995)

Altitude : 2500 m; morphologie : versant; pente : 85%; exposition : E; pierrosité : absente; érosion : faible; drainage : bon; substrat : éboulis (riodacite)

OFm : 0-5 cm; peu compact; friable

OHf1 : 5-20 cm; humide; brun rougeâtre foncé (5YR 2.5/2); structure grumeleuse très fine, faible; squelette commun; racines abondantes; limite abrupte ondulée.

OHf2 : 20-60 cm; humide; noir (10YR 2/1); structure grumeleuse fine, moyenne; squelette fréquent (20%); racines abondantes; transition diffuse ondulée.

A : 60-85 cm; humide; noir (10YR 2/1); structure polyédrique subangulaire tendant à angulaire, fine à moyenne, modérée; squelette fréquent (30%) de taille moyenne; racines abondantes très fines; limite diffuse régulière.

Bs : 85-115 cm; humide; brun foncé (7.5YR 3/4); structure polyédrique subangulaire fine, forte; squelette très abondant (75%) de taille grande jusqu'aux pierres, angulaire; racines absentes.

C : 115-150+ cm; humide; brun foncé-brun (7.5YR 4/2); incohérent; sableux fin; squelette très abondant (80%) de taille petite jusqu'à grande, tabulaire, angulaire.

Horizons	OHf1	OHf2	A	Bs	C
Texture %					
- sables grossiers			32.5	24.6	57.7
- sables fins			6.0	21.3	13.9
- limons grossiers			25.0	28.9	16.6
- limons fins			15.9	19.3	9.3
- argiles			20.6	5.9	2.5
CaCO <sub>3</sub> %	0	0	0	0.6	0.6
Carbone organique %	39.01	22.20	12.79	0.58	
Substances organiques %	78.0	76.4	25.6	1.16	
Azote total %	1.43	0.574	0.525	0.095	
Rapport C/N	27.3	38.7	24.4	26.4	
pH (H <sub>2</sub> O 1 :2.5)	4.10	4.35	4.50	4.55	
pH (KCl 1 :2.5)	2.80	3.40	3.90	4.15	
Cat. éch. (cmol/Kg)					
Ca	29.50	9.33	3.74	1.32	0.82
Mg	0.40	0.20	0.14	0.13	0.23
K	0.73	0.72	0.67	0.51	0.49
Na	0.46	0.07	0.02	0.03	0.03
Ac. d'échange (cmol/Kg)			8.50		1.6
Al			8.50		1.54
H			0		0.01
CEC eff. (cmol/Kg)			13.07		3.12
Sat. en bases %			35		50
Fe réd.%			0.17	0.08	0.06
Fe ox. %			1.44	1.90	0.09