DOCUMENTS DE CARTOGRAPHIE ECOLOGIQUE, Vol. XIX, 21-44, 1977, Grenoble

SOLS ET SÉRIES DE VÉGÉTATION DANS LES ALPES NORD-OCCIDENTALES (partie française)

par Pierre GENSAC (1)

A- ETAGE COLLINEEN..... 22

Série interne de *Quercus pubescens* (8)- S. septentrionale de *Quercus pubescens* (9) S. de *Carpinus betulus* (15)- S. de la chênaie acidiphile (16)- S. alluviale de *Quercus robur* (17)- S. de *Alnus incana* (18)

B- ETAGE MONTAGNARD..... 29

Série mésophile de *Fagus sylvatica* (19)- S. acidiphile de *Fagus sylvatica* (20) S. de la hêtraie-sapinière (21)- S. intra-alpines de *Abies alba* et de *Picea abies* (22 et 23)- S. mésophile de *Pinus sylvestris* (24)- S. intra-alpine de *Pinus sylvestris* (25)

C- ETAGE SUBALPIN.....35

Série subalpine de *Picea abies* (27)- S. préalpine de *Pinus uncinata* (29)- S. intra alpine de *Pinus cembra* et de *Larix decidua* (31)

D- ETAGE ALPIN..... 38

Série acidiphile de *Carex curvula* (32)- S. baso-neutrophile de *Elyna myosuroides* (33)

CONCLUSION..... 39

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.....43

Résumé.- Les sols de chacune des séries présentes dans les Alpes françaises du Nord sont décrits, ce qui permet d'établir une correspondance et de montrer qu'un certain nombre de séries sont en relation avec une catégorie de sol strictement déterminée. En conséquence, des modifications à la classification des séries établie par OZENDA et WAGNER (1975) sont proposées, ainsi que de nouvelles dénominations en relation avec les caractères édaphiques. En conclusion, les grandes lignes de l'évolution des sols en pays de montagne de type alpin sont dégagées : importance de la pente qui détermine directement le degré d'évolution, nature chimique du substrat qui influence la végétation, rôle des propriétés physiques et, enfin, intervention du climat déterminant le type d'humus.

Summary.- The soil types of French Alps are described in relation with each type of vegetation. Relationships between soil and vegetation are emphazised. These relationships are quite clear and strictly restricted for some of the types of vegetation. Therefore, new names of vegetation types according to soil characteristics are proposed. It is a madification to the existing classification of OZENDA and WAGNER (1975). The main features of alpine mountain soil evolution are emphazised : scope determines the evolution of the soil, chemical composition of the substratum determines the vegetation, the climate determines the quality of the organic matter.

(1) Département d'Ecologie, Centre Universitaire de Savoie, BP 143, 73011 Chambéry

Depuis une quinzaine d'années, de nombreuses études régionales concernant la végétation des Alpes nord-occidentales ont paru, pour la plupart dans les "Documents pour la Carte de la Végétation des Alpes" et dans les volumes précédents des "Documents de Cartographie Ecologique". Chacune de ces études comportait un grand nombre d'observations sur les relations existant entre les séries de végétation et les sols correspondants. Nous possédions également, pour de nombreux profils pédologiques de la même région, des descriptions et des analyses physico-chimiques dont les résultats n'étaient pas encore publiés.

A partir de ces données très dispersées, il semble possible à l'heure actuelle de dresser *pour chaque série* (2) *un inventaire des différents sols* rencontrés en les regroupant suivant leur origine lithologique et en essayant de dégager leur genèse. Ce bilan synthétique est indispensable pour une définition édaphique des séries et présente donc un aspect fondamental important. Il permet également de conclure sur la fertilité et sur l'utilisation possible des différentes zones équipotentielles définies par les séries ; il peut, par exemple, être très précieux dans l'établissement des aménagements forestiers puisqu'il repose essentiellement sur l'étude des sols climaciques.

Nous pensons inutile de donner ici la définition de la notion de série de végétation, maintenant classique et qui a servi d'ailleurs de base aux études régionales évoquées ci-dessus. Nous rappellerons seulement que ces études ont donné lieu à une synthèse établie par le Laboratoire de Botanique et Biologie Végétale de Grenoble sous forme d'une carte de la végétation potentielle au 1/400 000 des Alpes nord-occidentales et de la notice accompagnant cette carte (1974), et que OZENDA et WAGNER (1975) viennent de proposer, pour l'ensemble de l'arc alpin, une nomenclature générale et une définition des séries de végétation qui s'accompagne de tableaux de concordances avec les unités utilisées par les auteurs travaillant d'après d'autres systèmes. Nous nous en tiendrons ici à la nomenclature adoptée dans ces deux travaux de synthèse de 1974 et 1975 ; néanmoins, à la lumière de nos investigations pédologiques, nous aurons à proposer dans certains cas de nouvelles dénominations et de nouvelles subdivisions, comme il est indiqué plus loin dans le Tableau I.

Les relations trophiques entre les végétaux et le sol s'établissent principalement au niveau des horizons superficiels. C'est pourquoi nous nous limiterons, la plupart du temps, à l'étude détaillée de ces niveaux, en fournissant pour les valeurs des différents paramètres, soit une fourchette de variation, soit, quand celle-ci est étroite, une valeur moyenne. Pour éviter les redondances, nous avons retenu les valeurs du pH, du carbone organique total, du rapport C/N, des carbonates, de la capacité totale d'échange exprimée en meq pour 100 g de sol sec, et du taux de saturation, considérant ces paramètres comme les plus fondamentaux quant à la nature des horizons A. Nous renvoyons pour les horizons profonds aux différentes études détaillées. La nomenclature des sols est celle adoptée par la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (1967) où nous avons pu trouver, la plupart du temps, le groupe ou sous-groupe de sol correspondant.

Le milieu montagnard est caractérisé par sa diversité. Là, plus qu'en aucun autre type de région, le climat, la végétation sont sujets à de rapides variations dans l'espace et dans le temps. Il en est de même pour le sol. La climatologie et la phytogéographie ont précédé la pédologie dans leur apparition, si bien que cette dernière manifeste un retard important dans l'avancement de son étude et que les connaissances sur les sols de montagne sont jusqu'à présent très succinctes. Nous proposons donc ici un canevas dressé sur la trame des séries de végétation qui, nous l'espérons, apportera quelques éclaircissements sur les interdépendances complexes existant dans les écosystèmes de montagne.

A.- ÉTAGE COLLINÉEN

8- SÉRIE INTERNE DE QUERCUS PUBESCENS (3)

a - Faciès acidiphile à *Quercus petraea*

Il se rencontre uniquement sur les grès et les schistes du Houiller briançonnais en Maurienne et en Tarentaise (GENSAC 1968, a) et sur les schistes cristallins de la vallée de l'Arve (RICHARD 1975). Il ne possède donc qu'une faible extension et doit son existence à la sècheresse et à la chaleur qui règnent à la base des adrets les plus internes.

(2) Le concept de Série de Végétation est pris dans le sens "Ensemble de groupements végétaux procédant les uns des autres, en dehors de toute intervention humaine, dans une situation écologique donnée".

(3) Les numéros des séries sont ceux de OZENDA et WAGNER (1975)

Sur ces roches fortement acides se constituent des *rankers à mull acide ou à mull-moder*. Le sol est très superficiel, l'horizon humique atteignant au maximum une dizaine de cm, au-delà desquels l'enrichissement en cailloux est très rapide.

- le pH de l'horizon A_1 reste compris entre 5 et 6,2 ;
- les débris végétaux ne s'accumulent pas à cause de la pente et le carbone organique n'est jamais important (de 2,6 à 3,9 %) ;
- la vitesse de minéralisation est relativement rapide pour un sol acide, le C/N se trouvant entre 13 et 19.

La quantité d'eau utilisable (comprise entre la capacité au champ et le point de flétrissement) est faible, mais cela s'explique facilement par la richesse en squelette, la texture grossière, la faible quantité de matière organique intégrée au sol et la faible profondeur. Tous ces éléments contribuent à accentuer la xéricité de ce groupement d'adret, ce qui explique la présence d'un groupement de la série du Chêne pubescent sur roche acide.

Si la capacité totale d'échange est faible, entre 20 et 30, le taux de saturation est bon, ce qui permet une alimentation convenable en cations absorbables. Les bois peu productifs de ce faciès pourraient donc supporter un enrésinement modéré.

b - Faciès calcaire à *Quercus pubescens* et *Pinus sylvestris*

C'est le plus fréquent et le plus typique. Il est très proche du climax de la série septentrionale du Chêne pubescent (10). Très développé en Tarentaise (GENSAC 1968, a), où la zone subbriançonnaise est bien interne, il n'a été décrit qu'à l'état de lambeaux en Maurienne (BARTOLI 1966) où la série intra-alpine de *Pinus sylvestris* (25) semble déborder sur l'étage collinéen. Il est principalement installé sur les calcaires liasiques et le flysch éocène qui servent de support à des *xérorendzines peu humifères*, des *rendzines modales à mull calcique* et des *rendzines très humifères à mull-moder calcique*, donc des sols appartenant tous à la sous-classe des sols carbonatés. Leurs caractères généraux sont les suivants :

- faiblesse de la profondeur du sol, A_1 ici encore ne dépasse pas 10 cm ;
- pH toujours basique et même élevé puisqu'il reste compris entre 7,6 et 8,1. De ce fait, le carbonate de calcium est toujours présent en grande quantité dans la terre fine, entre 6,6 et 27,8 %, de même que le calcaire actif ;
- taux de carbone organique variable suivant les différents types de sol et passant de 1,8 % (xérorendzines) à 12,3 % (rendzines très humifères) ;
- rapport C/N très différent suivant la nature du sol et la quantité de matière organique ; il oscille entre 9 et 19, d'où une variation dans la nature de l'humus ;
- forte capacité totale d'échange entre 50 et 120.

Dans ces sols, la sècheresse climatique se trouve donc renforcée par la faible profondeur, la forte pente et la texture. Néanmoins, elle peut être considérablement atténuée par la présence d'une quantité notable de matières organiques, ce qui autorise l'installation d'essences plus exigeantes vis-à-vis de l'humidité et, en particulier, celle du Hêtre qui peut ainsi "descendre" dans le Collinéen (GENSAC 1968,a). L'érosion très active étant donnée la déclivité d'une part, la réserve calcique très abondante d'autre part, la pédogenèse se trouve considérablement ralentie, la seule évolution possible étant la brunification, processus très souvent rencontré à des altitudes supérieures.

Dans les Alpes internes, où les gypses triasiques affleurent sur de vastes surfaces, l'aspect xérique des adrets peut se trouver renforcé par l'existence de *sols gypsiques* interdisant l'installation de groupements forestiers. Ces sols de texture sableuse sont très perméables donc d'une faible capacité de rétention en eau. Ils présentent une forte teneur en sulfate de calcium soluble et la pression osmotique de la solution du sol est alors très élevée. Ces sols sont très secs et en exposition Sud ne portent que des groupements herbacés riches en Lichens et appartenant au *Fulgension* (BRAUN-BLANQUET 1961). Ce n'est qu'en exposition intermédiaire que la Chênaie pubescente peut s'installer sur une xérorendzine gypsique où la roche-mère sans argile ne permet pas la constitution d'un humus de type mull (GENSAC 1969).

La série interne du Chêne pubescent possède donc un double déterminisme :
- l'action du climat plus sec des Alpes internes est renforcée par celles du substrat et du sol ;
- il s'agit d'une série très nettement définie par un lot important d'espèces xéro-thermophiles. Par sa position et la qualité de ces sols, elle possède d'étroites relations avec la série intra-alpine de *Pinus sylvestris* (24).

9- SÉRIE SEPTENTRIONALE DE QUERCUS PUBESCENS

Dans les Alpes nord-occidentales externes, la Chênaie pubescente ne se rencontre que sur les adrets dont le substrat est carbonaté, les terrains obéissant

à d'autres conditions étant occupés par des séries différentes. Cette série est loin d'être homogène et différents faciès peuvent être distingués en relation avec les caractères lithologiques du substrat.

a - Faciès ouvert à Buis et plantes méridionales

Il est installé sur les *calcaires durs et compacts* du Tithonique et de l'Urgonien des chaînons jurassiens et le long des grandes cluses traversant les chaînes subalpines. Ces calcaires constituent de grandes dalles calcaires et des éboulis à gros blocs ; ces formations sont donc très sèches ce qui explique l'ouverture du groupement et la présence de colonies d'espèces méridionales. La dureté de la roche-mère empêche qu'un mélange intime ait lieu entre matières organique et minérale. Le sol évolue très peu et forme généralement un *lithosol calcaire à mull calcique* :

- à pH alcalin (7,4 - 8,1) ;
- à carbonate de calcium toujours présent et souvent très important, jusqu'à 56 % ;
- à matière organique très irrégulièrement répartie et fonction de la végétation, le carbone organique variant de 2 à 10 % ;
- cette matière organique est bien minéralisée, le C/N étant toujours inférieur à 12.

Cependant la couverture végétale et la densité du Buis peuvent permettre la constitution d'un *sol humifère litho-calcique à moder calcique* où les feuilles très coriaces et riches en lignine s'accumulent en surface et ne sont que très lentement décomposées. L'horizon humique possède alors un pH acide (6,5), il est très riche en matière organique (C = 30 %), faiblement minéralisée (C/N = 25) ; il s'agit d'un moder calcique dont le complexe absorbant reste saturé.

La dureté de la roche-mère interdit toute évolution. Il s'agit de groupements végétaux se trouvant sous l'étroite dépendance du substrat et d'aucune fertilité forestière.

b - Faciès type : Chênaie pubescente à Buis

Ce sont les calcaires marneux du Crétacé inférieur (Berriasien et Valanginien inférieur) qui servent de substrat à ce type de groupement. Ils provoquent la constitution de vastes talus dont le sol est très riche en terre fine et plus particulièrement en argile qui peut donc floculer facilement avec la matière organique.

Le sol est une *rendzine modale à mull calcique* dont la litière, importante en hiver, disparaît totalement pendant l'été :

- l'horizon A_1 possède un pH voisin de la neutralité (6,5 - 7,5) ;
- le carbonate de calcium est au moins présent à l'état de trace ;
- la matière organique se trouve en faible quantité, le carbone étant de l'ordre de 6 % ;
- en surface, la minéralisation est relativement active, C/N de 17.

Sur forte pente, le ravinement intense entraîne la terre fine si bien que seul un lithosol peut s'établir, colonisé fréquemment par le Pin sylvestre dont l'accumumation sporadique des aiguilles fournit un moder calcique. Il s'agit alors, dans les cas les plus favorables d'une évolution vers un *sol humifère litho-calcique à moder calcique*

Dans tous les cas, ce faciès est peu productif pour des raisons climatiques. C'est la zone d'élection de la vigne et, avec une irrigation importante, des vergers.

c - Faciès à Charme

Toujours aux expositions chaudes, au niveau de l'étage collinéen, le Charme peut apparaître dans la Chênaie pubescente à la faveur d'un enrichissement du sol en particules fines, ce qui est le cas sur les marnes hauteriviennes, les schistes calcaires liasiques, la molasse et parfois sur les moraines très carbonatées. Comme dans le groupement type, le sol est une *rendzine modale à mull calcique* , dont les caractères sont très voisins. Cependant, la matière organique tend à s'accumuler en surface et parvient à dépasser 20 %, mais alors le carbonate de calcium est constamment présent, le sol correspond alors à une *rendzine brunifiée humifère* et sert d'intermédiaire par passage progressif au sol brun calcique qui caractérise la Charmaie sur roche carbonatée (15).

La série septentrionale du Chêne pubescent est caractérisée par des sols calcimorphes à faible évolution, lithosols calcaires, sols litho-calciques humifères, rendzines modales, parfois rendzines brunifiées dont le complexe absorbant est toujours saturé. En aucun cas, dans les Alpes nord-occidentales externes, la Chênaie pubescente ne s'installe sur roche siliceuse ou riche en silicates, les précipitations et les facteurs climatiques en général provoquant l'installation d'autres séries (15 et 16).

15- SÉRIE DE CARPINUS BETULUS

Très répandue en Europe moyenne, cette série se trouve à sa limite méridionale dans les Alpes nord-occidentales, ses caractères floristiques étant néanmoins très bien établis, de même que ses caractères édaphiques voisins des groupements suisses décrits par ETTER (1943). L'évolution des sols se déroule différemment suivant que l'origine est une roche-mère carbonatée ou non.

Roches-mères carbonatées

La série se développe dans les expositions fraîches en bas de pente d'éboulis calcaires (urgonien par exemple) ou sur les calcaires marneux. Ils se constituent alors des dépôts colluviaux riches en particules argileuses formant à leur surface des sols frais généralement bien aérés. Ils correspondent au faciès type de la Chênaie à Charme ou au faciès de talweg riche en Frêne. Le sol moyen est un *sol brun calcique épais à mull eutrophe*, de profil A(B)C, l'horizon (B) étant riche en terre fine (squelette inférieur à 25 %) et en argile dont le taux dépasse 20 %. Le plus souvent, les horizons de surface sont complètement décarbonatés sur une plus ou moins grande profondeur. L'horizon A_1 possède les caractéristiques suivantes :

- pH légèrement acide compris entre 6,2 et 6,7, l'abondance d'ions Ca^{2+} freinant l'acidification. On passe d'ailleurs en profondeur à des pH plus alcalins ;
- capacité totale d'échange élevée supérieure à 30 meq avec un coefficient de saturation voisin de 100 ; il s'agit donc d'un sol richement pourvu en cations échangeables ;
- taux de matière organique moyen, C de l'ordre de 6 %, pouvant devenir élevé et atteindre 15 %. Cette matière organique est généralement bien minéralisée, avec un C/N voisin de 13 qui s'élève, en même temps que s'accroît la quantité de carbone, pour atteindre 17.

Roches-mères peu ou non carbonatées

La Chênaie à Charme s'installe sur les schistes argileux calcaires ou non calcaires du Lias, sur les dépôts colluviaux provenant de schistes cristallins, sur les moraines et les alluvions fluviatiles constituant des talus en bordure des terrasses. Le profil est alors complètement décarbonaté. Dans le cas des roches-mères carbonatées, la texture et le drainage ont favorisé cette décarbonatation. Il se constitue alors un *sol brun modal eutrophe* épais à texture semblable au précédent :

- le pH est aussi légèrement acide, entre 6,4 et 7, mais il ne s'accroît pas en profondeur ;
- la capacité totale d'échange est plus faible, de l'ordre de 10 meq, mais l'état de saturation reste le même ;
- le taux de matière organique est généralement plus faible puisque le carbone reste aux alentours de 3 %. La vitesse de minéralisation reste du même ordre.

Il s'agit donc comme dans le cas précédent d'un sol biologiquement très actif qui s'en différencie surtout par ses horizons profonds.

Roches-mères acides

La Chênaie à Charme dans son faciès le plus acidophile, riche en Châtaignier et en espèces de la Chênaie acidiphile (16), s'installe sur les poudingues pontiens du Plateau de Chambaran (DOBREMEZ 1970). Il s'agit alors d'un *sol brun lessivé à mull acide* dont le pH, de l'ordre de 5, est dû à la roche-mère. Les cations échangeables restent néanmoins en quantité suffisante.

Dans le cas particulier de la forêt d'Evieu, Chênaie à Charme installée dans la plaine alluviale du Rhône (PAUTOU et GENSAC 1973), le sol brun initial s'est transformé en absence de drainage en un *sol hydromorphe peu humifié à pseudogley*, par suite de l'installation d'une nappe perchée; l'humus est un mull eutrophe.

La série de la Chênaie à Charme présente donc une très grande homogénéité de point du vue pédologique :

- abondance de l'argile dans tout le profil ;
- horizons superficiels sans carbonate ;
- complexe absorbant au voisinage de la saturation, l'humus étant au minimum mésotrophe ;
- intense activité biologique.

Ces caractères assurent une grande homogénéité floristique à la série dont le déterminisme semble donc en grande partie édaphique.

Cet ensemble de caractères a permis la mise en valeur de toutes les parties plates sous forme de polycultures variées et de pâturages.

16- SÉRIE DE LA CHÊNAIE ACIDIPHILE

La Chênaie appartenant au *Quercion roboris-petraeae* se répartit en deux zones distinctes, l'avant-pays et les Alpes intermédiaires, dont les substrats sont très différents. Il convient donc de distinguer dans ce cas deux séries pédogénétiques.

a - Roches-mères sédimentaires de l'avant-pays

Il s'agit de roches sédimentaires récentes, terrasses fluviatiles, fluvio-glaciaires, moraines ou bien de grès molassiques, qui sont représentées sur de vastes surfaces dans les collines de l'avant-pays dauphinois et savoyard. Ces roches sont meubles ou de désagrégation facile, si bien que, si elles présentent au départ une certaine proportion de carbonates, ceux-ci disparaissent rapidement sur toute la profondeur du profil.

Suivant la nature de la roche-mère et la richesse en lignine des débris végétaux accumulés en surface, ces substrats évoluent vers des *sols bruns lessivés à mull acide* et des *sols lessivés acides à mull-moder*, où la litière reste toujours mince alors que l'horizon A_1 épais présente les caractères suivants :

- pH moyennement acide de 4,3 à 6;
- faible capacité totale d'échange, inférieure à 30 meq, le taux de saturation variant de façon importante et pouvant s'abaisser jusqu'à 15 %. L'humus est donc oligotrophe ;
- faible teneur en matière organique qui est facilement entraînée pour sa plus grande partie. La vitesse de minéralisation est relativement lente, le C/N étant compris entre 15 et 30.

L'horizon A_2 est peu marqué ; l'horizon B est textural et, très généralement, on note une augmentation du pH en profondeur.

En s'élevant en altitude, l'humus évolue vers un moder en même temps que le Hêtre devient plus abondant (RICHARD 1973) ; on passe alors progressivement à la série acidiphile de *Fagus sylvatica* (20). En profondeur, l'enrichissement en argile provoque un engorgement superficiel et la création d'une nappe perchée, si bien que le sol devient un *sol lessivé acide à pseudogley*, l'humus correspondant à un mull-moder, que l'on trouve très souvent sous les faciès à Molinie et les faciès à Bouleau comme sur le Plateau de Chambaran (DOBREMEZ 1970).

b - Roches-mères cristallines des Alpes intermédiaires

Le socle en affleurant provoque une acidification très marquée des sols et, par voie de conséquence, de la végétation. Sur les portions des vallées importantes, Maurienne, Tarentaise, Doron de Beaufort, Arve, traversant les massifs cristallins externes, l'étage collinéen est donc occupé en grande partie par la Chênaie acidophile. Les roches acides dures donnent des pentes abruptes propices à cette série alors que le colluvionnement en bas permet l'installation de la Chênaie à Charme (15), d'où la fréquence des intrications entre les deux séries à ce niveau.

Suivant la déclivité, et donc l'intensité de l'érosion, le sol évolue d'un *ranker à moder* sur une forte pente à un *sol lessivé faiblement podzolique à moder* sur une pente plus faible. Dans tous les cas, l'horizon A_1 possède un ensemble de caractères :

- pH très acide, compris entre 4 et 5, ce qui est dû en partie à la roche-mère, mais également à la richesse en lignine de la végétation par suite de l'apparition des Ericacées ;
- capacité totale d'échange élevée en surface, à cause de l'importance de la matière organique, mais le faible taux de saturation (20-25) limite l'alimentation en cations indispensables ;
forte quantité de matière organique, le taux de carbone étant supérieur à 10 % en surface. Cette matière organique est mal décomposée puisque le C/N reste de l'ordre de 25.

Dans toute la série, un enrésinement modéré semble possible en prenant garde de ménager les feuillus en sous-étage pour pallier à une possible podzolisation totale et irréversible. Les sols manifestent peu d'aptitudes culturales, et d'autant plus que les pentes sont fortes. Les forêts jouent néanmoins un rôle important de protection des sols contre l'érosion au voisinage des fonds de vallée où se concentrent habitats, industries et voies de communication.

La série possède des caractères édaphiques très homogènes dont la pauvreté en cations absorbables est le plus marquant.

17- SÉRIE ALLUVIALE DE QUERCUS ROBUR

Elle est installée sur le fond plat des vallées constitué par des alluvions fluviatiles modernes dont la composition demeure assez constante avec, en particulier,

la présence, dans la grande majorité des cas, de carbonate de calcium. La végétation et les propriétés du sol s'y trouvent strictement liées au niveau de la nappe phréatique ; il s'agit donc d'une hydrosérie. Pour les groupements forestiers, on peut distinguer une Peupleraie-Frênaie à Chêne pédonculé lorsque la nappe se trouve à plus d'un mètre de profondeur et une Aunaie glutineuse pour des profondeurs plus faibles.

a - Peupleraie-Frênaie à Chêne pédonculé

Son sol présente des caractéristiques constantes, le profil correspondant à un *sol brun calcaire alluvial à mull calcique* où la litière très importante disparaît ensuite complètement et où l'horizon A_1 est très mince, mal différencié des horizons profonds avec :

- un pH alcalin 7,3-7,8 ;
- une grande quantité de carbonate de calcium ;
- une forte capacité totale d'échange, supérieure à 30 meq, complètement saturée, donc une grande richesse en cations assimilables ;
- une quantité de matière organique assez faible puisque inférieure à 10 % (le C organique se situe entre 3 et 4,5 %). L'activité biologique est très intense, le C/N étant compris entre 10 et 13.

L'horizon (B) est très profond, de texture limoneuse fine - limono-sableuse, le drainage de surface est donc bien assuré.

Il s'agit bien d'un excellent sol, susceptible d'une alimentation en eau favorable, d'où sa transformation en culture et son utilisation surtout pour le Maïs. Le terrain plat a facilité également l'implantation des villes importantes, Grenoble, Chambéry, Annecy.

b - Aunaie glutineuse

Elle occupe les bas-fonds correspondant très souvent à d'anciens méandres. La proximité de la nappe provoque la constitution d'un *sol brun calcaire alluvial à gley peu profond*, dont l'humus est un hydromull calcique ou un anmoor. Les caractères physico-chimiques des horizons de surface situés au-dessus du front de la nappe sont voisins de ceux du sol précédent ; la matière organique est cependant plus importante et dépasse les 10 %, alors que la texture plus fine devient argilo-limoneuse. Les horizons de gley apparaissent dès une profondeur de 10 cm pour les formations forestières bien développées.

c - Autres formations

Les terrains appartenant à cette série portent sur de vastes surfaces des formations non forestières le plus souvent anthropiques.

- Prairies marécageuses

Elles constituent des auréoles autour des zones déprimées où on peut observer une séquence de sols influencés par le niveau de la nappe (PAUTOU et GENSAC 1973), soit à partir des zones les plus élevées :

- Prairie à Graminées	Sol brun alluvial à mull calcique
- Cariçaie	Sol brun alluvial à gley peu profond

Cette séquence caractérisée pédologiquement par les différences morphologiques des profils ne se traduit pas par de grandes modifications physico-chimiques, seule la texture devient progressivement plus fine. Les caractères biologiques sont cependant très modifiés par le passage progressif à une saturation quasi-permanente de la surface.

- Phragmitaies

Elles couvrent d'importantes surfaces avec un sol humique à gley, l'humus correspondant à un hydromull ou à un anmoor suivant la profondeur de la nappe, la structure subissant également des modifications lors des cycles saisonniers émersion - immersion. Les autres caractères physico-chimiques restent néanmoins permanents. L'horizon A_1 peu épais possède un pH alcalin dû à la présence d'une quantité importante de carbonate de calcium, la capacité totale d'échange est élevée, alors que le taux de matière organique se situe au voisinage de 10 %. La vitesse de minéralisation est grande, C/N voisin de 11.

- Tourbières

Localement, des tourbières se sont installées par comblement d'eaux libres comme dans les marais de Lavours et en Chautagne. La surface est constamment saturée et le sol à tourbe semi-fibreuse mésotrophe, le pH étant voisin de la neutralité (AIN et PAUTOU 1969 ; PAUTOU et coll. 1971). La richesse en cations absorbables en permet une mise en culture par drainage.

18- SÉRIE DE ALNUS INCANA

Cette série est installée au voisinage immédiat des cours d'eau. Comme pour la série 17, le substrat est composé d'alluvions modernes mais correspondant à une phase très récente et où d'importantes modifications peuvent encore se manifester. De ce fait, la texture est plus grossière et typiquement sableuse, donc très différente des sols de la série précédente. On peut encore parler dans les parties basses des vallées correspondant à l'étage collinéen d'un *sol brun calcaire alluvial à mull calcique*, en signalant la richesse en squelette qui dépasse généralement 70 % et la texture sableuse du peu de terre fine. Il en résulte un sol très aéré et une très bonne alimentation en oxygène des racines profondes malgré la proximité et les oscillations de la nappe phréatique. L'horizon A_1 est très mince, peu différencié des horizons profonds. Il présente les caractères physico-chimiques suivants :

- pH nettement alcalin ;
- présence de carbonate de calcium ;
- taux de matière organique inférieur à 10 % dans la terre fine ;
- capacité totale d'échange très variable mais toujours à l'état de saturation.

Il s'agit dans son ensemble d'un sol très jeune qui peut évoluer progressivement vers un sol brun calcique modal portant alors une Frênaie avec présence possible du Chêne pédonculé. La composition du tapis herbacé est alors très voisine de celle de la Charmaie, en accord donc avec la composition du sol.

Sur les rives du cours d'eau, le sol est soumis à des remaniements et à partir du sol minéral brut d'apport alluvial, où seules les espèces annuelles peuvent se développer, se constitue un sol peu évolué d'apport alluvial, très riche en carbonate de calcium avec peu de matière organique,servant de support à une Saussaie à *Salix alba* pouvant être soumise à une immersion temporaire. La séquence de ces sols liés au temps d'immersion et la profondeur de la nappe sont donc parallèles à l'évolution de la végétation (FAUTOU 1975).

Sol minéral brut d'apport alluvial	Groupement de plantes annuelles
Sol peu évolué d'apport alluvial	Saussaie à *Salix alba*
Sol brun calcaire alluvial	Aunaie à *Alnus incana*
Sol brun calcique modal	Frênaie à *Quercus robur*

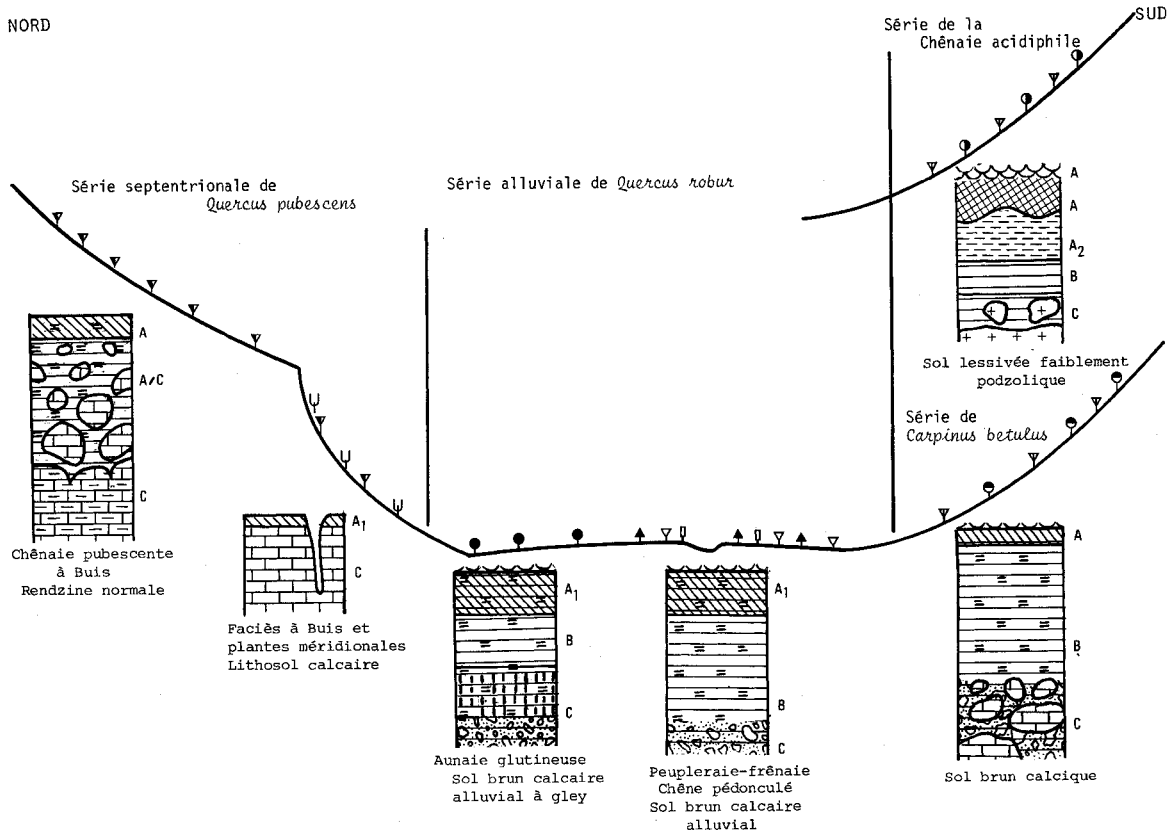


Fig.1- Correspondances Séries de végétation - Sols dans l'étage collinéen.
(les symboles de la végétation sont de GAUSSEN, ceux des profils pédologiques de DUCHAUFOUR)

La série, commune dans l'étage collinéen, se poursuit dans le Montagnard, mais la proximité des zones d'érosion fournissant les apports servant de substrat empêche un mélange intime si bien que le sol se trouve directement sous l'influence de la roche-mère dominante du bassin versant. Dans les régions calcaires, le sol est voisin de celui décrit précédemment. Dans les régions cristallines et siliceuses, le substrat très acide influe sur le type d'humus qui correspond à un mull acide ou à un moder ; de ce fait la végétation est fortement modifiée et les résineux, Epicéa et surtout Pin sylvestre, font leur apparition à proximité immédiate des cours d'eau.

Une Aunaie à *Alnus incana* peut également se développer au fond des talwegs en plein coeur des Hêtraies-Sapinières et Sapinières de la série 21 (TROSSET 1975). Son sol est un sol à gley à hydromull ou anmoor, à pH neutre,souvent très riche en matière organique.

Les deux hydroséries principales des Alpes nord-occidentales présentent donc des sols analogues quant aux propriétés chimiques mais très différents quant à la texture et, par voie de conséquence, à leur aération.

B._ ÉTAGE MONTAGNARD

19- SÉRIE MÉSOPHILE DE FAGUS SYLVATICA

Dans les Alpes nord-occidentales, cette série n'est bien définie que sur calcaire et se substitue en altitude à la série septentrionale de *Quercus pubescens* (9). Parallèlement, le sol se modifie très généralement par brunification.

a - Roches-mères carbonatées tendres

Il y a alors mélange intime matière organique - matière minérale et constitution d'un mull calcique. Suivant la richesse en squelette et la profondeur du sol, on obtient un *sol brun calcaire modal* : la présence du carbonate de calcium est nette dans l'horizon de surface, le pH demeurant alcalin (RICHARD 1973), ou une *rendzine brunifiée humifère* : le carbonate de calcium étant à l'état de trace en A_1, le pH est légèrement acide (6,5-7); la matière organique beaucoup plus abondante peut atteindre 20 % mais elle est toujours bien minéralisée (BARTOLI 1966).

b - Roches-mères carbonatées dures

L'absence de mélange entre calcaire et matière organique aboutit à une accumulation de celle-ci en surface ; néanmoins la présence de carbonate sous forme de graviers et de particules sableuses libère une grande quantité de calcium et permet la floculation de la matière organique. Le profil correspond alors à un *sol humique carbonaté modal* observé par BOTTNER (1972) dans le Vercors et par RICHARD (1973) dans les Bornes.

La litière est peu importante et constitue un A_0 mince moyennement acide quand il existe.

L'horizon A_1 est voisin de la neutralité, la matière organique dépasse 20 % et peut atteindre 40 % ; cependant les conditions favorisent une grande activité biologique, le C/N étant compris entre 10 et 17.

20- SÉRIE ACIDIPHILE DE FAGUS SYLVATICA

Elle n'est présente que sur roche-mère riche en silice, ce qui l'exclut pratiquement des chaînes subalpines et la limite aux massifs cristallins externes (schistes cristallins et granites) ainsi qu'à la zone briançonnaise (schistes et grès du Houiller). Dans cette dernière zone, elle se trouve d'ailleurs à la limite orientale du Hêtre, au contact des forêts internes (22, 23, 24, 25). On y observe deux faciès.

a - Faciès à Hêtre pur

Localisés dans la partie inférieure du Montagnard, les résineux (Sapin, Epicéa) n'y ont qu'une très faible densité, le Pin sylvestre occupant les affleurements rocheux. La pente très forte de la partie inférieure des flancs de vallée ne favorise pas une évolution très poussée, si bien que le profil type est un *ranker à mull acide* où sous une litière très mince, l'horizon A_1 de 5 à 10 cm de profondeur présente :

- un pH moyennement acide, inférieur à 6 ;
- une capacité totale d'échange faible, de l'ordre de 25, avec un taux de saturation également peu élevé, de 30 environ. Les cations absorbables sont donc présents en faible quantité ;
- ce faible potentiel nutritif est dû en partie à une matière organique peu abondante, le carbone étant inférieur à 2 % avec une bonne minéralisation (C/N = 11).

Une pente plus faible permet une plus grande accumulation de matière organique et la constitution de ranker à mull-moder et de ranker à moder.

Les sols de ce faciès sont donc très semblables à ceux de la Chênaie acidiphile (16) et leurs aptitudes sont identiques. L'enrésinement naturel, souvent favorisé par la sylviculture pratiquée, provoque une réduction progressive du faciès au profit du suivant.

b - Faciès à Sapin et Epicéa

C'est une Hêtraie-Sapinière installée sur roche acide et dont le cortège floristique pauvre correspond au *Luzulo-Fagion*. Son existence oblige à une modification de la dénomination de la série 21 dite "de la Hêtraie-Sapinière" et principalement installée sur roche-mère carbonatée.

1 - Sur roches meubles, schistes tendres, moraines et flysch décarbonatés, dépôts colluviaux de bas de pente, il y a accumulation d'éléments fins en grande quantité, susceptibles de libérer facilement les cations ; le processus dominant d'évolution est alors le lessivage. Ce processus existe seul dans les formations voisines du faciès précédent où le Hêtre domine les résineux. Le profil correspond à un *sol brun lessivé à mull acide* dont :

- le pH est moyennement acide (5) ;
- la capacité totale d'échange faible (20), ainsi que le taux de saturation (40) ;
- la matière organique de l'ordre de 5 % avec un C/N de 13).

Quand les résineux deviennent plus abondants, l'accumulation de leurs aiguilles en surface favorise l'apparition du phénomène de podzolisation souvent masqué du fait de la pente et du lessivage latéral ; on a alors un *sol lessivé faiblement podzolique à moder* dont :

- le pH en A_1 est plus acide (4,5) ;
- la capacité totale d'échange plus élevée (80) à cause de l'abondance de matière organique, mais le taux de saturation plus faible ;
- le taux de matière organique atteignant 25 %, l'activité biologique est nettement ralentie (C/N = 17).

A l'intérieur de cette Hêtraie-Sapinière, des sols hydromorphes peuvent s'établir en absence de drainage, permettant ainsi l'installation de *groupements spécialisés*. Les associations à hautes herbes dans les dépressions avec colluvionnement sont caractérisées par des sols à gley peu profond dont l'humus est un anmoor. L'engorgement est plus important dans les Pessières à Sphaignes qui possèdent un sol à tourbe fibreuse oligotrophe.

2 - Sur roches dures, schistes cristallins, granites, grès houillers, la désagrégation physique conduit à une texture plus grossière, donc à des sols plus filtrants et libérant plus difficilement leurs éléments; au processus de lessivage peut donc s'ajouter celui de podzolisation sous l'influence des produits de décomposition des aiguilles de résineux. Très souvent d'ailleurs, le Hêtre et les feuillus disparaissent complètement, alors que *Vaccinium myrtillus* devient dominant au sol, contribuant aux faciès Sapinière ou Pessière à Myrtille. Le profil correspond à un *sol ocre podzolique modal à moder ou à mor*, où la litière peu décomposée est épaisse (3 à 10 cm) passant en profondeur à un A_1 :

- au pH extrêmement acide (3,8) ;
- à capacité totale d'échange élevée à cause de la matière organique, mais dont le degré de saturation est inférieur à 10 ; il s'agit bien d'un sol oligotrophe ;
- la matière organique atteint des taux de 15 % alors que l'activité biologique est considérablement ralentie (C/N supérieur à 20)

L'horizon A_2 n'est pas net ; en B la coloration ocre tranche nettement avec celle des horizons d'humus, sans qu'il soit possible de mettre en évidence un entraînement des argiles et du fer par suite du lessivage latéral.

Sous ces mêmes groupements, lorsque le substrat est très acide et en condition hydromorphe, la pédogenèse peut conduire jusqu'à un podzol ferrugineux à pseudogley comme c'est le cas à proximité du Col de la Charmette en Grande Chartreuse, la roche-mère provenant de l'accumulation des galets de silex du Sénonien.

La série acidiphile de *Fagus sylvatica*, qui regroupe les forêts mixtes et résineuses montagnardes pauvres en espèces, est caractérisée édaphiquement par des sols pauvres où dominent les sols lessivés. Ces forêts, en équilibre avec leur sol, parviennent à des productivités élevées, mais souffrent souvent d'une absence de régénérations et paraissent ainsi condamnées à plus ou moins long terme. Un traitement sylvicole approprié est donc indispensable ; il devra prendre garde à ne pas entraîner un déséquilibre trop important au niveau du sol dont l'évolution devra être suivie.

21- SÉRIE DE LA HÊTRAIE-SAPINIÈRE

Deux caractères en limite d'extension aux chaines subalpines : - la présence du Hêtre ; - la roche-mère carbonatée.

Ce n'est qu'après avoir dégagé sa constitution édaphique que nous discuterons de sa dénomination incorrecte puisqu'elle est ambiguë vis-à-vis de la plupart des groupements de la série précédente.

a - Sur roche-mère tendre, calcaires marneux, marnes et dépôts colluviaux de bas de pente des calcaires durs, la présence d'argile permet au départ la constitution de sol du groupe des rendzines évoluant vers les sols bruns calcaires puis les sols bruns calciques suivant la richesse en résineux du groupement végétal.

Dans le cas des *dépôts colluviaux*, la richesse en particules fines provoque une grande rétention en eau du sol favorisant l'installation d'une association spécialisée, l' *Erablaie à barbe de bouc* (BARTOLI 1966) sur une *rendzine brunifiée humifère*, le carbonate de calcium étant présent sur l'ensemble du profil.

Sur les affleurements en pente, où le renouvellement des matériaux en surface est constant, s'établissent des groupements climaciques non spécialisés : à la base du Montagnard, la *Hêtraie à Aspérule*, dans la partie supérieure, la *Hêtraie-Sapinière neutrophile* sur *sol brun calcaire modal à mull calcique* , où l'horizon A_1 possède les caractères suivants :

- pH basique ;
- capacité totale d'échange supérieure à 50 et saturée ;
- carbonate de calcium présent ;
- matière organique abondante, mais dont le taux ne dépasse pas 20 %, avec un C/N inférieur à 15.

Lorsque les résineux deviennent plus importants, ce qui est dû souvent aux traitements sylvicoles, on passe à des Hêtraies-Sapinières riches en Sapin et à des Sapinières neutrophiles, où le Sapin n'est mélangé qu'à l'Epicéa. Le sol montre alors en surface des signes de décarbonatation et le profil correspond à un *sol brun calcique épais à mull eutrophe* avec un horizon A_1 dont :

- le pH est voisin de la neutralité, de 6,4 à 6,9 ;
- la capacité totale d'échange de l'ordre de 40 avec un taux de saturation voisin de 100 ;
- la matière organique possède un taux variable, le carbone passant de 5 % dans les groupements mixtes à 20 % dans certaines Sapinières pures. La vitesse de minéralisation est toujours rapide puisque le C/N est inférieur à 15 la plupart du temps mais peut atteindre 18 dans le mull-moder des Sapinières.

Quand la pente diminue, l'infiltration de l'eau devient plus importante, entraînant le processus de lessivage. La Hêtraie-Sapinière s'enrichit alors en hautes herbes, passant progressivement à la Sapinière à Mégaphorbiée et à la Mégaphorbiaie non arborée. Dans ces formations spécialisées, le sol correspond à un *sol lessivé acide à mull ou mull-moder* dont :

- le pH compris entre 4 et 5 est très acide, le profil étant complètement décarbonaté sur une grande épaisseur ;
- la capacité totale d'échange comprise entre 20 et 60 mais avec un taux de saturation inférieur à 50 ;
- la matière organique à taux variable, le carbone passant de 3 à 20, de même le C/N variable de 13 à 17.

Avec l'enrichissement en argile, peuvent se produire, en absence de drainage, des phénomènes d'hydromorphie. C'est ainsi que dans les Bauges, la Hêtraie-Sapinière à *Elymus europaeus* est installée sur sol lessivé à pseudogley (TROSSET 1975).

b - Sur roche-mère compacte, calcaire du Tithonique et de l'Urgonien, la morphogenèse provoque la constitution de lapiaz si bien que les faibles quantités d'argile de décalcification produites sont entraînées en profondeur, aucun mélange entre matière organique et matière minérale n'ayant lieu dans la terre fine. Sur ces dalles, les groupements végétaux montagnards peuvent être une Hêtraie à Dentaire ou une Sapinière dont le sol est un *sol humifère lithocalcique à moder*. L'horizon de surface, formé exclusivement à partir des débris végétaux est :

- acide, le pH étant de 5 ;
- la capacité totale d'échange est très élevée, car supérieure à 100 meq, avec un taux de saturation de l'ordre de 60. Les cations absorbables sont donc abondants, mais ceci sur une très faible profondeur ;
- la matière organique représente plus de la moitié en poids de l'horizon, sa vitesse de minéralisation étant lente ; le C/N est compris entre 17 et 23.

Sous cet horizon, entre les fissures de lapiaz et les blocs, les propriétés du sol évoluent vers un mull.

De tels sols décrits par BOTTNER (1972) dans le Vercors sous Pessières et Pinèdes à crochets appartenant à l'étage montagnard (1500 m) peuvent donc se trouver également sous formation de feuillus ou mixtes, alors qu'en s'élevant en altitude, dans des conditions microclimatiques froides, la Hêtraie-Sapinière s'enrichit en Epicéa, peut mieux se transformer en Pessière pure, le sol se modifiant en un *sol humifère litho-calcique à mor.*

La Hêtraie-Sapinière, climax de la principale série de l'étage montagnard, et telle qu'elle est comprise par OZENDA et WAGNER, constitue un ensemble très complexe et très vaste. Pour nous, il ne s'agit pas d'un groupement homogène, mais d'une formation de type physionomique, dominée par la présence de Hêtre, du Sapin et de l'Epicéa. Le tapis herbacé et le sol permettent d'y établir des subdivisions précises :

- sur substrat silicaté, se trouvent des forêts correspondant au *Luzulo-Fagion*, avec des sols dont les horizons superficiels ont un pH constamment inférieur à 6, diminuant en profondeur, des cations absorbables en très faible quantité. Cette Hêtraie-Sapinière correspondrait donc à des sols oligotrophes et serait à rattacher à la série 20, série acidiphile de *Fagus sylvatica* ;

- sur substrat carbonaté, les forêts correspondent bien aux *Eu-Fagion* et *Abieti-Fagion*, avec pour pH des horizons superficiels constamment supérieur à 6,4, s'accroissant avec la profondeur, dont le sol est bien pourvu en cations échangeables, donc eu- ou mésotrophe, ces forêts étant à réunir dans la série 21, série de la Hêtraie-Sapinière.

Cette dernière dénomination entraîne une confusion, puisqu'une grande partie des formations de la série 20 sont également des Hêtraies-Sapinières ou des Hêtraies-Pessières, aussi proposons-nous pour la série 21 l'appellation série baso-neutrophile de *Fagus sylvatica.*

22 et 23- SÉRIES INTRA-ALPINES DE ABIES ALBA ET DE PICEA ABIES

Ne constatant que très peu de différences entre les sols de ces deux séries, nous préférons pour l'instant les réunir. A l'intérieur de cet ensemble, les différences dues à la nature du substrat, acide ou carbonaté, nous paraissent plus importantes que celles qui seraient liées à la nature de l'essence, Sapin ou Epicéa.

a - Roches-mères acides

Elles correspondent aux groupements suivants : Sapinière à *Melampyrum sylvaticum*, décrite en Maurienne sur les ubacs (BARTOLI 1966) ; Pessière à Noisetier et Pessière à Mélampyre, décrite sur les ubacs en Tarentaise (GENSAC 1967,a) ; Pessière à Silène sur les adrets de Tarentaise (GENSAC 1967,a) ; Pessière à Airelle sur les adrets de la région de Chamonix (RICHARD 1975).

1 - Sur roches tendres, schistes du Houiller de la zone briançonnaise produisant des sols riches en éléments fins où les cations peuvent être plus facilement libérés, l'évolution par acidification est limitée ; il s'agit de *rankers à mull moder et de sols lessivés acides à moder* possédant sous A_0 peu épais, un horizon A_1 à :

- pH moyennement acide, entre 5 et 6 ;
- capacité totale d'échange assez élevée, de l'ordre de 35 meq, avec un taux de saturation moyen;
- matière organique peu abondante (C = 5 %) assez activement minéralisée (C/N compris entre 14 et 19).

Il s'agirait donc de sols forestiers relativement riches, du moins lorsque leur profondeur est suffisante.

2 - Sur roches dures, schistes cristallins du socle, quartzites triasiques, le sol est plus grossier et l'acidité de la matière organique est moins facilement tamponnée par les cations libérés à partir de la roche-mère. Le sol correspond à un *ranker à mor* ou à *un sol lessivé faiblement podzolique.* L'horizon A_0 dépassant 5 cm d'épaisseur, A_1 présente les caractéristiques suivantes :

- pH très acide compris entre 3,5 et 4,5 ;
- capacité totale d'échange entre 20 et 40 meq, le taux de saturation pouvant s'abaisser à 10 ;
- matière organique à un taux assez faible (C = 6 %) avec un C/N élevé, supérieur à 20.

La sylviculture peut donc atteindre des rendements assez élevés.

L'évolution pédologique est poussée plus loin sur roche filtrante acide à éléments grossiers comme les moraines granitiques de la vallée de Chamonix (RICHARD 1975) qui portent une Pessière à Myrtille montagnarde. Sous l'action de la végétation, le sol constitue un *podzol ferrugineux*.

b - Roches-mères carbonatées

Les groupements végétaux correspondants sont décrits sous le nom de : Sapinière à *Carex alba* et *Calamagrostis varia* sur les ubacs de Maurienne (BARTOLI 1966) ; Pessière à Valériane sur les ubacs de Tarentaise ; Pessière à *Berberis* sur les adrets (GENSAC 1967,a) , et en partie Pessière à Airelle rouge sur les adrets de Maurienne (BARTOLI 1966).

La série de sols rencontrés est la même que celle de la Hêtraie-Sapinière (21) : *rendzine - sol brun calcaire - sol brun calcique* :

- le pH étant compris de 7,8 à 6,5, donc toujours baso-neutrophile ;
- le carbonate de calcium ne se trouvant jamais en très grande quantité ;
- la capacité totale d'échange élevée, toujours supérieure à 30 meq et pratiquement toujours saturée ;
- la matière organique partant de taux moyens (C = 5 %) pouvant devenir importants (C = 17 %) avec un C/N toujours inférieur à 19.

Il faut signaler deux cas particuliers de substrat rencontrés sur de vastes surfaces d'affleurements :

- Sur *schistes lustrés*, calcschistes des zones internes, la richesse en éléments non carbonatés favorise une évolution plus importante, les sols étant obligatoirement de type *brun calcique à mull ou à mull-moder*.
- Sur *gypses et cargneules*, où le mélange s'effectue avec *Pinus uncinata*, le sol est de *type humifère gypsique à mor calcique*.

Nous avons déjà fourni (1970) une révision sur les forêts de Sapin et d'Epicéa de la chaîne alpine. Floristiquement, il nous paraît impossible de distinguer, du moins en France, au niveau de l'étage montagnard, les Sapinières des Pessières, les forêts résineuses des Alpes intermédiaires de celles des Alpes internes. Il en est de même pour les sols de ces différentes formations. Les limites entre groupements apparaissent beaucoup plus nettement quand on se réfère en premier lieu au substrat, et ceci parallèlement aux remarques qui ont été formulées pour les séries 20 et 21. Aussi nous jugeons préférable d'établir, pour les Alpes françaises septentrionales, la distinction des climax, et par là-même des séries, en nous appuyant sur la composition du tapis herbacé qui traduit les différences de sol, et c'est pourquoi nous proposons deux nouvelles séries se substituant aux anciennes 22 et 23.

22 - Série acidiphile de *Abies alba* et de *Picea abies*

23 - Série baso-neutrophile de *Abies alba* et de *Picea abies*

Il reste à montrer que cette distinction est valable pour l'ensemble des Alpes.

24- SÉRIE MÉSOPHILE DE PINUS SYLVESTRIS

Cette série est très limitée dans les Alpes nord-occidentales puisqu'on ne la rencontre qu'en Maurienne (BARTOLI 1967) principalement, et sur une petite zone du bassin tarin à Bozel (GENSAC 1968,b). Elle se trouve sur deux types de substrat :

- Sur *moraine calcaire*, elle fournit des *rendzines brunifiées humifères* et *sols bruns calciques épais* où le pH des horizons superficiels est toujours voisin de la neutralité et où le carbonate de calcium est toujours absent en A_1. Une des caractéristiques de la matière organique généralement abondante est sa faible minéralisation, C/N très élevé, due à son origine principale très lignifiée : *Erica carnea*.

- Sur *gypse*, où *Pinus sylvestris* est remplacé par *Pinus uncinata*, le sol est différent suivant l'origine :

. sur gypse broyé (nombreux glissements de terrain), il se constitue un *sol gypseux rendziniforme*, la matière organique s'incorporant bien à la matière minérale pulvérisée ;

. sur gypse en place, le mélange ne s'effectue pas. Par analogie avec les sols sur calcaires, on se trouve en présence d'un *sol humique gypseux à moder calcique* avec un A_1 où :

- le pH est basique, de 8,2 à 7,1 ;
- les carbonates de calcium et de magnésium sont présents en fortes quantités ;
- la matière organique abondante, de l'ordre de 25 à 40 %, avec des C/N très élevés puisque supérieurs à 23.

Dans le cas où la pente est nulle, ce qui permet l'accumulation des débris de *Erica carnea*, l'humus devient un *mor calcique* à pH 5 et sans carbonate.

Dans les Alpes du Nord, cette série semble liée aux moraines et aux affleurements de gypse, son déterminisme édaphique est donc très strict, comme dans les Alpes centrales et orientales.

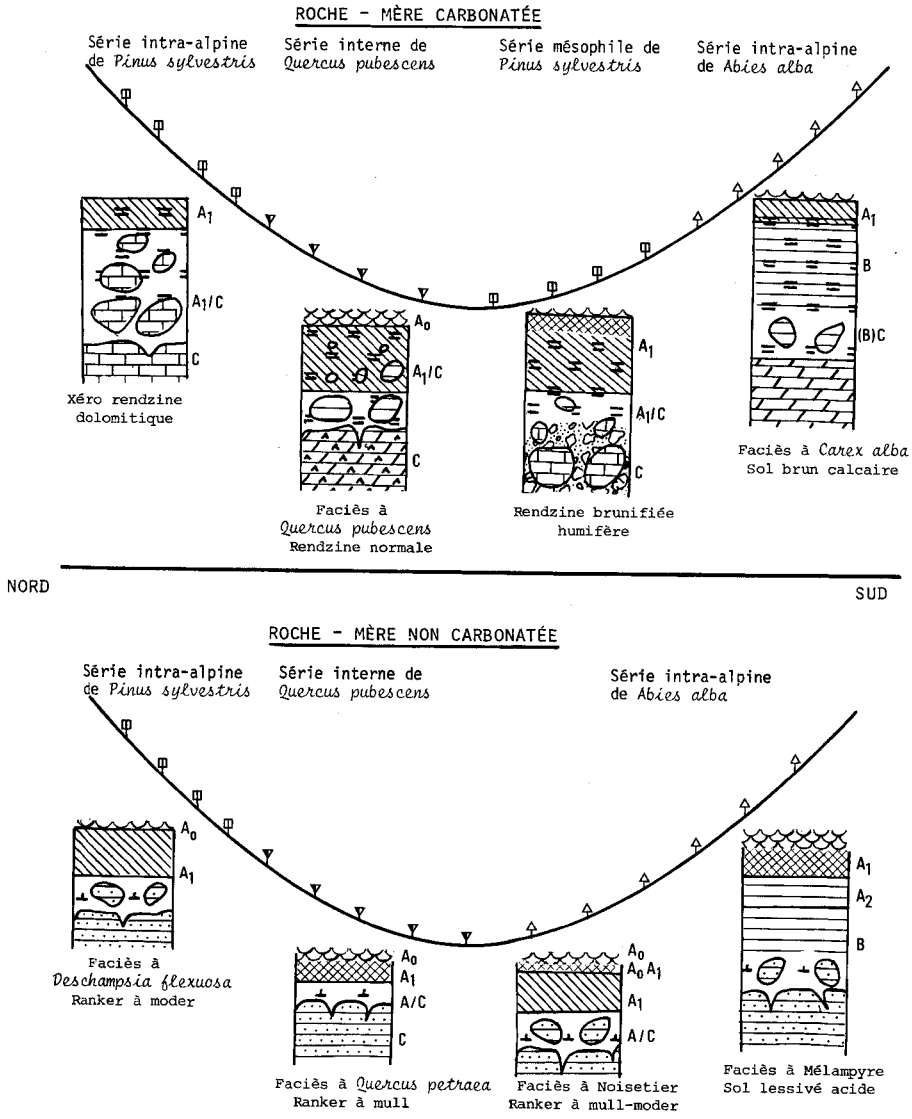


Fig.2- Correspondances Séries de végétation - Sols pour les Alpes internes Nord-Occidentales.

25- SÉRIE INTRA-ALPINE DE PINUS SYLVESTRIS

Dans les Alpes nord-occidentales, cette série est strictement localisée à la partie la plus xérique de la Maurienne (BARTOLI 1966). En Tarentaise, les groupements de *Pinus sylvestris* se trouvent dans l'étage collinéen et de ce fait rattachés à la série interne du *Quercus pubescens* (8).

a - Roches-mères acides, quartzites, schistes et grès du Houiller.
Le groupement climacique est nettement défini, c'est la Pinède xérophile à *Deschampsia*

flexuosa dont le sol est un *ranker à moder* où l'horizon A_1, d'une épaisseur inférieure à 5 cm, possède :

- un pH très acide, 5,2 ;
- une quantité moyenne de matière organique à lente vitesse de minéralisation (C/N = 20).

Il s'agit d'un sol peu fertile. Les conditions xériques et cette stérilité du sol font que les terrains appartenant à cette série sont voués à une forêt de protection, pratiquement sans rendement sylvicole.

b - Roches-mères carbonatées : moraines calcaires et surtout gypse et cargneules. La Pinède xérophile à *Coronilla minima* et *Ononis rotundifolia* correspond au groupement forestier climacique ; elle est installée sur une *xéro-rendzine dolomitique à mull-moder calcique* où sous un A_0 mince, l'horizon A_1 (15 cm) a :

- un pH nettement alcalin, 8,5 ;
- un taux important de carbonates (50 %) ;
- une grande richesse en matière organique (C=30 %), avec une vitesse de minéralisation très lente en rapport avec la présence du gypse (C/N = 34) ;
- le taux de carbonate peut diminuer progressivement ; on assiste à une brunification du sol.

On constate dans cete série une très grande différence entre les sols due à la nature du substrat. Cette différence s'accompagne d'une divergence profonde quant à la composition de la strate herbacée. En aucun cas la sècheresse conduit les groupements à se ressembler suffisamment pour qu'on puisse les considérer comme les termes d'une même série, c'est pourquoi nous proposons la constitution de deux séries différentes :

- série acidiphile de *Pinus sylvestris* ;
- série xérocalciphile de *Pinus sylvestris*.

C.- ÉTAGE SUBALPIN

27- SÉRIE SUBALPINE DE PICEA ABIES

La Pessière subalpine est un des groupements les mieux définis, vraisemblablement par suite de la grande rigueur de ses caractères climatiques et édaphiques.

a - Roches-mères acides : Grès de Taveyannaz, schistes et grès du Houiller, quartzites triasiques.

La Pessière à Myrtille (*Piceetum subalpinum myrtilletosum*) a déjà été étudiée dans l'ensemble de la chaîne des Alpes ; c'est un groupement floristiquement et sociologiquement très homogène. On ne peut cependant manquer d'être frappé par le fait qu'elle peut exister sur des sols différents suivant les régions. L'exemple des Alpes nord-occidentales semble à cet égard très instructif.

Dans les Préalpes, sur les grès de Taveyannaz (RICHARD 1975), le sol correspond le plus souvent à un *sol lessivé faiblement podzolique à moder* où sous une mince litière et un A_0 peu épais, se trouve un A_1 :

- à pH très acide compris entre 4,1 et 3,8 ;
- dont la capacité totale d'échange est élevée, à cause de l'abondance de la matière organique ; son taux est compris entre 60 et 100 meq, avec un état de saturation assez bon, situé entre 30 et 40 % ;
- une teneur en matière organique élevée, C entre 30 et 45 % avec une vitesse de minéralisation très lente, C/N supérieur à 26.

Dans les horizons inférieurs, il y a peu de différence entre les taux de fer libre et d'argile entre un horizon A_2 et l'horizon B, donc pas de trace d'entraînement.

Le degré d'évolution des sols de cette formation ne va guère plus loin et ne dépasse en aucun cas le stade *sol ocre podzolique* dans les Préalpes ainsi qu'en Maurienne (BARTOLI 1966).

En Tarentaise (GENSAC 1967,a), sur les mêmes substrats qu'en Maurienne, sous un groupement rigoureusement identique, le sol correspond typiquement à un *podzol ferrugineux à mor* dont l'horizon A_1 possède les caractères suivants :

- pH extrêmement acide compris entre 3,8 et 3,5 ;
- capacité totale d'échange moyenne 55 meq, si l'on considère la quantité de matière organique présente, avec un taux de saturation faible 25 %. La

quantité de cations échangeables est donc réduite ;
- teneur en matière organique élevée, 30 % de C, avec un C/N de 25.

Dans les horizons inférieurs, l'entraînement à partir de A_2 est très net, l'indice étant compris entre 2 et 5 pour le fer libre, entre 0,7 et 2 pour les argiles.

Les facteurs climatiques, seuls éléments variant entre Maurienne et Tarentaise, semblent responsables de ces différences dans le degré d'évolution du sol.

Lorsque le substrat est très grossier, éboulis de quartzite par exemple, la Pessière est précédée dans son évolution par une Pinède de *Pinus uncinata* sur *ranker à mor*.

b - Roches-mères intermédiaires

Sur *schistes lustrés*, où BARTOLI (1966) décrit une sous-association à *Calamagrostis villosa*, le sol correspond à un *sol lessivé acide à moder*.

Lorsque la texture devient argileuse, dans les cas des *marnes* et des *sols colluviaux*, le groupement devient une Pessière à *Adenostyles* installé sur *sol brun modal* très épais.

Dans les mêmes conditions, un faciès de dégradation ou un paraclimax s'est fréquemment installé, c'est le *groupement à Aune vert*, étudié en détail par RICHARD (1968), où le sol est un *sol brun acide à mull ou mull-moder*. L'horizon A_1 possède :

- un pH acide compris dans une fourchette de 5,7 à 3,6, les valeurs étant surtout situées aux alentours de 5 ;
- une capacité totale d'échange entre 10 et 50 meq, avec un taux de saturation compris entre 15 et 85. Dans le plus grand nombre des cas, les cations échangeables sont en quantité importante ;
- la matière organique varie, C passant de 2 à 20 , mais le C/N demeure très bas, entre 10 et 13,5, ce qui est peut-être à mettre en relation avec la présence d'organismes symbiotes fixant l'azote libre de l'air.

c - Roches-mères carbonatées

Sur *roches tendres*, la richesse du sol et la faible pente ont permis un défrichement précoce et l'installation d'alpages. Sur les pentes plus fortes, la Pessière a pu persister sous les types Pessière à Valériane et Pessière à *Berberis* (GENSAC 1967,a) sur un *sol brun calcique à mull ou moder calcique*.

Sur *roches dures*, dalle urgonienne par exemple, c'est un *sol humifère lithocalcique à moder ou mor calcique* que TROSSET (1975) a bien étudié dans les Bauges. Sous une litière non transformée de 2 cm d'épaisseur, on trouve un A_0F de 20 cm, très acide (pH 4,2), à forte capacité totale d'échange (T = 102 meq), le taux de saturation étant de 27 %. Le A_0H est moins acide (pH 5,4).

Sur *gypse*, lorsque la pente est très forte, les conditions sont très xériques ; seule une Pinède à *Pinus uncinata* peut s'installer sur un *lithosol gypsique* très alcalin et très pauvre en matière organique en surface, alors que sur pentes plus faibles, la Pessière se trouve sur un *sol brun gypseux à moder calcique* dont l'horizon superficiel a :

- un pH moyennement acide (4,9) ;
- une capacité totale d'échange moyenne de 40 meq avec un faible taux de saturation (25 %) ;
- une quantité moyenne de matière organique (C = 6 %) dont la minéralisation est relativement rapide (C/N de 17).

Au niveau de la Pessière subalpine, les conditions édaphiques paraissent plus homogènes que dans les autres séries rencontrées à la fois sur roches acides ou sur roches carbonatées. Les horizons superficiels sont très analogues. Les rigueurs climatiques, basses températures, neige interviennent pour ne permettre l'installation que d'une seule essence dominante, l'Epicéa, accompagnée, le plus souvent, d'un tapis continu de Vacciniées. La litière, riche en lignine, donc à très long temps de décomposition, ne peut que s'accumuler en surface, l'action des microorganismes étant considérablement ralentie par les basses températures. Tout concourt au niveau du sol, à la fois climat et végétation, pour provoquer l'acidité des horizons superficiels.

29- SÉRIE PRÉALPINE DE PINUS UNCINATA

Les chaînes subalpines, du fait de leur structure, culminent par des anticlinaux perchés, où les calcaires urgoniens affleurent sur de larges surfaces au niveau de l'étage subalpin. Le groupement climacique qui leur correspond est une Pinède à *Pinus uncinata, Lycopodio-Mugetum* des phytosociologues. Le sol de ces Pinèdes a fait l'objet d'une étude très précise de J.Cl. GILOT et DOMMERGUES (1967) dans le cadre de la R.C.P. 40. Ce sol correspond à ce qu'il conviendrait d'appeler avec RITTER

(1972) un *sol humifère lithocalcique à moder ou mor calcique* où l'horizon de surface plus ou moins épais a :

- un pH très acide entre 4 et 5,5 ;
- une capacité totale d'échange très élevée, de 135 à 195 meq, due à l'abondance de la matière organique, et dont le taux de saturation de 25 % est faible mais suffisant pour que les cations échangeables soient en grande quantité ;
- un taux de matière organique très élevé (C = 48) avec une vitesse de minéralisation lente (C/N entre 20 et 30).

Cet horizon passe en profondeur à un mull neutre.

Cette série a d'autant plus d'importance dans le Vercors que les affleurements urgoniens y sont très étendus, alors que dans la Grande Chartreuse, les Bauges et les Bornes, elle ne se rencontre pratiquement que sur des crêtes réduites.

31- SÉRIE INTRA-ALPINE DE PINUS CEMBRA ET DE LARIX DECIDUA

Elle représente le Subalpin moyen des Alpes internes et intermédiaires, et se trouve de façon très sporadique dans les Alpes externes (Bornes et Chablais).

a - Roches-mères acides

Que ce soit sur l'ubac avec la Rhodoraie à Pin cembro - Mélèze ou sur l'adret avec la lande à Genévrier nain, le sol évolue de façon identique. Le type le plus fréquemment rencontré est un *ranker à moder* dont l'horizon A_1 est :

- acide, la fourchette de pH étant de 5,7 à 4,4, avec un maximum de fréquence inférieur à 5 ;
- possède une capacité totale d'échange entre 80 et 10 meq avec un taux de saturation variable de 40 à 3, si bien que la somme des cations échangeables est toujours inférieure à 20. Cet horizon peut donc être très oligotrophe ;
- où la matière organique peut s'accumuler, C étant compris entre 2 et 25 %.

Dans des stations à pente plus faible, ce sol évolue vers un *sol podzolique modal à moder*. En Maurienne, la pédogenèse s'arrête à ce point, tandis qu'en Tarentaise elle conduit à un *podzol ferrugineux à mor* principalement sur les quartzites. On retrouve donc les mêmes différences suivant les régions que nous avions constatées pour la série subalpine de *Picea abies* (27).

Sur les amphibolites de la chaîne de Belledonne, J.Cl. GILOT (1972) décrit un sol ocreux à mor, la grande richesse en éléments ferro-magnésiens inhibant la podzolisation.

b - Roches-mères carbonatées

Sur les *schistes lustrés* de Maurienne, où les Rhodoraies ont eu davantage à souffrir de défrichement, se constitue un *sol lessivé acide à moder*.

Sur les *calcaires durs* des Alpes externes se trouvent quelques lambeaux de Rhodoraie à Pin cembro dont le sol présente un caractère plus acide que celui trouvé dans la série précédente. Il s'agit d'un *sol humifère litho-calcique à mor calcique* avec un mor extrêmement épais :

- à pH de l'ordre de 3,7 ;
- une capacité totale d'échange élevée, 130 meq, avec un taux de saturation de 25 % ;
- présentant une grande quantité de matière organique lentement minéralisée.

BARTOLI (1966) a trouvé en Maurienne un sol assez semblable sur *moraine carbonatée* où d'un mor superficiel on passe progressivement en profondeur à la roche-mère alcaline.

Au niveau du Subalpin moyen, on peut tirer les mêmes conclusions que pour la Pessière subalpine : le climat et la végétation conduisent à la constitution de sols analogues pour les horizons superficiels des formations climaciques par suite d'une acidification très poussée. De ce fait, les groupements climaciques sont très homogènes, mais il ne faudrait pas en conclure que l'étage subalpin marque un appauvrissement dans le nombre d'espèces. Bien au contraire, cet étage, comme nous l'avons indiqué par ailleurs (GENSAC 1973), constitue le niveau le plus riche, ceci étant dû, en grande partie, aux importantes différences édaphiques existant entre les groupements de pelouse très influencés par la roche-mère et les groupements forestiers.

D.- ÉTAGE ALPIN

Si l'on considère l'ensemble des Alpes, l'étage alpin a fait l'objet d'un très grand nombre d'études, mais il faut signaler immédiatement que, si ces études reposent sur une analyse floristico-sociologique très fine, l'établissement des relations écologiques et, en particulier, celles qui ont rapport au sol, a été le plus souvent négligé. L'étude de BRAUN-BLANQUET et JENNY (1926) constitue l'ouvrage de base des nombreux travaux qui ont vu le jour depuis. Elle aboutit à ne considérer dans l'étage alpin *qu'une seule série* puisque, suivant un schéma répandu jusque dans les ouvrages de vulgarisation (*Encyclopedia Universalis*, rubrique Phytosociologie), les auteurs montrent l'évolution progressive qui relie le *Caricetum firmae*, point de départ sur roche carbonatée, au *Caricetum curvulae*, terme de l'évolution, en passant par l' *Elynetum*, alors que le sol évolue depuis la rendzine jusqu'au sol humique alpin. Néanmoins, dans l'ouvrage de base, les pelouses alpines sont réparties suivant deux classes : *Caricetea curvulae*, pelouses acidiphiles,et *Elyno-Seslerietea*, pelouses baso-neutrophiles. D'après ces auteurs, les groupements, au moins pour l'Alpin supérieur, évolueraient donc de la seconde vers la première par acidification, évolution marquée par des sous-associations servant de jalon comme le *Caricetum curvulae elynetosum*. L'étage alpin aurait donc un climat unique. Il semble bien qu'il n'en soit pas ainsi et que l'on puisse répondre par la négative à la question d'ELLENBERG (1953): " Führt die alpine Vegetations-und Bodenentwicklüng auch reinen Karbonatsteinen zum Krummseggenrasen" ?

Il faut signaler également que la confusion a été entretenue par l'existence de deux sous-espèces de *Carex curvula*, *eu-curvula* et *rosae*, distinguées par GILOMEN dès 1938, sous-espèces dont la constitution écologique est totalement différente l'une de l'autre, bien que depuis de nombreux auteurs n'aient pas tenu compte de cette distinction dans leurs tableaux phytosociologiques et aient baptisé *Curvuletum* des associations où figure comme caractéristique *Carex curvula ssp. rosae*. C'est pourquoi, par ailleurs, nous avons entrepris une analyse statistique des nombreux relevés que nous possédions en Vanoise dans le but d'établir une nouvelle classification des pelouses où *Carex curvula s.l.* est présent.

En 1950, BRAUN-BLANQUET a donné une présentation générale de l'étage alpin en France, présentation complète bien que l'auteur en parle modestement comme d'une "esquisse provisoire". Depuis, beaucoup de chercheurs ont estimé que rien de nouveau ne pouvait être découvert pour la végétation de cet étage dans le massif alpin. En fait, une lecture attentive de cette remarquable synthèse montre qu'elle repose exclusivement, ou presque, sur une étude des Alpes sud-occidentales ; on ne peut donc la généraliser, faute d'observations, aux Alpes nord-occidentales qui n'ont fait l'objet jusqu'à présent d'aucun travail important. Ceci est d'autant plus regrettable que les Alpes françaises septentrionales comportent à la fois les plus hauts sommets et les plus vastes surfaces au-dessus de 2400 m, que c'est une des seules régions du massif où "les surfaces appartenant à l'étage alpin" ne sont pas "beaucoup plus réduites que celles des autres étages", que la variété des roches-mères y permet une étude sinon originale, mais du moins complète. C'est pourquoi, bénéficiant de l'appui financier et logistique du Parc National de la Vanoise, nous avons entrepris une analyse des différents groupements alpins du Parc dont nous espérons pouvoir publier prochainement les résultats.

Du point de vue pédologique, les publications se rapportant aux relations entre sol et groupement végétal sont rares et souvent très incomplètes. En particulier, les sols de l'étage alpin, présentant une morphologie spéciale, n'ont guère été décrits et étudiés, si bien qu'en absence d'une nomenclature précise il est difficile de les classer. Nous proposerons donc provisoirement quelques termes nous réservant la possibilité de modifications lors d'une étude plus complète.

OZENDA et WAGNER (1975) proposent de baser la description de la végétation de l'étage alpin sur deux séries, l'une sur roches carbonatées, l'autre sur roches siliceuses. Considérant les groupements de pelouse comme climaciques, nous préférons une nomenclature plus précise se reportant à notre mémoire de 1972.

32- SÉRIE ACIDIPHILE DE CAREX CURVULA

Elle est liée à des roches-mères acides comme les quartzites, les grès et schistes du Houiller briançonnais, les micaschistes et gneiss du "Houiller métamorphique", gneiss du Grand Paradis. Les pelouses types correspondant au *Caricetum curvulae* ont été étudiées en détail par CLAUDIN (1970) dans la région du Col de Chaviè-re. Elles correspondent à un *ranker à moder altialpin* dont l'horizon A_1 est très grossier, le squelette pouvant représenter la moitié de l'horizon en poids :

- son pH est extrêmement acide, de 3,5 à 4,5 ;
- la capacité totale d'échange réduite, inférieure à 30 meq, avec un faible taux de saturation (25 %) ; il s'agit donc d'un sol oligotrophe ;

- la matière organique se trouve en quantité relativement modérée, C représentant 6 %, son degré de minéralisation est bon, le C/N est de 17, mais cela est à mettre en relation avec le matériel végétal peu lignifié et donc facilement décomposable. De ce fait, malgré les basses températures, les débris végétaux ne s'accumulent pas en surface et ne contribuent que très faiblement à l'acidification du sol.

Sur dépôts colluviaux de pente, où s'installe une pelouse riche en *Carex sempervirens*, s'établit d'abord un *sol d'apport colluvial* évoluant vers un *sol brun acide*.

Dans les *combes à neige*, les particules fines s'accumulent et provoquent la formation d'un *sol à stagnogley*.

33- SÉRIE BASO-NEUTROPHILE DE ELYNA MYOSUROIDES

Si dans les massifs externes les surfaces occupées par cette série sont très réduites, étant donné la faible altitude générale, seuls le Giffre et le Chablais pouvant prétendre à un véritable étage alpin, il n'en est pas de même dans les Alpes internes, et principalement en Vanoise qui représente le plus haut massif calcaire d'Europe.

Sur les *calcaires purs ou dolomitiques*, la pelouse à *Elyna* s'installe dès que la pente est inférieure à 20° ; le sol correspond à un *sol brun calcique à mull eutrophe* immédiatement en contact avec un horizon superficiel où les souches et l'appareil radiculaire des plantes prennent la plus grande place ; on y trouve un horizon humifère A_1 dont :

- le pH est neutre ou faiblement acide (7 - 5,5), les carbonates étant absents ou à l'état de trace ;
- la capacité totale d'échange élevée et voisine de la saturation ;
- la matière organique en quantité variable mais toujours avec un C/N bas (10-13), ce qui traduit un bon état de minéralisation.

Sur les *schistes lustrés*, en même temps qu'apparaît un faciès à *Carex curvula ssp. rosae*, le sol devient plus acide, la roche-mère étant la cause de cette transformation de par sa composition chimique riche en silicate et ses propriétés physiques qui facilitent son délitage et sa pulvérisation. On se trouve alors en présence d'un *sol brun acide à mull mésotrophe* dont le pH des horizons superficiels n'est que rarement inférieur à 4,5.

Les deux types précédents de roche-mère sont recouverts dès que la pente devient forte par la pelouse à *Sesleria varia* dont le sol est une *rendzine altialpine à mull calcique*.

Enfin sur *calcaires durs*, en limite inférieure de l'étage alpin, RITTER (1972) décrit sur le Grand Veymont un *sol humifère litho-calcique à mull-moder* dont l'horizon A_0 est pratiquement neutre.

Ainsi les roches calcaires dans les Alpes nord-occidentales ne fournissent jamais, au niveau de l'étage alpin, des sols dont les horizons de surface aient un pH inférieur à 5,5 ; on ne peut donc y observer de podzol ou de "sol à humus alpin" conformément au schéma classique de BRAUN-BLANQUET et JENNY ; en aucun cas le *Caricetum curvulae* ne constitue le climax sur calcaire, ce qui justifie bien l'existence des deux séries proposées.

CONCLUSION

L'étude des relations existant entre les séries de végétation et leurs sols dans les Alpes nord-occidentales conduit à des conclusions générales sur les sols de montagne et sur les conditions de leur formation.

Plusieurs facteurs d'ordre topographique interviennent en chaque station, parmi eux la pente semble être un des éléments déterminants de la pédogenèse, en pays de montagne. Une pente trop forte interdit toute évolution du sol par la trop violente érosion que subissent le substrat, la végétation qui pourrait s'y installer, les débris organiques qui pourraient s'y déposer ; le sol reste alors brut. Une pente plus faible permettra la constitution d'un sol superficiel, mais l'action physique des eaux sauvages provoquera de constants phénomènes de rajeunissement, si bien que la matière organique provenant de quelques végétaux d'installation précaire ne pourra que difficilement s'intégrer à la matière minérale et que le sol restera peu

évolué, le substrat géologique demeurant l'élément essentiel déterminant les propriétés pédologiques. Ce n'est que lorsque la pente sera suffisamment faible que l'on pourra assister à une diminution considérable des forces érosives et qu'alors la végétation herbacée, puis arbustive et finalement arborescente pourra atteindre son plein développement, que les débris végétaux s'accumuleront en surface, puis subiront l'action des microorganismes du sol permettant une intégration importante à la matière minérale, que les eaux de percolation entraîneront en profondeur les substances les plus mobiles, et souvent les plus agressives, modificatrices du milieu minéral, l'ensemble de ces actions contribuant à l'édification d'un sol évolué. Plus que tout autre facteur, la pente est déterminante dans la genèse des sols de montagne, c'est elle qui intervient dans les premières subdivisions de la classification des sols.

TABLEAU I- Récapitulation des séries de végétation dans les Alpes Nord-Occidentales et des modifications proposées.

8 - Série interne de *Quercus pubescens*	----------
9 - Série septentrionale de *Quercus pubescens*	----------
15 - Série de *Carpinus betulus*	----------
16 - Série de la chênaie acidiphile	----------
19 - Série mésophile de *Fagus sylvatica*	----------
20 - Série acidophile de *Fagus sylvatica*	----------
21 - Série de la hêtraie - sapinière	21 - Série baso-neutrophile de *Fagus sylvatica*
22 - Série intra-alpine de *Abies alba*	22 - Série acidiphile de *Abies alba* et *Picea abies*
23 - Série intra-alpine de *Picea abies*	23 - Série baso-neutrophile de *Abies alba* et *Picea abies*
24 - Série mésophile de *Pinus sylvestris*	----------
25 - Série intra-alpine de *Pinus sylvestris*	25 - Série xéro-acidiphile de *Pinus sylvestris*
----------	26 - Série xéro-calciphile de *Pinus sylvestris*
27 - Série subalpine de *Picea abies*	28 - ----------
29 - Série préalpine de *Pinus uncinata*	30 - ----------
31 - Série intra-alpine de *Pinus cembra* et de *Larix decidua*	----------
32 - Alpin sur roches siliceuses	33 - Série acidiphile de *Carex curvula*
33 - Alpin sur roches carbonatées	34 - Série baso-neutrophile de *Elyna myosuroides*
HYDROSERIES	
17 - Série alluviale de *Quercus robur*	----------
18 - Série de *Alnus incana*	----------

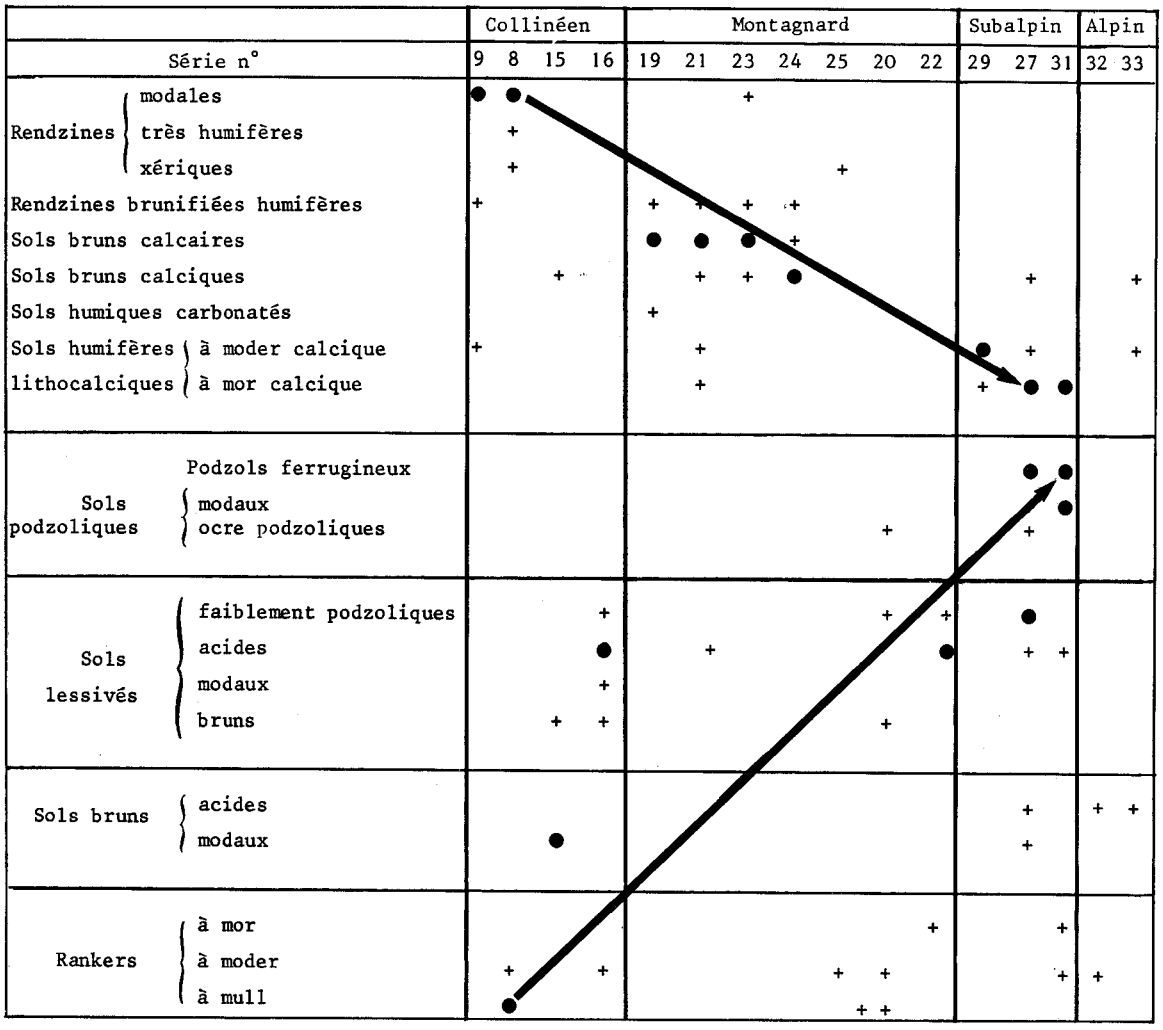
Les territoires déclives forment les surfaces les plus étendues dans les zones de montagne. Dans ces régions, l'influence de la roche-mère sur le sol sera donc prépondérante et la végétation dépendra en grande partie du substrat géologique. C'est pourquoi la plupart des séries de végétation que nous proposons ont un déterminisme strictement édaphique (cf. tableau). En premier lieu intervient, comme nous l'avons vu, la nature chimique de la roche-mère. Dans la composition du substrat, une grande direction de variation impose ses contraintes : des calcaires, c'est-à-dire du carbonate de calcium pur, aux quartzites, silice pure, existe toute une gamme d'intermédiaires. Pratiquement, la présence de carbonate est déterminante, car elle indique une plus ou moins grande richesse en calcium disponible, cet élément intervenant de façon décisive dans la constitution de l'humus et la pédogenèse. C'est lui qui également détermine, dans une large mesure, la valeur du pH. Les sols où les carbonates sont présents dans le profil constituent bien une classe à part dans les sols évolués ; ils correspondent aux séries baso-neutrophiles de végétation (9, 19, 21, 23, 24, 29, 33); à l'inverse, quand les carbonates sont absents, les silicates des roches plutoniques et métamorphiques libèrent peu de calcium, a fortiori la silice pure des quartzites ou des grès. Les sols sont alors nettement acides et correspondent aux séries acidiphiles de végétation (16, 20, 22, 32). On peut d'ailleurs remarquer le faible nombre de ces dernières par rapport au nombre des séries baso-neutrophiles; les substrats acides, imposant des multiples contraintes par leur relative stérilité, provoquent une sélection dans les groupements végétaux et limitent le nombre des séries. Ce fait est à mettre en parallèle avec la pauvreté floristique des groupements acidiphiles vis-à-vis de la grande richesse des formations baso-neutrophiles. D'autres composants interviennent, mais de façon secondaire, provoquant la constitution de groupements spécialisés ; ce sont le gypse, la dolomie, la serpentine.

TABLEAU II- Récapitulation des sols non hydromorphes rencontrés dans les Alpes Nord-Occidentales.

	Roches acides		Roches intermédiaires	Roches carbonatées	
	tendres	dures		tendres	dures
8-Série interne de *Quercus pubescens*	Faciès à *Quercus petraea* Ranker à mull acide ou à mull moder			Faciès à *Quercus pubescens* et *Pinus sylvestris* Rendzine modale à mull calcique	
9-Série septentrionale de *Quercus pubescens*			Faciès à Charme Rendzine modale à mull calcique	Chênaie pubescente à Buis Rendzine modale à mull calcique	Faciès à Buis et plantes méridionales Lithosol calcaire à mull calcique
15-Série de *Carpinus betulus*	Faciès à Châtaigniers Sol brun lessivé à mull acide		Sol brun modal eutrophe	Chênaie à Charme Sol brun calcique épais à mull eutrophe	
16-Série de la Chênaie acidiphile	Ranker à moder et sol lessivé faiblement podzolique		Sols bruns à mull acide ou à mull moder		
19-Série mésophile de *Fagus sylvatica*				Sol brun calcaire modal	Sol humique carbonaté modal
20-Série acidiphile de *Fagus sylvatica*	Faciès à Hêtre pur Ranker à mull acide Faciès à Sapin et Epicéa Sol brun lessivé à Sol lessivé faiblement podzolique	Sol ocre podzolique modal			
21-Série de la Hêtraie-Sapinière = Série baso-neutrophile de *Fagus sylvatica*				Sol brun calcaire modal Sol brun calcique modal	Sol humifère litho-calcique
22-Série intra-alpine de *Abies alba* et Série intra-alpine de *Picea abies*	Ranker à mull moder Sol lessivé acide	Ranker à mor.Sol lessivé faiblement podzolique	Sol brun calcique	Rendzine Sol brun calcaire Sol brun calcique	
	Série acidiphile de *Abies alba* et de *Picea abies*		Série baso-neutrophile de *Abies alba* et de *Picea abies*		
24-Série mésophile de *Pinus sylvestris*				Rendzine brunifiée humifère Sol brun calcique épais	
25-Série intra-alpine de *Pinus sylvestris*	Sol lessivé faiblement podzolique à moder.Podzol ferrugineux à mor		Sol brun acide à moder	Sol brun calcique à mull ou moder calcique	Sol humifère litho-calcique à moder ou mor calcique
29-Série préalpine de *Pinus uncinata*					Sol humifère litho-calcique à moder ou mor calcique
31-Série intra-alpine de *Pinus cembra* et de *Larix decidua*	Ranker à moder Podzol ferrugineux à mor		Sol brun lessivé à moder		Sol humifère litho-calcique à mor calcique
32-Alpin sur roches siliceuses	Ranker à moder altialpin Série acidiphile de *Carex curvula*				
33-Alpin sur roches carbonatées			Sol brun acide à mull mésotrophe	Sol brun calcique à mull eutrophe	Sol humifère litho-calcique à mull moder
			Série baso-neutrophile de *Elyna myosuroides*		
			Faciès à *Carex curvula* ssp.*rosae*	Faciès type	

Les propriétés physiques du substrat géologique jouent un rôle accessoire, elles sont à l'origine de faciès et de groupements spécialisés à l'intérieur des séries. La compacité paraît la plus importante. Pour les roches carbonatées, ce n'est que lorsqu'elles sont suffisamment tendres, donc réductibles en fines particules, que le calcaire total peut libérer du calcaire actif en grande quantité, le calcium est alors facilement disponible, il y a mélange intime entre matière minérale et matière organique, et les impuretés argileuses peuvent floculer dans un complexe argilo-humique pour fournir un mull calcique caractéristique des rendzines. Sur calcaire dur, le mélange n'a pas lieu. Dans les conditions moyennes, étage montagnard inférieur par exemple, des sols humiques carbonatés à mull calcique se forment ; lorsque la minéralisation est entravée, ce sont des sols humifères litho-calciques à moder ou à mor calcique. La compacité intervient également pour les roches carbonatées. Dans ce cas, les roches tendres libèrent facilement les argiles, les cations alcalins et alcalino-ferreux sont disponibles, ils freinent alors les processus de lessivage et de podzolisation, on obtient des sols bruns. Au contraire, dans le cas des roches dures, cette libération n'a pas lieu, les eaux de percolation circulent facilement entre les particules sableuses entraînant les produits de l'humification, ce qui conduit aux sols lessivés et podzolisés dont le profil est souvent masqué par un lessivage latéral dû à la pente.

TABLEAU III- Types de sols et séries de végétation (● type dominant, + type présent)



Le climat constitue également un facteur décisif de la pédogenèse. Il intervient par la température qui règle toutes les réactions biochimiques se déroulant dans le sol et en particulier la minéralisation. Plus la température s'abaisse, moins les débris végétaux sont détruits par la microflore ; ils tendent alors à s'accumuler en surface et à former un humus brut. Cette accumulation devrait, de ce fait, être maximum dans l'étage alpin. Nous avons vu qu'il n'en était rien dans les Alpes nord-occidentales et ceci, principalement, à cause de cette même température, élément déterminant des étages de végétation. Si le Collinéen correspond à des forêts de feuillus au matériel facilement décomposable et à un humus de type mull, le Monta-

gnard avec ses forêts mixtes feuillus-résineux présente des signes d'acidification et de ralentissement de la minéralisation ; on passe progressivement des mulls aux moders suivant la richesse de la roche-mère par action combinée de la température décroissante et de la lignification du matériel végétal présent. Dans le Subalpin, les températures sont basses, les feuilles des résineux et des Ericacées qui sont à l'origine de la litière sont très riches en lignine, donc difficilement décomposables. Sous les forêts et les landes, l'humus brut s'accumule constituant des mors épais. Dans l'étage alpin, le phénomène change brutalement de direction. Bien que la température s'abaisse, le matériel végétal ne s'accumule pas en surface et, très généralement, on ne constate pas une concentration élevée de matière organique, du moins les taux observés sont plus faibles que dans le Subalpin ! L'humus est de type moder. Cela est dû principalement à la nature du matériel végétal se décomposant : les Graminées et les Cypéracées qui forment la plus grande masse des végétaux alpins sont faiblement lignifiés et leurs parties mortes sont facilement attaquées par les microorganismes. Les modifications observées sur le type d'humus quand on s'élève en altitude retentissent sur tout le profil. Le tableau donne les grandes lignes de l'évolution des sols suivant les étages et les séries de végétation, la formation de mor et la constitution d'un podzol apparaissent bien comme des phénomènes liés en montagne à l'étage subalpin, comme ils sont liés en plaine en dehors des zones dégradées au climat boréal et à la taïga.

L'humidité intervient également. Les sols des séries cantonnées à l'adret (8, 9, 19, 25) sont moins évolués que ceux des autres séries aux contours phytosociologiques ordinairement flous, les conditions édaphiques sont assez largement ouvertes.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

AÏN (G.) et PAUTOU (G.) 1969.- Etude écologique du marais de Lavours (AIN).- *Doc. Carte Vég. Alpes*, VII, 25-64.

BACH (R.) 1950.- Die Standorte jurassischer Buchenwaldesellschaften mit besonderer Berücksichtigung der Böden (Humus-karbonat-böden und Rendzinen). - *Schweiz. Bot. Gesell.*, 60, 49-152.

BACH (R.), KUOCH (R.), IBERG (R.) 1954.- Wälder der Schweizer Alpen im Verbreitungsgebiet der Weisztanne. Entscheidende Standortsfaktoren und Böden.- *Mitteil. Schweiz. Antalt.Forst. Vers.*, 30, 261-314.

BARTOLI (Ch.) 1962.- Première note sur les associations forestières du massif de la Grande Chartreuse.- *Ann. E.N.E.F.*, XIX, 3, 329-377.

BARTOLI (Ch.) 1966.- Etudes écologiques sur les associations forestières de la Haute-Maurienne.- *Ann. Sc. For.*, 23, 3, 433-751.

BOTTNER (P.) 1972.- Evolution des sols en milieu carbonaté.- *Sc. Géol., Strasbourg*, 37, 156 p.

BRAUN-BLANQUET (J.) 1954.- La végétation alpine et nivale des Alpes françaises. - *Etude bot. Etage alpin*, VIII Congr. Int. Bot. Paris, 26-96.

BRAUN-BLANQUET (J.) 1961.- *Die inneralpine Trockenvegetation.*- G. Fischer, Stuttgart.

BRAUN-BLANQUET (J.) et JENNY (H.) 1926.- Vegetations-Entwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen.- *Denksch. Schweiz. Naturfors. Gesell.*, LXIII,XIII, 180-349.

CLAUDIN (J.) 1970.- *Sol et végétation de l'étage alpin sur roche-mère acide dans la région du Col de Chavière, Parc National de la Vanoise.*- Univ. de Grenoble, Thèse de Spécialité, 104 p.

CLAUDIN (J.) et GENSAC (P.) 1973.- Carte de la végétation et conditions écologiques de la région du Col de Chavière (Parc National de la Vanoise).- *Trav. Sc. Parc Nat. Van.*, III, 27-42.

CPCS. 1967.- *Classification des sols.*- 96 p. dactyl.

DOBREMEZ (J.F.) 1970.- *Les forêts sur sols hydromorphes du Bas-Dauphiné.*- Univ. Grenoble, Thèse de Spécialité, 101 p.

DOBREMEZ (J.F.) 1972.- Carte écologique de Belley 1/50 000 (XXXII-31).- *Doc. Carte Vég. Alpes*, X, 43-56.

DOBREMEZ (J.F.) et PAUTOU (G.) 1972.- Carte écologique des Alpes. La Tour du Pin 1/50 000 (XXXII-32).- *Doc. Carte Vég. Alpes*, X, 57-60.

DOBREMEZ (J.F.), PAUTOU (G.) et VIGNY (F.) 1974.- Carte écologique des Alpes au 1/100 000. Feuille de Belley. Matériaux pour une carte de l'environnement. - *Doc. Cartogr. Ecol.*, XIII, 69-109.

DUCHAUFOUR (Ph.) 1961.- Les sols humiques silicatés d'altitude. Leur origine, leurs propriétés, leur mise en valeur.- *Rev. For. Fr.*, 244-250.

DUCHAUFOUR (Ph.) 1966.- le problème du Climax et l'évolution du sol.- *Oecol. Plant.*, 1-2, 165-174.

DUCHAUFOUR (Ph.) 1968.- *L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils.*- Masson, Paris, 94 p.

DUCHAUFOUR (Ph.) et FOURCHY, 1952.- Etude sur l'écologie et la sylviculture du Mélèze. Pédologie et facteurs biotiques.- *Ann. E.N.E.F.*, XIII.

DUCHAUFOUR (Ph.) et BARTOLI (Ch.) 1966.- Note sur l'évolution des sols calcimorphes de l'étage montagnard humide.- *Science du Sol*, 2, 29-40.

DUCHAUFOUR (Ph.) et GILOT (J.Cl.) 1966.- Etude d'une chaîne de sols de l'étage alpin (Col du Galibier) et ses relations avec la végétation.- *Oecol. Plant.*, 1, 253-274.

ELLENBERG (H.) 1953.- Führt die alpine Vegetations und Bodenentwicklung auch reinen Karbonatsteinen zum Krummseggenrasen (*Caricetum curvulae*).- *Ber. d. deut. Bot. Gesell.*, 66, 241-246.

ETTER (H.) 1943.- Pflanzensoziologische und bodenkundliche Studien an Schweizerischen Laubwäldern.- *Mitteil. Schweiz. Antalt. Vers.*, XXIII, 1, 132 p.

GENSAC (P.) 1967 a.- Les forêts d'Epicéa de Moyenne Tarentaise. Recherche des différents types de Pessières.- *Rev. Gén. Bot.*, 74, 425-528.

GENSAC (P.) 1967 b.- Feuille de Bourg-Saint-Maurice (XXXV-31) et de Moûtiers (XXX-32).- *Doc. Carte Vég. Alpes*, V, 7-61.

GENSAC (P.) 1968.- Les groupements forestiers de l'étage collinéen en Tarentaise moyenne et supérieure.- *Ann.C.S.U. Chambéry*,6, 103-122.

GENSAC (P.) 1968 b - Les groupements à *Erica carnea* de la région de Bozel (Savoie).- *Rev. For. Fr.*, 2, 95-101.

GENSAC (P.) 1969.- Les sols sur gypse en Moyenne Tarentaise.- *Bull. A.F.E.S.*, 3, 57-67.

GENSAC (P.) 1970.- Les Pessières de Tarentaise comparées aux autres Pessières alpestres.- *Veröff. d. Geobot. Inst. ETH, Zürich*, 43, 104-139.

GENSAC (P.) 1972.- Les pelouses alpines du Parc National de la Vanoise.- *Trav. Sc. Parc Nat. Van.*, II, 35-48.

GENSAC (P.) 1973.- Particularités de l'étage subalpin dans le massif de la Vanoise - *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 120, 397-406.

GENSAC (P.) et ROTHE (B.) 1974.- Carte de la végétation de la réserve de la Grande Sassière.- *Trav. Sc. Parc Nat. Van.*, V, 77-103.

GILOMEN (H.) 1938.- *Carex curvula* All. *ssp. nov. rosae* Gilom. (Kalkkrummsegge).- *Geobot. Forsch. Inst. Zurich*, 77-104.

GILOT (J.Cl.) 1972.- Note sur la Cembraie de Chamrousse (Isère) et la végétation environnante.- *Doc. Carte Vég. Alpes*, X, 25-41.

GILOT (J.Cl.) et DOMMERGUES (Y.) 1967.- Note sur le lithosol à mor de la station R.C.P. 40.- *Rev. Eco-Bio. Sol*, 3, 357-383.

Laboratoire de Biologie Végétale, 1974.- Carte de la végétation potentielle des Alpes nord-occidentales (partie française).- *Doc. Cartogr. Ecol.*, XIII, 9-27.

LEUENBERGER (R.) 1950.- Beitrag zur Kenntnis der Humuskarbonat-böden und Rendzinen in Schweizer Jura.- *Mitteil. Agric. Inst. ITH Zurich*, 4-85.

OZENDA (P.) 1966.- Perspectives nouvelles dans l'étude phytogéographique des Alpes du Sud.- *Doc. Carte Vég. Alpes*, IV, 198 p., 66 fig.

OZENDA (P.) et WAGNER (H.) 1975.- Les séries de végétation de la chaîne alpine et leurs équivalences dans les autres systèmes phytogéographiques.- *Doc. Cartogr. Ecol.*, XVI, 49-64.

PAUTOU (G.) et coll. 1971.- Carte des groupements végétaux de la Chautagne (Savoie).- *Doc. Carte Vég. Alpes*, IX, 79-107.

PAUTOU (G.) et GENSAC (P.) 1973.- La forêt d'Evieu (Ain), Chênaie à Charme sur sol hydromorphe.- *Ann. C.U. Savoie*, 1, 47-56.

PAUTOU (G.) et GENSAC (P.) 1973.- Recherches écologiques sur quelques types de prairies du marais de Lavours.- *Ann. C. U. Savoie*, 1, 57-64.

PAUTOU (G.) 1975.- *Contribution à l'étude écologique de la plaine alluviale du Rhône entre Seyssel et Lyon.*- Univ. Grenoble, Thèse Etat, 375 p., 32 p. annexe.

QUANTIN (A.) 1935.- L'évolution de la végétation de la Chênaie dans le Jura méridional.- *SIGMA*, 37.

RICHARD (L.) 1968.- Ecologie de l'Aune vert (*Alnus viridis*) : Facteurs climatiques et édaphiques.- *Doc. Carte Vég. Alpes*, VI, 107-158.

RICHARD (L.) 1971.- Feuille de Montmélian (XXXIII-33).- *Doc. Carte Vég. Alpes*, IX, 9-78.

RICHARD (L.) 1973.- Carte écologique des Alpes au 1/100 000, Annecy, Feuille P. 15.- *Doc. Cartogr. Ecol.*, XI, 49-72.

RICHARD (L.) 1973.- Carte écologique des Alpes au 1/50 000 : feuille d'Annecy-Ugine (XXXIV-31).- *Doc. Cartogr.Ecol.*, XII, 17-48.

RICHARD (L.) 1975.- Etude écologique des massifs des Aiguilles Rouges, du Haut-Giffre et des Aravis (Haute-Savoie). Le milieu et la végétation.- *Ann. C. U. Savoie*, tome spécial, 100 p.

TROSSET (L.) 1975.- *Etude de quelques sols de l'étage montagnard dans le massif des Bauges (Savoie)*.- Univ.Grenoble, Thèse de Spécialité, 153 p.