

## L' ETAGE MONTAGNARD SYLVICOLE SUR SERPENTINITES EN VALLÉE D'AYAS ( VAL D'AOSTE )

par Jean-Pierre VERGER (1)

I.- Le milieu .....	52
II.- La végétation .....	53
III.- Les sols .....	58
Conclusion .....	63
Bibliographie .....	65

RESUME.- En vallée d'Ayas les bois de *Pinus sylvestris* occupent, à l'adret, les affleurements serpentiniques de l'étage montagnard, entre 1 400 m et 1 780 m d'altitude. Les groupements végétaux appartiennent à la série intra-alpine du *Pinus sylvestris* et se rattachent :

- soit à la sous-série acidiphile du *Deschampsio-Pinetum sylvestris* Br.-Bl., 1961; le sol est un ranker ou un sol brun mésotrophe à moder;
- soit à des faciès de transition avec le *Deschampsio-Pinetum sylvestris*. Le sol est alors un sol brun colluvial eutrophe (faciès neutrophile à *Carex humilis*) ou un sol ocre podzolique jeune (faciès à *Ericacées*).

SUMMARY.-In the Val d'Ayas woods of *Pinus sylvestris* occur on warm slopes of mountainous level on serpentine between 1 480 m and 1 780 m. The vegetation growing on these soils belongs to the *Pinus sylvestris* intra-alpine group and are related to :

- either *Deschampsio-Pinetum sylvestris* acidiphile sub-group Br. Bl., 1961 on ranker and half saturate brown soils with moder;
- or transition with *Deschampsio-Pinetum sylvestris* : neutral facies with *Carex humilis* on colluvial brown soils, moist facies with *Ericacées* on ochre podzolic soils.

Lors de la récente réalisation de la carte de la végétation des Alpes piémontaises, BARBERO et OZENDA (1979) ont précisé la répartition des grandes séries de végétation, dont la série intra-alpine du Pin sylvestre. Nos travaux en Val d'Aoste dans le Valtournanche, le Val d'Ayas et le Val de Gressoney nous ont conduit à rapprocher nos observations de celles de ces auteurs. Ceux-ci décrivent, dans la vallée d'Aoste, deux associations forestières principales : l'*Ononido-Pinetum* et l'*Astragalo-Juniperetum Sabinae pinetosum* Br.-Bl., 1961.

---

(1) U.E.R. des Sciences. Laboratoire de Biologie végétale, 123, rue Albert Thomas,  
87 060 Limoges Cedex.

## I. LE MILIEU

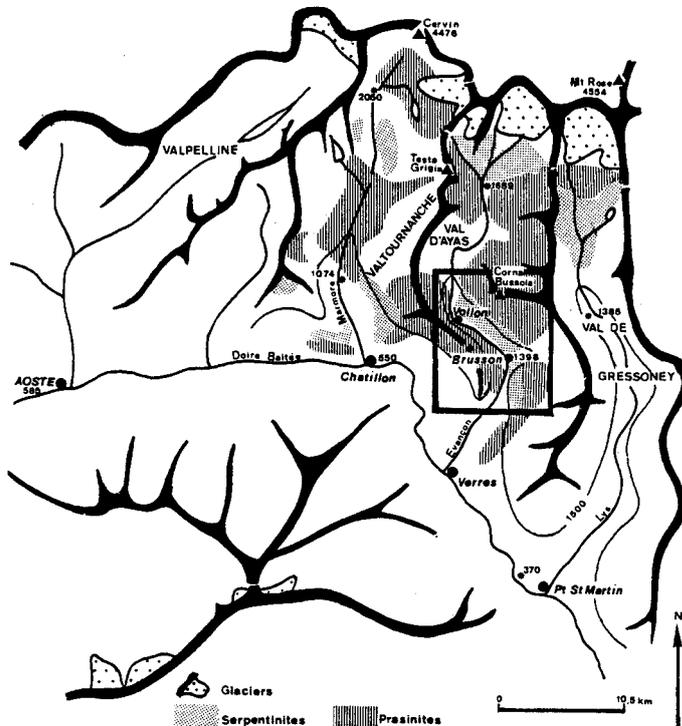


Fig.1.- Distribution des serpentinites en Val d'Ayas

C'est durant le repos hivernal que se situe la période sèche contrairement à ce que l'on observe à Avrieux en Maurienne et même en Briançonnais (CADEL-GILOT) où la sécheresse estivale fera sentir ses effets avec beaucoup plus d'acuité sur la flore.

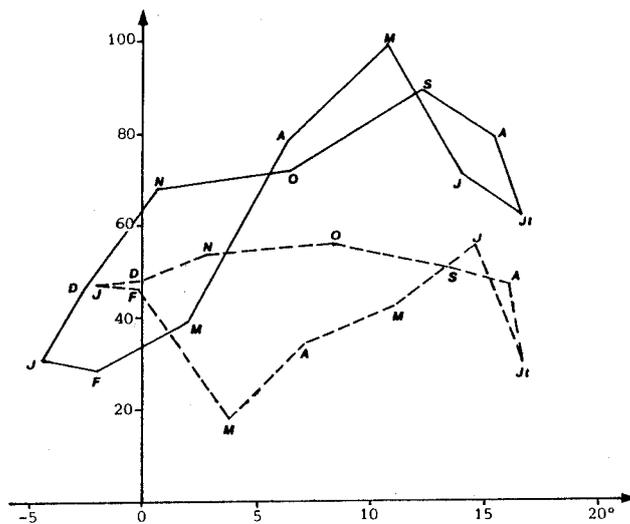


Fig.2a.- Climatogrammes. Le climatogramme de Brusson (Val d'Ayas) montre que cette station se place dans une zone de moindre aridité qu'Avrieux (Maurienne)

Données : Avrieux (1949-1961) BARTOLI ; Brusson (P: 1921-1950, T: 1951-1963) JANIN

## A - GEOGRAPHIE ET TOPOGRAPHIE

Les serpentinites, au niveau de l'étage montagnard de notre dition, n'affleurent de manière importante qu'en Val d'Ayas. Une pinède sylvestre à peu près pure colonise ces roches, au-dessus des villages de Brusson et Vollon.

L'orientation générale de l'ensemble se situe de SW à S-SW à une altitude comprise entre 1 400m et 1 760m. L'ensemble de la forêt occupe des pentes fortes ou très fortes (10 à 50 %).

## B - CLIMAT

Ainsi que nous l'avons déjà défini (VERGER, 1979) le climat du Val d'Ayas est sec (764mm de précipitation moyenne à Brusson à 1 330m). Cependant, si on le compare à celui de la Maurienne (dans la région du Pin sylvestre) on constate qu'il n'y a pas, au sens de BAGNOULS et GAUSSEN, de saison sèche à Brusson.

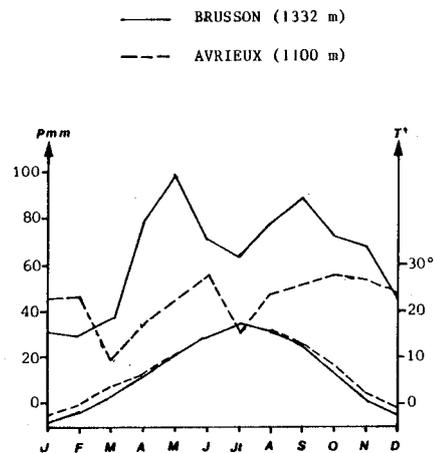


Fig.2b.- Courbes ombrothermiques. Il n'y a pas de période sèche en Val d'Ayas durant l'été.

## II. LA VEGETATION

Nous avons recensé sous le couvert du Pin sylvestre sur serpentinites en vallée d'Ayas quatre groupements floristiques : (fig.3).

- un faciès d'éboulis grossiers à *Minuartia laricifolia*,
- un faciès d'éboulis fins à *Carex humilis* dominant,
- un faciès de milieu stabilisé à *Minuartia laricifolia* et *Deschampsia flexuosa*,
- un groupement à Ericacées lié à des conditions très différentes des précédents.

### A - LA PINEDE SYLVESTRE A *MINUARTIA LARICIFOLIA*

#### 1) Répartition et aspect du sol

Cette pinède s'élève en versant sud-ouest, au-dessus du hameau de Vollon jusque vers 1 700 m sous les barres rocheuses de la cote 2 260. Le groupement occupe l'énorme "clapey", gros éboulis de gravité et de gélifraction des roches issues des falaises serpentinites dominantes. Une faible partie de ce chaos, à très gros blocs et forte pente (40-50 %) est, à l'exclusion de quelques espèces (*Sempervivum grandiflorum* Haw. = *S. gaudinii* Christ., *Sempervivum wulfenii* Hoppe, touffes de *Festuca gr. varia*), pratiquement stérile. La majeure partie de l'éboulis, plus ou moins colmaté en surface, porte une pinède claire.

Mis à part les affleurements rocheux (40 % en moyenne) souvent associés à de gros blocs et cailloux, le sol de la station est graveleux et comporte un humus brut mince avec une litière presque exclusivement constituée d'aiguilles de Pin. Il n'y a donc que peu de sol nu malgré la forte pente générale (30 à 40 %). Les touffes de *Minuartia laricifolia* sortent de ce tapis d'aiguilles. Le recouvrement herbacé ne dépasse pas 35 %.

#### 2) Composition floristique

Au niveau des herbacées, *Minuartia laricifolia*, très largement disséminé en touffes caractérise le groupement, associé à des plantes de milieu rocailleux (*Laserpitium latifolium*) et des xérophiles de tendance acidophile (*Hieracium bifidum*, *Thlaspi alpinum*, *Silene nutans*, *Sempervivum arachnoideum*) à peu près absentes dans les autres groupements et enfin à quelques espèces mésoxérophiles dont l'indifférence à l'égard du sol est plus grande : touffes épaisses de *Festuca gr. varia*, pieds isolés ou petits bouquets de *Brachypodium pinnatum* et *Juniperus communis*, larges plages disjointes d'*Arctostaphylos uva-ursi*.

Dans la strate arborescente *Pinus sylvestris*, soit exclusif, soit très nettement dominant, forme un boisement toujours clair, parfois irrégulier (40 à 80 % de recouvrement) et à régénération facile. Les Pins, de venue médiocre, possèdent un fût relativement court (8 - 10 m) rarement plus (15 m) pour un diamètre moyen de 30 - 35 cm à 1,50 m du sol. Au-delà le fût devient, ainsi que les branches sommitales, tortueux, donnant une impression d'écrasement de la tête de l'arbre déjà observée par RUNE (1953).

Les Mélèzes, peu nombreux, sont par contre bienvenus, très droits avec un diamètre de 40 cm à 1,50 m pour les plus grands exemplaires observés (25 m).

La richesse en *Minuartia laricifolia*, ainsi que la présence de la plupart des espèces caractéristiques du *Deschampsio-Pinetum* apparentent le groupement à cette association. L'absence de la Canche flexueuse semble liée à la trop grande xéricité du milieu ce qui peut favoriser d'ailleurs l'existence, très discrète, d'espèces de milieux peu désaturés (*Coronilla emerus*, *Polygala chamaebuxus*).

## B. LA PINEDE A CAREX HUMILIS

### 1) Répartition et aspect du sol

Le faciès à *Carex humilis* occupe toute la partie inférieure de la pinède au-dessus de Brusson. Surtout développé entre 1 400 m et 1 500 m sa limite altitudinale se situe vers 1 550 m.

Le rocher n'affleure que sous forme de petites falaises de serpentinites de 1 à 3 m de hauteur. Un important matériel minéral fin descendu des pentes constitue l'essentiel du substrat. L'inclinaison, toujours très forte, généralement supérieure à 40 %, explique l'aspect du sol :

- élimination par gravité des pierrailles de surface;
- part importante du sol nu (20 % en moyenne) due au décapage complet de la litière lors de gros orages par exemple (en juillet 1979 des plaques de plusieurs dizaines de mètres carrés furent ainsi entraînées au bas des pentes);
- disposition de la végétation en bordure de microterrasses de solifluction largement étirées ou déchirées vers l'aval.

### 2) Composition floristique

L'originalité du faciès se manifeste par la coexistence des principales caractéristiques acidophiles du Deschampsio-Pinetum sylvestris (dont *Minuartia laricifolia*, *Deschampsia flexuosa*) et de *Carex humilis*, espèce des pinèdes neutrobasophiles de l'Ononido et de l'Erico-Pinetum sylvestris.

Le carex, profondément enraciné dans le substrat graveleux, se répartit toujours sur les plages de sol nu, en petites touffes sur la pente forte ou en bordure des microterrasses qui émaillent la surface du sol. En amont des pieds de carex, des troncs de Pins et des blocs rocheux, là où la litière s'accumule de façon durable, s'installent de petites touffes de *Minuartia laricifolia* puis de *Deschampsia flexuosa*. L'installation du cortège des acidophiles, ainsi que nous l'avons remarqué au niveau de la chênaie pubescente sur serpentinite pourrait, au moins partiellement, s'expliquer par cette présence de la litière acidophile fournie par le Pin. Le faciès se caractérise en outre, du moins dans cette vallée, par l'absence d'*Arctostaphylos uva-ursi*, *Lotus corniculatus* et de l'acidiphile *Antennaria dioica*.

En fait, ce faciès à *Carex humilis* très abondant peut être considéré comme un stade de transition entre le Deschampsio-Pinetum et le Pineto-Caricetum humilis, pinèdes des vallées continentales sèches centralpines de l'alliance du Pineto-Ericion.

Il est à noter enfin que BARTOLI en Maurienne décrit, sous le nom de faciès à *Carex humilis* du Deschampsio-Pinetum sylvestris un groupement plus riche en espèces de milieux pas ou peu désaturé de l'Ononido et de l'Erico-Pinetum sylvestris (*Ononis spinosa*, *Polygala chamaebuxus*).

La strate arborescente, souvent claire, représentée uniquement par des Pins de 18-20 m de haut (35 m dans les meilleurs cas) pour un diamètre moyen de 20 cm à 1,50 m du sol constitue la meilleure pinède sylvestre développée sur serpentinites. La régénération, irrégulière, reste faible, peut-être en raison des décapages fréquents de surface qui pourraient détruire les jeunes plantules.

## C. LA PINEDE SYLVESTRE A MINUARTIA LARICIFOLIA - DESCHAMPSIA FLEXUOSA

### 1) Répartition et aspect du sol

Ce faciès se localise au-dessus du village de Brusson, en exposition chaude, jusque vers 1 650 m, c'est-à-dire à la limite d'affleurement des serpentinites et sur des stations moins rocheuses que le faciès à *Minuartia laricifolia* et moins abruptes que celui à *Carex humilis*.

Les portions de sol nu sont généralement faibles, de 5 % le plus souvent à 30 m au maximum, et la végétation herbacée s'ordonne en bordure de petites terrasses étirées vers l'aval sur lesquelles peuvent s'accumuler les aiguilles de Pin.

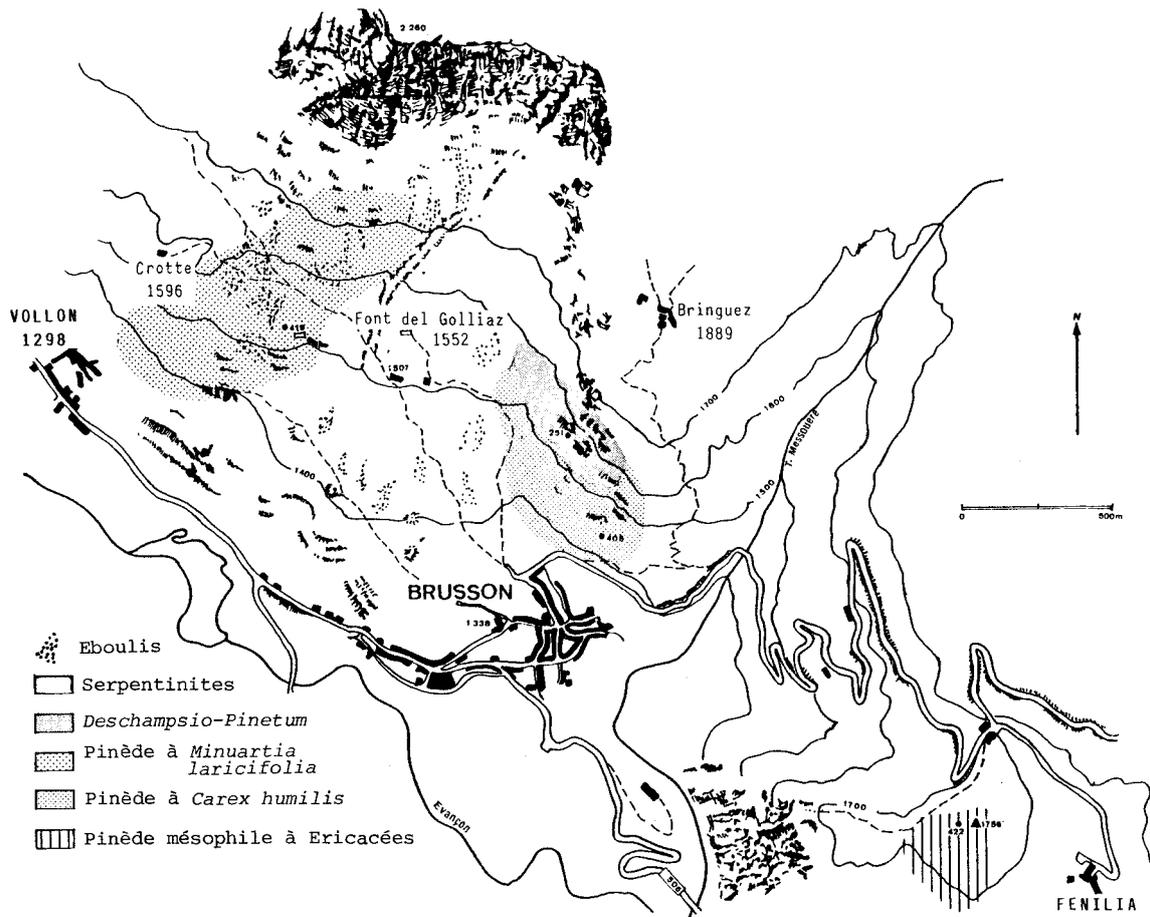


Fig.3.- La pinède sylvestre sur serpentinites en Val d'Ayas

## 2) Composition floristique

Au niveau de la strate herbacée ce faciès diffère du précédent par:

- la disparition ou la régression très sensible des espèces les plus xérophiles et de milieu rocailleux. *Minuartia laricifolia* un peu moins abondant, se localise aux affleurements graveleux et ensoleillés;

- l'importance accrue des mésoxérophiles avec notamment l'apparition de *Deschampsia flexuosa* et le plus grand recouvrement d'autres espèces du *Deschampsio-Pinetum* comme *Veronica officinalis*, *Phyteuma betoni-caefolium*, *Saponaria ocymoides*, *Hieracium murorum*.

Le Pin est presque toujours exclusif et les portions âgées de la forêt présentent des fûts de 20 m de diamètre dans un peuplement globalement de meilleure venue et surtout plus dense que dans le faciès précédent. Ces conditions limitent le développement des espèces héliophiles de la lande (*Juniperus communis*, *Arctostaphylos uva-ursi*) et favorisent la tendance plus mésophile observée dans la strate herbacée. La régénération de la pinède paraît plus éparse.

Ce groupement est très voisin de la sous-association à *Minuartia laricifolia* du *Deschampsio-Pinetum sylvestris* décrit par BARTOLI en Haute-Maurienne sur roches-mères pauvres en bases.

## D. LA PINEDE SYLVESTRE MESOPHILE A ERICACEES

### 1) Répartition et aspect du sol





Cette pinède, dans sa forme la plus caractéristique, couvre un petit mamelon serpentinique à 1 756 m d'altitude entre Brusson et Fenilia. Elle occupe le sommet et la pente régulière légèrement convexe sous les barres de serpentinite schisteuse de la crête. L'orientation générale est SW à W-SW. On la retrouve, moins bien exprimée, sur les verrous serpentiniques du fond de la vallée en aval d'Arcesa, ainsi que sur les pentes d'exposition NE au-dessus d'Extrepiera. En mélange avec le Mélèze, elle forme la frange terminale de la pinède pionnière à *Minuartia laricifolia* sous la cote 2 260 au-dessus de Vollon entre 1 630 et 1 700 m.

Le sol sans affleurement rocheux visible est recouvert d'une litière continue d'aiguilles de Pin, de branchettes mortes et de feuilles d'Ericacées. La pente généralement régulière est plus faible que dans les faciès précédents (20 à 30 %).

## 2) Composition floristique

Les caractéristiques les plus xérophiles dont *Minuartia laricifolia*, disparaissent presque complètement au profit des acidophiles des *Vaccinio-Piceetea* (FAURE, 1968) : *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*, *Calluna vulgaris* et des subalpines (*Juniperus nana*, *Rhododendron ferrugineum*).

Ainsi, le trait dominant de la végétation réside dans l'important développement (60 à 75 % de recouvrement) des caractéristiques d'humus brut où *Vaccinium vitis-idaea* joue le rôle essentiel en assurant à elle seule la majorité du recouvrement. Les pieds d'airelle rouge constituent un maillage étroit et bas (10 cm) où se mêlent des pieds de *Vaccinium myrtillus*, de petites colonies de *Calluna vulgaris* et des pieds isolés de *Genista germanica*, *Arctostaphylos uva-ursi* est toujours présent mais montre un aspect chétif. Parmi les xérophiles de la lande, *Juniperus communis* cède la place à *Juniperus nana* et *Berberis vulgaris* disparaît. Dans les creux les plus frais s'installent les premières touffes de *Rhododendron ferrugineum*. Dans cet ensemble, les espèces herbacées régressent et seules persistent les plus mésophiles dont *Deschampsia flexuosa*.

La présence de *Genista germanica*, espèce acidiphile caractéristique des *Quercetea robori-petraeae* et des landes du *Calluno-Genistion* Duvign.1944 est remarquable :

- d'une part, cette espèce semble constituer l'ultime représentant de ces dernières à persister dans la pinède acidophile;

- d'autre part, sa présence à proximité de *Berberis vulgaris* et d'*Hippophae rhamnoides* en bordure de la pinède sur schistes à Brusson montre que la vallée d'Ayas se situe à un carrefour des influences supraméditerranéennes par le Genêt et intra-alpines par les deux autres espèces.

Dans la strate arborescente le Pin est toujours exclusif mais le boisement présente un aspect disparate. Des arbres âgés, espacés, peu élevés (9-10 m) minces (15-20 cm de diamètre), à cime souvent arquée ou tortueuse dès 8m, donnent un aspect souffreteux à cette forêt du haut de pente. Les milieux et bas de pente, reboisés, présentent au contraire un aspect touffu avec quelques arbres bien venants mais trop serrés étouffant eux-mêmes une strate arbustive dense de Pins. La lande claire en haut de pente constitue un tapis plus continu dans le bas.

Ce groupement présente des affinités avec la sous-association à *Vaccinium vitis-idaea* du *Deschampsio-Pinetum sylvestris* de Maurienne décrite par BARTOLI. Elle en diffère par la présence d'espèces acidiphiles comme *Calluna vulgaris* et *Genista germanica*. Nous considérerons le faciès mésophile sur serpentinites comme intermédiaire entre le groupement de la lande subcontinentale du *Calluno-Antennarietum* Tx.1937 (*Calluno-Genistetum germanicae*) et la sous-association à *Vaccinium vitis-idaea* du *Deschampsio-Pinetum sylvestris* de Maurienne.

## III. LES SOLS

### A - DESCRIPTION DES PROFILS

#### 1) Position topographique de la séquence sol-végétation

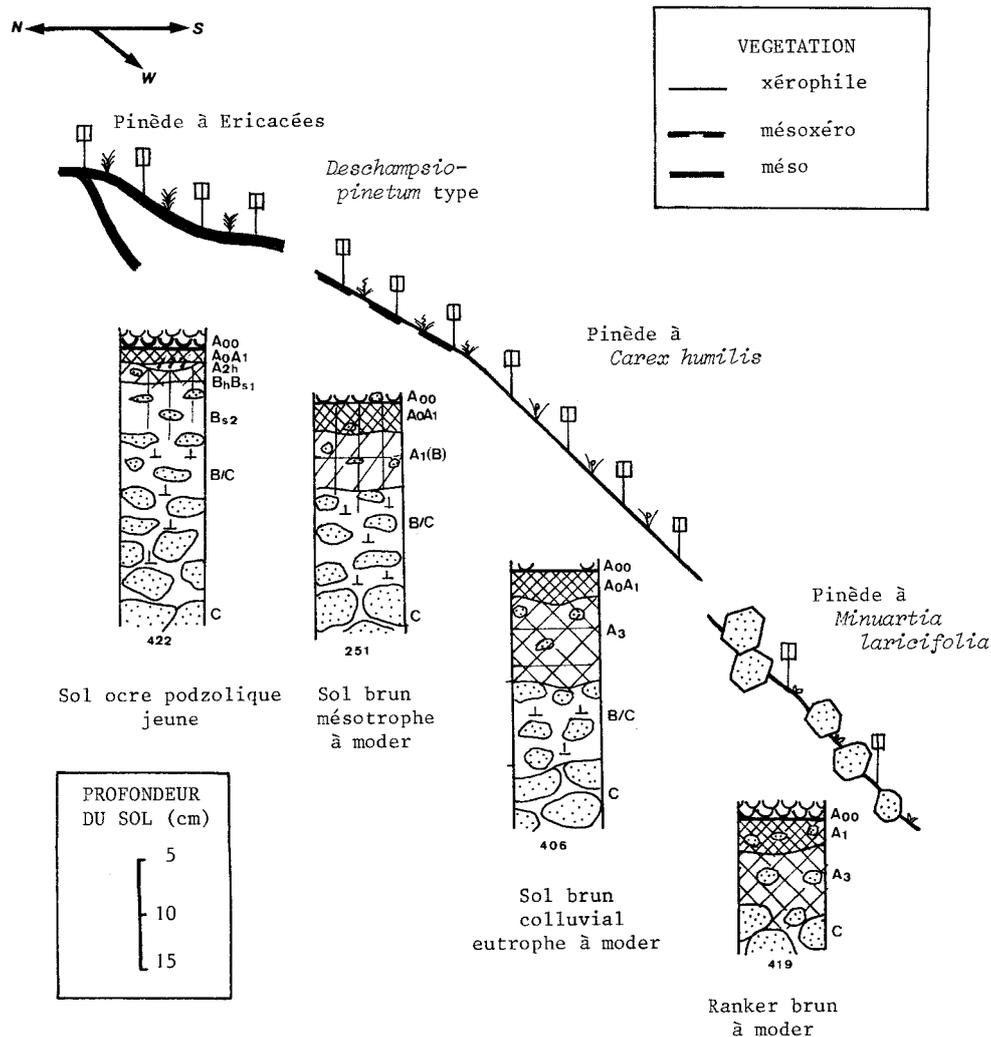


Fig.4.- Séquence sol-végétation de l'étage montagnard sur serpentinites

## 2) Description détaillée des profils

### a - Ranker brun à moder (relevé n°419)

#### $A_{00}$ (+ 5cm) :

- Litière d'aiguilles de Pin d'épaisseur variable, allant de 2 à 5 cm au milieu des touffes de *Minuartia laricifolia*.

#### $A_1$ (0-5 cm) :

- Couleur noir brunâtre à l'état sec (10 YR 3/2)
- pH (eau) légèrement acide : 5,82
- Horizon sablo-limoneux très humifère.
- Nombreux résidus végétaux peu décomposés et débris coprogènes, très abondants. Présence d'un lacs dense de filaments mycéliens à travers l'horizon.
- Structure particulaire.
- Limite inférieure rapide et tranchée avec un horizon éclairci  $A_3$ .

#### $A_3$ (5-15 cm) :

- Couleur brun-jaune grisâtre à l'état sec (10 YR 5/2);
- pH (eau) légèrement acide : 5,86.
- Fragments racinaires peu décomposés abondants mais peu de matériel humifié et absence d'éléments coprogènes.
- Squelette important de graviers. Texture sableuse.
- Structure particulaire.
- Limite inférieure diffuse avec C.

#### C :

- Couleur gris brunâtre à l'état sec (10 YR 6/1);
- pH (eau) très légèrement acide : 6,65.
- Horizon finement désagrégé, très sableux dans la terre fine ce qui permet une large pénétration de la matière organique. Nombreux cailloux (80 %).

b) Sol brun mésotrophe à moder  
(relevé n°251)

A<sub>oo</sub> (+ 1 cm) :

- Tapis mince d'aiguilles de Pin avec quelques moisissures à la base.

A<sub>o</sub> A<sub>1</sub> (0-5 cm) :

- Couleur brun-jaune grisâtre à l'état sec (10 YR 4/2);
- pH (eau) très fortement acide : 4,7.
- Moder très particulière avec boulettes coprogènes nombreuses localement. Lacis racinaire des herbacées presque entièrement limité à cet horizon.
- Texture sablo-limoneuse.
- Limite inférieure rapide avec (B).

A<sub>1</sub> (B) (-5-10 cm) :

- Couleur brun jaunâtre foncé à l'état sec (10 YR 5/3);
- pH (eau) légèrement acide : 6,2.
- Structure microagrégée, à très fins grumeaux, s'écrasant facilement.
- Texture limono-sableuse.

B/C (-10-30 cm) :

- Couleur jaune-orange foncé à l'état sec (10 YR /6,4);
- pH (eau) très légèrement acide : 6,55.
- Quelques grumeaux microagrégés. Nombreux cailloutis et cailloux (50 %).
- Texture limono-sableuse.

C :

- Couleur jaune foncé à l'état sec (2,5 Y 6/3);
- pH (eau) 6,4.
- Structure plus massive mais encore friable.
- Nombreux cailloux (60 %) dans le profil.
- Texture sablo-limoneuse.

c) Sol brun colluvial eutrophe à xéromoder (relevé n°406)

A<sub>oo</sub> :

- Souvent absent ou discontinu. Parfois tapis mince (1 cm) d'aiguilles de Pin avec une couche A<sub>oF</sub> due aux moisissures blanches très nettes à la base.

A<sub>o</sub> A<sub>1</sub> (0-3/5 cm) :

- Couleur noir brunâtre à l'état sec (10 YR 3/2);
- pH (eau) moyennement acide : 5,35.
- Xéromoder particulière avec quelques microagrégats et nombreuses boulettes coprogènes. Très aéré et friable.
- Texture limono-argileuse.
- Limite inférieure sinueuse mais nette avec (B).

A<sub>3</sub> (-5-20 cm) :

- Couleur jaune orangé foncé à l'état sec (10 YR 6/3);
- pH (eau) légèrement acide : 5,9.
- Structure à grumeaux friables en partie microagrégés.
- Présence du lacis racinaire de *Carex humilis* et de travées brunes de M.O. peu transformée.

- Nombreux graviers (15 %) avec dépôts limoneux. Bonne aération.
- Texture limono-sableuse.
- Transition rapide avec B/C.

B/C (-20-35 cm) :

- Couleur brun jaunâtre à l'état sec (10 YR 5/3);
- pH (eau) très légèrement acide : 6,4.
- Quelques fins grumeaux microagrégés mais structure plus massive tout en restant friable. Nombreux et fins canalicules assurant une bonne aération. Disparition des racines d'herbacées.
- Texture limono-sableuse. Nombreux cailloux (50 %).

C :

- Couleur jaune foncé à l'état sec (2,5 Y 6/3);
- pH (eau) très légèrement acide : 6,46.
- Structure massive, peu friable. Terre fine localisée, vides entre les cailloux (60 %).

d) Sol ocre podzolique jeune sur colluvium serpentinique  
(relevé n°422)

A<sub>oo</sub> (+3-0 cm) :

- Xéromor mince bien stratifié d'aiguilles de Pin et feuilles d'Ericacées :
- L : 1,5 à 2 cm.
- F : 0,5 cm avec moisissures blanches et aiguilles de Pin fractionnées.
- H : 0,5 cm - brune.

A<sub>o</sub> A<sub>1</sub> (0-2 cm) :

- Couleur brun-jaune grisâtre à l'état sec (10 YR 4/2);
- pH (eau) fortement acide : 4,88.
- Structure particulière avec petits agrégats biotiques et boulettes fécales.
- Entrelacement de matériel organique peu humifié relié par un réseau mycélien dense. Phase minérale dispersée de sables isolés et fins (0,1 / 0,2 cm) et de quelques granules (< 1 mm) de roche mère décomposée. L'ensemble revêt une disposition stratifiée. Quelques cailloutis.
- Transition rapide avec A<sub>2</sub>.

A<sub>2h</sub> (-2-3 cm) :

- Couleur jaune grisâtre clair à l'état sec (10 YR 6/2);
- pH (eau) fortement acide : 4,9.
- Horizon très mince, à peine exprimé, parfois discontinu.
- Structure finement microagrégée. Trame organique réduite, feutrage mycélien ténu. Phase minérale importante composée d'éléments très fins (< 0,1 mm) microagrégés. Aération importante mais vides plus fins qu'en A<sub>1</sub>. Absence de graviers.
- Transition progressive (2/3 mm) avec Bh/S<sub>1</sub>.

Bh/Bs<sub>1</sub> (-3-5 cm) :

- Couleur jaune-orange foncé à l'état sec (10 YR 6/3);
- pH (eau) fortement acide : 5,04.
- Structure très fortement microagrégée

sous une forme relativement tassée. Peu de racines et graviers. Altération in situ de la roche sur certains, donnant des petits amas rougeâtres.

### Bs<sub>2</sub> (-5-15 cm) :

- Couleur jaune-orange foncé à l'état sec (10 YR 6/4);
- pH (eau) moyennement acide : 5,5.
- Structure très fortement microagrégée avec des microagrégats de quelques 1/14 cm au cm. Disposition orientée des microagrégats en plaquettes parallèles à la surface du sol. Nombreuses racines

permettant une bonne aération. Cailloutis (10 %) disposés parallèlement à la surface du profil.

### BC (-15-45 cm) :

- Couleur jaune-orange à l'état sec (10 YR 7/4);
- pH (eau) légèrement acide : 6,1.
- Structure plus tassée ; plus massive tout en restant poreuse; part en poudre à l'écrasement. Disposition lamellaire parallèle à la surface du sol avec des fragments de roches en voie d'altération.

N.B.- Les analyses de caractérisation ne permettent qu'une faible discrémiation entre les deux sols. La dénomination sol brun mésotrophe est donnée en référence à la saleur S/T au pH7 qui ne dépasse guère 50 % en A<sub>1</sub> et (B) contre 70 % ou plus en A<sub>3</sub> et (B) du profil eutrophe. Le mode de prélèvements d'échantillons plus ponctuels permettrait, par contre, de rendre mieux compte de la divergence nette mais localisée à des plages d'acidification.

## B - CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES

### 1) Humus et évolution de la saturation du complexe d'altération dans les profils (tabl. II).

TABLEAU II

Caractéristiques du complexe d'échange des sols de la pinède sylvestre sur serpentinites en Val d'AYas

		pH		Matière organique		Bases échangeables m.e./100g				pH Sol (1)		pH 7 (2)		Acidité d'échange m.e./100g(l)		Mg <sup>++</sup> / Mg/	
		Eau	KCl	C %	C/N	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	T	V=	T	V=	Al <sup>+++</sup>	H <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	S
		(1)	(1)	(2)	(2)	m.e./100g	m.e./100g	m.e./100g	m.e./100g	m.e./100g	m.e./100g	m.e./100g	m.e./100g	m.e./100g	m.e./100g	m.e./100g	m.e./100g
S 419	AoA1	5,82	5,38	27,3	29,5	19,3	17,6	0,12	0,3	37,90	98	58,12	64	0	0,57	0,9	0,5
Faciès à <i>M. lariciifolia</i>	A3	5,86	5	4,53	29,4	5,26	8	0,03	0,07	13,63	98	22,8	59	0	0,27	1,5	0,6
(Ranker brun à moder)	C	6,65	5,9	1,4	20	0,46	9,45	0,035	0,02	9,99	100	11,9	84	0	0,07	20,5	0,95
S 251	AoA1	4,70	4,24	16,94	26,9	9,69	3,35	0,04	0,22	13,88	96	26,25	50	0,17	0,98	0,34	0,25
Faciès à <i>Minuartia lariciifolia</i> (B)	B <sub>1</sub> /B <sub>s1</sub>	6,20	5,14	1,21	17,3	2,25	2,85	0,02	0,025	5,22	98	10,6	55	0	0,12	1,3	0,5
- <i>Deschampsia flexuosa</i>	B/C	6,55	5,27	0,68	13,9	0,37	4,06	0,03	0,026	4,57	98	8,8	59	0	0,07	11	0,9
(Sol brun mésotrophe à moder)	C	6,40	5,60	0,37	13,2	0,10	3,53	0,05	0,014	3,86	98	6,9	64	traces	0,07	35	0,9
S 406	AoA1	5,35	4,68	23,76	31,6	14,1	7,04	0,03	0,25	21,92	98	42,2	52	0	0,5	0,5	0,3
Faciès à <i>Carex humilis</i>	A3	5,9	5	2,26	20,9	3,64	3,72	0,03	0,05	7,57	98	10,62	78	0	0,17	1	0,5
(Sol brun colluvial eutrophe à xéromoder)	B/C	6,4	5	1,01	20,6	1,42	3,51	0,07	0,03	5,13	98	8,8	68	traces	0,1	2,5	0,7
	C	6,46	5,09	0,74	17,6	0,52	3,30	0,035	0,015	3,96	98	6,9	68	traces	0,09	6,3	0,8
S 422	AoA1	4,85	3,96	27,07	38,7	14,5	5,45	0,05	0,4	21,63	94	46,87	57	0,28	0,94	0,4	0,3
Faciès à Ericacées	A <sub>2h</sub>	4,92	3,63	5,15	35,8	4,30	2,4	0,08	0,05	9,73	70	16,87	47	2,05	0,85	0,6	0,35
(Sol ocre podzolique jeune)	B <sub>1</sub> /B <sub>s1</sub>	5,04	3,40	2,57	33,4	2,4	1,67	0,15	0,03	8,85	48	7,5	59	3,89	0,71	0,8	0,4
	B <sub>2</sub>	5,50	3,42	1,23	22	0,75	1,62	0,17	0,02	6,96	37	10,62	37	4,22	0,18	2,2	0,6
	B <sub>2</sub> /C	6,10	4,02	0,23	12,8	0,15	1,47	0,11	0,01	2,62	66	6,25	33	0,72	0,15	9,8	0,8

Outre les critères habituels, taux de matière organique (C % et C/N), pH et somme des bases échangeables, nous avons déterminé l'acidité d'échange développée par les ions H<sup>+</sup> et Al<sup>3+</sup>, la capacité d'échange à pH 7 et au pH du sol et les taux de saturation correspondants.

Les humus, de faible épaisseur (0-5 cm) dans tous les sols, sont du type moder sauf dans la station à Ericacées où nous avons un moder-mor (C/N=38). Ces humus, favorisés par le climat sec et la nature du matériel organique sont à rattacher aux xéromoders à base d'aiguilles de Pin.

La saturation supérieure à 90 % au pH du sol, indique donc une accumulation biologique des bases dans tous les horizons A<sub>0</sub> A<sub>1</sub> (VEDY-DUCHAUFOR, 1971) avec prédominance du calcium. Dans les horizons A<sub>3</sub> et B, cette saturation se maintient mais avec cette fois une forte prédominance de Mg<sup>2+</sup> sur le calcium sans que celle-ci soit aussi excessive que dans la plupart des sols sur serpentinites (BERRE, 1970). Une exception cependant : le sol nettement acidifié sous Ericacées où le rapport Mg/Ca reste inférieur à 1 en profondeur.

Au total l'acidification reste très modérée dans tous les profils de la séquence évolutive, sauf pour le dernier terme qui se singularise très nettement par une acidité aluminique d'échange considérable (JUSTE, 1965) qui aura un effet ségréatif sur la végétation et favorisera les Ericacées. Cette évolution ménagée, quant à l'élimination des éléments basiques, est la résultante des effets de la roche-mère à réserve minérale très forte ( $Mg^{++}$ ) et secondairement du climat qui, bien que montagnard, marque des contrastes saisonniers importants favorisant en été le phénomène d'accumulation biologique en surface.

Les mesures de température (tabl. III) réalisées en juillet 1980 dans les différentes stations montrent des caractéristiques pédoclimatiques très comparables et relativement clémentes, sauf pour la station à Ericacées qui s'avère sensiblement plus froide dès -5cm et vraisemblablement moins soumise à déficit hydrique saisonnier.

TABLEAU III

Caractéristiques climatiques des sols sur serpentinites de la pinède sylvestre en Val d'Ayas.

		Température air à +5cm	Humidité % 0 + 5 cm	T° A <sub>∞</sub>	T° -5cm	T° -12cm
Groupement à <i>Carex humilis</i>		17° C	34,8	16°6	11°16	9°7
<i>Deschampsia-</i>	à <i>Minuartia laricifolia</i>	18°	39,8	16°8	12°66	11°1
<i>Pinetum sylvestris</i>	type	18°5	60,4	15°2	10°2	9°5
Groupement mésophile à Ericacées		18°	53,8	14°55	7°9	7°8

Rappelons que ce caractère de pédoclimat plus constant a été mis en évidence par TOUTAIN (1974) pour les humus podzoliques de type moder et mor. A l'opposé le faciès xérophile à *Minuartia laricifolia* occupe la station relativement la plus chaude.

## 2) Modes d'altération : texture du matériau et éléments libres (tabl. IV)

Tous les profils étudiés dénotent une altération physico-chimique limitée. On observe cependant une pierrosité supérieure du matériau des sols peu évolués sur colluvium. Le matériau le moins graveleux et le plus fin en B correspond au profil plus évolué du sol ocre podzolique.

Le taux d'Al libre est toujours insignifiant et l'altération est essentiellement ferrique et magnésienne, comme dans les éboulis alpins bien drainés (VERGER, 1979).

Les teneurs en "fer amorphe" (réactif de Tamm) et en "fer oxydé" (réactif de Mehra-Jackson) et leurs rapports, ne sont pas très aisément interprétables, par suite de la présence évidente dans la serpentinite des minéraux ferromagnésiens ou magnésiens très fragiles. Notons cependant des teneurs non négligeables en fer et en magnésium libres dès l'horizon C des deux profils peu évolués, avec des rapports  $Fer_{Tamm}/Fer_{Mehra-Jackson}$  très élevés, voire supérieurs à 1, ce qui indique la présence de minéraux fragiles et fraîchement altérés.

Par contre, dans les sols plus évolués, sur matériau plus stabilisé, dans le sol brun mésotrophe et surtout le sol podzolique, les teneurs en fer amorphe et en Mg libre sont beaucoup plus faibles. L'altérabilité actuelle de la roche est moindre. Les rapports  $Fer_{Tamm}/Fer_{Mehra-Jackson}$  plus faibles en C et plus variables, confirment ce fait et indiquent de plus une tendance à la redistribution, au moins pour le sol podzolique. A son niveau l'altération augmente fortement de C vers A et l'abondance du fer A<sub>2h</sub> montre la jeunesse du profil.

En conclusion, l'évolution pédologique, dans l'ensemble de la séquence, reste limitée : malgré la différenciation d'horizons hologéniques plus ou moins caractérisés, de litière et d'humus de type moder d'aiguilles de Pin, l'acidification du matériau reste très modérée et correspond à de la brunification, favorisée par les effets du colluvionnement et de la topographie. Par contre, l'évolution du sol sous Ericacées est plus marquée et de type indéniablement podzolique. On doit en rechercher l'explication dans sa situation par-

ticulière du point de vue bioclimatique (exposition plus froide), topographique (atterrissement sur pente faible) et altitudinale (limite supérieure de l'étage montagnard).

TABLEAU IV

Texture du matériau et éléments libres des sols de la pinède sylvestre sur serpentinites en Val d'Ayas

	pH	Pierrosité	H <sub>2</sub> O	M.O.	Granulométrie %			Eléments libres ‰ (2)				
					S	L	A	Fer		Al		Mg
	Eau	% (1)	%	%				T	M.J.	M.J.	M.J.	
S 419 Faciès à <i>M. laricifolia</i>	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	5,82	34	10	54,6				6	5,4	0,9	2,5
	A <sub>3</sub>	5,86	50	3,4	9,06				17,6	6,0	0,6	1,3
	C	6,65	65	2,4	2,8				15,4	6,1	0,6	1,4
S 251 Faciès à <i>M. laricifolia</i> - <i>D. flexuosa</i>	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	4,70	32	5,5	33,9				3,8	7,4	1,4	0,4
	(B)	6,20	44	1,4	2,42	52,5	30	5	2,6	9,4	1,2	0,6
	B/C	6,55	50	1,25	1,36	51,2	34	4,75	1,8	10,6	1,2	0,7
	C	6,40	52	1	0,74	57,4	28	4,5	2,1	3,7	1	0,7
S 406 Faciès à <i>Carex humilis</i>	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	5,35	25	9,9	47,52				3,2	5,2	0,9	1,1
	A <sub>3</sub>	5,9	71	2,4	4,52	41	35,5	5	5,3	7,1	0,9	0,8
	B/C	6,4	39	5,1	2	44,5	35	5,5	4,9	6,7	0,6	0,7
	C	6,46	61	2,8	1,48	52,6	33,5	4,3	5,6	5,6	0,5	0,7
S 422 Faciès à Ericacées	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	4,85	6	13,6	54,1				1,9	5	1,1	1
	A <sub>2</sub> h	4,92	6	3,7	10,3	28,5	46,5	6,5	6,7	7,6	0,6	0,5
	Bh/BS <sub>1</sub>	5,04	13	4,4	5,14	31,2	48,3	6,5	5,7	6,4	0,6	0,3
	BS <sub>2</sub>	5,50	37	3,9	2,46	37,1	48,5	1,8	3,8	9,0	0,9	0,3
	B/C	6,10	49	2,5	0,46	55,3	37	2	3,1	8,1	0,9	0,3

\* Fer total de la roche-mère : 9,4 %

(1) Pierrosité = Echantillon total - terre fine < 2 mm

(2) T : Extraction Tamm - M.J. : Extraction Mehra-Jackson

## CONCLUSION

L'étude comparée des microstations de la pinède montagnarde observées sur serpentinite dans le Val d'Ayas permet d'élaborer une interprétation d'ensemble à la fois phytosociologique et pédoécologique.

### 1) Phytoécologie : Relations groupements végétaux - situations topographiques - matériaux.-

Les pentes boisées d'exposition chaude de l'étage montagnard sur serpentinites en vallée d'Ayas portent plusieurs groupements végétaux qui marquent une série progressive des sols correspondants :

- sur éboulis grossiers à blocs, pauvres en matériel fin de surface s'installe un groupement xérophile que nous rattacherons, par sa richesse en *Minuartia laricifolia* et la présence de la plupart des espèces caractéristiques, au *Deschampsio-Pinetum sylvestris*. Il se développe sur un ranker brun à moder.

- Un faciès à *Carex humilis* lié à la richesse en bases du sol et qui occupe toutes les pentes fortes d'éboulis fins actifs. Le sol, relativement chaud et sec, est du type brun colluvial eutrophe à xéromoder de surface. Ce faciès peut se concevoir comme un groupement intermédiaire entre le *Deschampsio-Pinetum sylvestris* acidophile et le *Pineto-Caricetum humilis* plus basophile des vallées continentales sèches centralpines. Du fait des pentes fortes sur matériau serpentinique le groupement à *Carex humilis* occupe les plus vastes surfaces et constitue donc le faciès le plus typique de la pinède sylvestre sur ce type de roche.

- Sur pente moyenne d'éboulis fins non ou peu actifs, l'acidification de surface exclue les espèces les plus exigeantes dont *Carex humilis*. Le faciès, moins xérophile et plus frais se rapporte à un *Deschampsio-Pinetum sylvestris* développé sur sol brun mésotrophe à moder de surface.

- Sur pente faible, sol plus profond et frais un groupement mésophile dégradé, riche en Ericacées occupe le terrain. A la forte régression des xérophiles du *Deschampsio-Pinetum* (*Minuartia laricifolia*) correspond le grand développement des acidiphiles des *Vaccinio-Piceetea* et des subalpines: le groupement apparaît alors comme un groupement de transition entre la sous-association à *Vaccinium vitis-idaea* du *Deschampsio-Pinetum sylvestris* et le groupement acidiphile de la lande subcontinentale du *Calluno-Antennarietum* Tx.1937 (*Calluno-Genistetum germacicae*). Ce changement profond du couvert s'inscrit dans la dégradation du profil où une podzolisation modérée peut apparaître et donner naissance à un sol ocre podzologique jeune. Nous noterons à titre de remarque que GAUCKLER (1954) a décrit sur serpentinites, en Bavière du Nord, un *Pinetum sylvestris serpentanicum* dont les faciès à *Festuca glauca* (*Festuceto-Pinetum serpentanicum*) et à *Callune* (*Calluno-Pinetum serpentanicum*) présentent de fortes ressemblances avec ceux que nous avons décrits. Ils en diffèrent cependant par deux points importants: l'absence de *Minuartia laricifolia* toujours présente en Val d'Ayas, la présence d'*Asplenium serpentini*. Nous n'avons pas, jusqu'à ce jour, retrouvé cette espèce sur les sols issus de la désagrégation des serpentinites. Dans ces conditions il ne semble pas possible de rattacher la pinède sylvestre du Val d'Ayas sur substrat serpentinique au *Pinetum sylvestris serpentanicum*.

## 2) Relations entre les associations végétales et les caractères microstationnels des humus et des sols

### a) Cas général : sols peu évolués sur serpentinites : ranker et sols brunifiés

Si l'on excepte le cas bien limité et tranché du sol podzologique différencié, correspondant au groupement à Ericacées, le déterminisme des autres groupes végétaux paraît moins clair.

Les horizons de surface sont apparemment très semblables quant à la faible acidité et au taux de saturation élevé, au moins pour les deux groupements pourtant très différents du ranker à *Minuartia laricifolia* et du sol colluvial à *Carex humilis*. En fait, il faut rechercher la cause de cette divergence dans celle du mode d'évolution même de la litière :

- pour le ranker, caractère xéroacidiphile des microaccumulations de litières d'aiguilles (température plus élevée, pH acide : 5,1, porosité) entre les blocs rocheux qui déterminent des microsites favorables au *Minuartia*. Par contre les conditions proches de la saturation sur les plages affleurantes du matériau minéral sous-jacent, expliquent la présence éparse des espèces neutrophiles (*Coronilla*, *Polygala chamaebuxus*),

- pour le sol colluvial sur forte pente la litière au contraire ne trouve aucun piège pour s'accumuler. La station, bien exposée, à litière peu épaisse et très éparse, est indéniablement favorable aux neutrobasophiles comme *Carex humilis*, encore favorisé par le colluvionnement. La présence d'acidiphiles comme la Canche flexueuse est compatible avec l'acidification très localisée à quelques rares plages stabilisées d'accumulation des litières, mais que ne reflète pas l'échantillon moyen  $A_0 A_1$  que nous avons prélevé,

- pour le sol brun mésotrophe à Canche flexueuse on observe pour l'horizon moyen  $A_0 A_1$  une très légère acidification, à qui il est bien difficile d'attribuer la présence de *Deschampsia* et de *Minuartia* avec leur cortège de mésoxérophiles, d'autant plus que les horizons minéraux B et B/C sous-jacents sont proches de la saturation. Pour cette station il faut admettre des microsites d'acidification, comme dans le sol colluvial, mais plus étendus et surtout plus profondément incorporés au sol minéral pour former un horizon  $A_0 A_1$  de 5 cm ou plus. Cet horizon irrégulier et encore peu différencié est néanmoins suffisant pour favoriser le système racinaire des acidiphiles (*Deschampsia* et *Minuartia*) et exclure les espèces neutrobasophiles dont la présence était précédemment compatible avec l'effet général de déblayage de la litière sur pente plus forte. Sans doute cette explication peut être rapprochée de l'observation de RUNE (1953) qui, dans le Nord de la Suède, avait déjà noté que la Canche pouvait se développer sur des sols serpentiniques présentant dans leur ensemble une légère réaction basique. A la faveur de cet humus acide induit par les aiguilles de Pin se développent les nombreuses espèces acidiphiles fréquentes dans le *Deschampsio-Pinetum sylvestris* décrit par de nombreux auteurs dans les Alpes : BARTOLI (1966), GENSAC (1966-1977), FAURE (1968), BARBERO, BONO, OZENDA, MONDINO (1973), GAPILLOUT (1975), OZENDA, WAGNER (1975), BARBERO, LEJOLY, POIRION (1977)...

Ainsi, dans cette séquence, ranker-sol brun colluvial-sol brun mésotrophe, les exigences écologiques des espèces acidiphiles se trouvent réunies dans des microsites étroitement associés à l'accumulation de litière d'aiguil-

les de Pin. Celle -ci est génératrice d'humus acide dont l'acidité d'échange, en relation avec la composition des solutions rhizosphériques est dominée par l'action des protons, plutôt que des ions  $Al^{3+}$ , qui n'existent d'ailleurs pas plus dans les horizons organiques que minéraux.

La présence paradoxale de neutrophiles s'explique justement par l'absence de l'aluminium échangeable à ce stade de la pédogénèse. Seules des mesures dans des microsites, ponctuelles et saisonnières, de l'état du complexe absorbant des horizons  $A_0$   $A_1$  permettront d'apporter une explication précise à ce phénomène d'associations en micromosaïques.

Ces profils de la pinède sylvestre sèche, présentent des caractères propres à diverses classes de sols :

- des sols bruns, ils possèdent la morphologie du profil, avec un horizon (B) de teinte assez terne et jamais calcaire de même que l'humus. Des sols mésotrophes ou eutrophes, ils ont la richesse en cations échangeables (Ca et Mg) excluant l'aluminium échangeable. Enfin, le fer, libéré en priorité, avec le magnésium, par l'altération des minéraux primaires, est insolubilisé immédiatement sans migrations et caractérise sous forme encore peu cristallisée les horizons  $A_3$  et (B) cambiques. Un peu paradoxalement l'humus n'est jamais de type mull mais au contraire un xéromoder et même un xéromor qui induisent dans le sol des valeurs de C/N plus élevées que dans les sols bruns. Les influences climatiques et pédoclimatiques et la présence de résineux peuvent expliquer ce mode d'humification en surface.

- Par la dominance du magnésium dans le complexe absorbant ( $Mg/Ca > 1$ ) dans les horizons minéraux, la plupart de ces sols, encore peu évolués, manifestent la présence des serpentinites.

#### b) L'exception : la podzolisation sur serpentinites

Sous la pinède, la présence d'une matière organique acide de type moder à mor due aux aiguilles de Pin et aux Ericacées devrait favoriser la podzolisation. Nous avons vu que cette évolution ne se matérialise que rarement. PEDRO et BITAR (1966), expérimentalement, attribuent cette résistance au lessivage des sesquioxides et autres éléments, au rôle tampon du magnésium dans le milieu. Il est de fait que de tous les sols c'est le profil 422, le plus pauvre en  $Mg^{2+}$ , qui présente les caractères de podzolisation les plus nets. Le matériau est donc un facteur déterminant de la pédogénèse. Malgré une tendance bioclimatique vers l'acidification et la formation d'humus brut, la podzolisation reste modérée et limitée aux stations peu pentues de la limite supérieure de l'étage montagnard.

Ainsi, les conditions bioclimatiques de la pinède montagnarde du Val d'Ayas induisent un pédoclimat à drainage climatique limité, et présentant même un certain caractère mésoxérophile saisonnier. Dans ces conditions, les roches serpentiniques donnent lieu à une altération à caractère faiblement acide dans l'ensemble, correspondant à ces rankers, puis à des sols brunifiés eutrophes de pente.

Dans ce contexte de faible désaturation en bases les espèces herbacées acidiphiles comme le *Minuartia laricifolia* et la Canche flexueuse peuvent se développer, très localement, à la faveur de microsites d'acidification liés à la litière de la pineraie sylvestre.

Dans des conditions stationnelles extrêmes, à la limite supérieure de l'étage montagnard et sur des replats, des lentilles de sols plus évolués correspondant au terme ultime de l'évolution pédologique sur serpentinites, c'est-à-dire un sol ocre podzolique jeune correspondant à la pinède de l'étage montagnard supérieur à Ericacées.

## BIBLIOGRAPHIE

- BARBERO (M.), BONO (P.G.), OZENDA (P.), MONDINO (G.P.) 1973B.- Carte écologique des Alpes au 1/100 000 : feuilles de Nice-Menton et Vieve-Cuneo. Coupe des Alpes maritimes et ligu-  
res. Doc. Cart. Ecol., XII, 49-76.
- BARBERO (M.), LEJOLY (J.) et POIRION (L.) 1977.- Carte écologique des Alpes au 1/100 000. Feuille de Castellane. Doc. Cart. Ecol. XIX, 45-64.

- BARBERO (M.) et OZENDA (P.) 1979.- Carte de la végétation potentielle des Alpes piémontaises à 1/400 000. Doc. Carte. Ecol. XXI, 139-162.
- BARTOLI (Ch.) 1966.- Etudes écologiques sur les associations forestières de la Haute-Maurienne. Ann. Sc. Forest. t. XXIII, 3, 433-749.
- BERRE (A.) 1970.- Contribution à l'étude de pétrochimie de quelques serpentinites et des sols dérivés en climat tempéré. Thèse 3e cycle, Poitiers, 104 p.
- BERRE (A.), DUCLOUX (J.), DUPUIS (J.) 1974.- Pédogénèse sur roches ultrabasiqes en climat tempéré humide : les sols sur serpentinites du Limousin occidental. Bull. A.F.E.S., n°3.
- BRAUN-BLANQUET (J.) 1961.- Die inneralpine Trockenvegetation. Stuttgart.
- BRUCKERT (S.) et SOUCHIER (B.) 1975.- Mise au point d'un test de différenciation chimique des horizons cambiques et spodiques. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 280, série D, n°11, 1361-1364.
- CADEL (G.) et GILOT (J.Cl.) 1963.- Feuille de Briançon (XXXV-36). Doc. Carte Végét. Alpes I, 91-140.
- ELLENBERG (H.) 1963.- Vegetation mitteleuropast mit den Alpen-Stuttgart. Ulmer.
- FAURE (Ch.) 1968.- Feuille de Vif (XXXII-35). Doc. Carte Végét. Alpes VI, 7-70.
- GAPILLOUT (A.) 1975.- Carte écologique du bassin de Bourg-St-Maurice. Doc. Cart. Ecol., XV, 41-58.
- GAUCKLER (K.) 1954.- Serpentin vegetation in Nordbayern. Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft, 19-26.
- GENSAC (P.) 1967.- Feuilles de Bourg-Saint-Maurice et de Moûtiers. Les groupements végétaux au contact des Pessières de Tarentaise. Doc. Carte Végét. Alpes V, 7-61.
- GENSAC (P.) 1977.- Sols et séries de végétation dans les Alpes Nord-Occidentales (partie française). Doc. Cart. Ecol., XIX, 21-44.
- GUILLEMIN (M.) 1976.- Groupements végétaux, fertilité physique et fertilité chimique dans la chaîne de sols du Robinot (Vosges cristallines, Haut-Rhin), D.E.A. Nancy.
- JANIN (B.) 1968.- Une région alpine originale : le Val d'Aoste. Tradition et renouveau. Imp. Allier, Grenoble.
- JUSTE (C.) 1965.- Contribution à l'étude de la dynamique de l'aluminium dans les sols acides du Sud-Ouest Atlantique : application à leur mise en valeur. Thèse Nancy.
- KRAUSE (W.) 1958.- Andere Bodenspezialister. Handbuch der Pflanzenphysiologie, 755-806.
- OBERDORFER (E.) 1957.- Pflanzensoziologie. Suddentsche Pflanzengesellschaften. G. Fischer Ed.
- OZENDA (P.) 1966.- Perspectives nouvelles pour l'étude phytogéographique des Alpes du Sud. Doc. Carte Végét. Alpes IV, 198 p.
- OZENDA (P.) et WAGNER (H.) 1975.- Les séries de végétation de la chaîne alpine et leurs équivalences dans les autres systèmes phytogéographiques. Doc. Carte Ecol., XVI, 49-64.
- PEDRO (G.) et BITAR (K.E.) 1966.- Sur l'influence du type chimique de la roche-mère dans le développement des phénomènes d'altération superficielle : recherches expérimentales sur l'évolution des roches ultrabasiqes (serpentinites). C.R. Acad. Sci. Paris, 263, série D, 313-316.
- RUNE (O.) 1953.- Plant life on Serpentinities and related rocks in the North of Sweden. Acta phytogeographica Suecica, 31, 1-135, Uppsala.
- TOUTAIN (F.) 1974.- Etude écologique de l'humification dans les hêtraies acidiphiles. Thèse Doc. Etat, Univ. Nancy I, 114 p.
- VEDY (J.Cl.) et DUCHAUFOR (Ph.)- Cycle biogéochimique du calcium dans les premières phases de la pédogénèse en milieu acide. C.R. Acad. Sci., Paris, 272, série D, 588-591.
- VERGER (J.P.) 1979.- Origine des sols sur prasinites et serpentinites sous végétation pionnière en climat alpin (Val d'Aoste). Doc. Cart. Ecol. XXI, 127-138.