

LES TYPES DE SOLS ET LEUR RÉPARTITION DANS LES ALPES ET LES PYRÉNÉES CRISTALLINES

par JP. LEGROS (1) et YM. CABIDOCHÉ (2)

INTRODUCTION	1
LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS SUR ROCHES CRISTALLINES EN MONTAGNE	2
I - Caractères généraux des sols	2
II - Description sommaire des principaux types	3
LES SOLS DANS LE PAYSAGE	7
I - L'étagement altitudinal	7
II - La répartition en fonction de la morphologie	10
III - Le rôle de l'exposition et de l'arénisation du substrat ..	14
IV - La liaison sol-végétation	16
CONCLUSION	17
BIBLIOGRAPHIE	18

Résumé .- Quatre séquences de sols sur granites, étudiés dans leur environnement dans les Alpes et les Pyrénées, ont permis de préciser l'influence non seulement du climat et de la végétation, mais aussi de la géomorphologie et de la topographie sur l'évolution et la différenciation des sols des hautes montagnes cristallines françaises, en particulier vis-à-vis de la podzolisation.

Summary.- Four soils sequences on the granite from the Alps and Pyrenees have been studied in their environment. This study permits to precise not only the influence of the climate and the vegetation but also the influence of geomorphology and topography on the evolution and differentiation of high cristalline mountains soils of France with special reference to podzolisation.

INTRODUCTION

Notre connaissance des sols des hautes montagnes françaises n'a progressé que lentement, probablement parce que l'étude pédologique de ces régions économiquement marginales n'a pas paru prioritaire. On dispose toutefois de travaux très intéressants parmi lesquels il faut citer : les recherches portant sur la morphologie et la biologie des types d'humus en montagne (W.L. KUBIENA - 1953), les études relatives à la genèse des sols en relation avec le milieu (H. PALLMANN - 1947, P. BOTTNER - 1971). Il faut noter également l'intérêt porté aux sols de montagne par les microbiologistes (A. MONTCOUYOUX - 1976, L. LA BROUE - 1976) ainsi que l'existence d'une bibliographie abondante relative aux hautes montagnes soviétiques et

(1) I.N.R.A., (2) E.N.S.A., Place Viala, 34060 MONTPELLIER Cedex

américaines (voir ci-après dans le texte). Enfin et surtout, on devrait mentionner ici l'ensemble des travaux d'écologie alpine qui fournissent des renseignements très utiles sur le sol et qui ont été conduits sous l'impulsion des chercheurs suivants : J. BRAUN-BLANQUET, P. CHOUARD, H. GAUSSEN, H. JENNY, P. OZENDA.

Au plan pédologique cependant, il n'est pas encore concevable de réaliser une synthèse générale, faute de cartographies systématiques portant sur des surfaces suffisamment étendues.

Aussi, cette note a pour objet de tenter de comprendre et d'interpréter la situation des sols dans le paysage afin de définir les règles de leur genèse et de leur association en séquences caractéristiques, dans le cadre des massifs cristallins. Pour celà, nous avons réalisé, dans les Alpes et les Pyrénées, des prospections pédologiques de reconnaissance avec localement investigations détaillées, descriptions et prélèvements. Ceci nous a permis de sélectionner 4 exemples de séquences qui nous paraissent particulièrement représentatives et typiques. Nous allons les présenter et les discuter successivement en précisant chaque fois ce qu'elles peuvent apporter à la connaissance générale de la répartition et de la différenciation des sols dans le milieu.

Pour clarifier l'exposé, nous décrirons dans une première et courte partie les caractères essentiels des principaux types de sols dont le nom reviendra sans cesse dans la suite du texte.

LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS SUR ROCHES CRISTALLINES EN MONTAGNE

I - CARACTERES GENERAUX DES SOLS DE MONTAGNE SUR ROCHES CRISTALLINES

La spécificité du milieu montagnard permet de dégager un certain nombre de caractères généraux relatifs à la composition et à la situation géographique des sols.

● Caractères morphologiques et physico-chimiques

- La pente est généralement forte et les reliefs "frais". Il en découle une ablation généralisée qui se traduit par une épaisseur faible des profils et par des remaniements et mélanges d'horizons. La tendance à la différenciation verticale est donc contrecarrée d'une manière souvent efficace. A l'inverse, là où les colluvions s'accumulent, les sols sont parfois très profonds et moins instables.

- Les transferts de matériaux fragmentés ou arénisés sont importants (torrents, glaciers, ..). Aussi, les horizons supérieurs du sol ont souvent pris naissance à partir d'éléments qui ne proviennent pas de la roche sous-jacente, mais d'une autre située plus haut sur la pente. Il faut donc être prudent dans les interprétations et en particulier ne pas négliger cette hétérogénéité susceptible de simuler ou même d'induire une différenciation verticale particulière du profil.

- Le climat a une action considérable à la fois sur l'activité biologique globale du sol et sur la nature et la vitesse des réactions géochimiques. La basse température, la persistance d'une couverture neigeuse entravent la minéralisation de la matière organique. Celle-ci est donc abondante par rapport à la biomasse restituée annuellement au sol et son étude détaillée (quantité, forme, composition chimique) facilite la compréhension des conditions de genèse du sol.

Cette matière organique accumulée libère des composés acides hydro-solubles agressifs vis-à-vis des silicates. Ces derniers sont détruits, libèrent du fer et de l'aluminium qui vont plus ou moins migrer sous forme de complexes organo-métalliques pseudo-solubles. C'est le mécanisme de la podzolisation. Il en résulte que les quantités d'argile héritées ou néoformées par l'altération sont faibles et que les sols sont toujours de texture grossière sableuse ou limono-sableuse avec une charge cailouteuse.

Dans le même temps, l'acidité est souvent forte, le pH généralement compris entre 3 et 5,5.

● Répartition dans l'espace

A l'étage montagnard, on observe généralement des sols ocre podzoliques dont l'apparition est liée au manteau forestier. En zone cultivée, les conditions de milieu sont différentes et les sols extériorisent souvent un degré d'évolution pédologique moins intense. Le problème ne sera cependant pas étudié dans le cadre de cet article, consacré à des milieux peu artificialisés.

A l'étage subalpin, les changements fréquents et importants de végétation, de micro-climats, de formes géomorphologiques induisent une forte diversité des sols et leur agencement en mosaïque.

A l'étage alpin, la densité et la nature de la végétation sont telles que l'érosion sévit et que les sols ne représentent qu'une surface très limitée alors que les éboulis nus, falaises, moraines et névés constituent la règle générale.

II - DESCRIPTION SOMMAIRE DES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

La caractérisation d'un milieu pédologique donné comprend, normalement, deux phases. D'abord une reconnaissance des types de sols et leur définition à l'aide de propriétés morphologiques et analytiques facilement observables ou mesurables. A partir de ce classement sommaire, il est possible, dans un second temps, d'entreprendre dans les différents cas des études minéralogiques et biochimiques très fines visant à déterminer les modalités de la dynamique des systèmes.

Jusqu'à présent, nous n'avons achevé que la première étape dont nous rendons compte ci-dessous. Il s'agit en fait de présenter des sols moyens, définis sur la base de l'ensemble des profils que nous avons nous-mêmes observés et analysés depuis plusieurs années dans les Alpes et les Pyrénées (92 profils au total).

La classification française des sols (CPCS-1967) sert de référence pour la définition des taxons, mais aucun caractère qui n'ait réellement été observé sur le terrain n'a été introduit dans la présentation des différents types.

Notons qu'une certaine schématisation a été introduite dans la mesure où toutes sortes d'intergrades ont été volontairement oubliés.

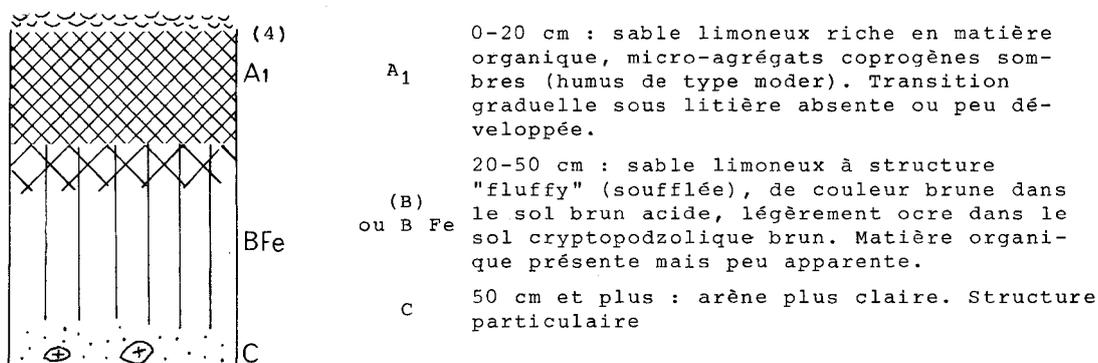
Enfin, il va de soi que seuls les caractères stables, pour un type donné, sont présentés, d'où un certain nombre de lacunes apparentes.

a - Sols bruns acides et cryptopodzoliques bruns

Ce sont des sols non ou peu podzolisés dans lesquels l'altération des silicates est limitée, bien que la libération du fer à partir des micas puisse être intense. L'ensemble du profil est brun ou très légèrement ocre. La redistribution de l'aluminium est faible, celle du fer quasi-nulle.

Environnement typique : étage montagnard inférieur, Hêtraie ou Hêtraie-Sapinière de versants.

Profil de couleur claire aux horizons peu distincts surmonté d'un humus peu épais. (3)



- Caractéristiques analytiques :

Matière organique : 7 % en A₁, 4 % en B Fe ; C/N 15 à 22
 Faible capacité d'échange : T = 13 meq/100 g en A₁, 6 en B Fe et en C
 pH 4,1 à 6,2, selon la richesse en bases de la roche-mère
 Aluminium libre : 2 à 5 o/oo, répartition uniforme dans le sol brun acide, ventre assez net en B Fe dans le sol cryptopodzolique brun
 Fer libre 8 à 20 o/oo
 Taux de libération du fer élevé, mais sans ventre notable.

- Genèse :

Nous avons regroupé dans un même ensemble les sols bruns acides et cryptopodzoliques bruns, car tous les intermédiaires existent entre ces deux pôles dans la même unité pédologique, aussi bien du point de vue morphologique que physico-chimique. Ces sols, situés à une altitude relativement basse, sont peu différenciés car la matière organique minéralise mieux et ne fournit pas une grande quantité de composés agressifs vis-à-vis de la partie minérale du sol. La podzolisation ne se manifeste donc

(3) Pour techniques de descriptions et d'analyses voir tabl. I

(4) Symboles habituels (Ph. DUCHAUFOR, 1970)

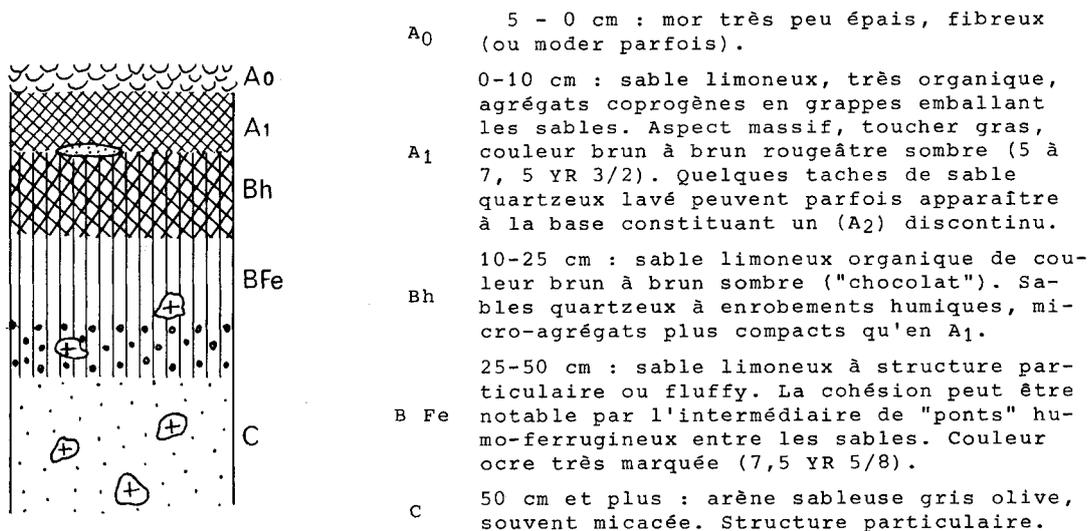
que très faiblement. Cela tient à la fois de la nature des litières (feuillus) et du climat moins rigoureux qu'en altitude.

b - Sols ocre podzoliques

Ce sont des sols assez fortement podzolisés, ce qui se traduit par la différenciation nette d'un horizon d'altération-accumulation auquel le fer donne une couleur orangée caractéristique ainsi que le précise le nom même de ce type pédologique.

Environnement typique : étage montagnard supérieur ou subalpin inférieur sous forêt de conifères ou de conifères-feuillus en mélange. Sous bois d'Ericacées (Myrtilles, Rhododendrons), roches-mères dont la richesse en fer est indifféremment faible ou élevée sur versants bien colonisés et stabilisés par la végétation.

Profil aux horizons assez fortement différenciés par la structure et la couleur.



- Caractéristiques analytiques :

Matière organique : 10 à 30 % en A1, 5 à 14 % en Bh, 3 à 6 % en B Fe ; C/N 18 à 22.
Rapport acides fulviques (AF) / acides humiques (AH) croissant de A1 à B Fe, comme la teneur en composés extractibles.
Fer et Aluminium : Al libre : 1,4 o/oo en A1, 5 à 7 o/oo en B Fe ; Fe libre : ventre peu marqué en Bh ou à la partie supérieure de B Fe. Teneur maximale en Fe total en Bh ou B Fe.
Complexe absorbant : T = 50 meq/100 g en A1 mais V = 10 % en A1 et 4 % en B Fe ; pH 4,5 à 5,5, croissant avec la profondeur.

- Genèse :

Les sols ocre podzoliques sont liés en général aux conditions de milieu induites par une végétation de Conifères et d'Ericacées et par un climat rigoureux (environ 1800 mm de pluie ou neige et 2°C de température moyenne).

Toutefois, la poursuite de la podzolisation jusqu'au stade final (podzól) est entravée :

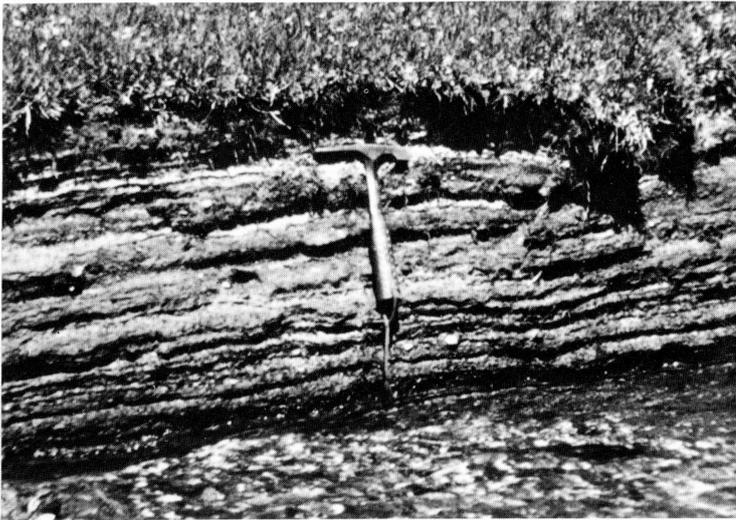
- soit par un excès de fer dans la roche-mère (B. SOUCHIER - 1971) ;
- soit parce que tout simplement le sol ocre podzolique est en équilibre avec les conditions climatiques de son environnement typique (sol climacique de l'étage montagnard supérieur).

c - Podzols humo-ferrugineux

Pour ce type, la dégradation des silicates primaires peut être complète dans la partie supérieure du profil. Seul le quartz résiste et n'est pas entraîné, d'où l'apparition d'un horizon blanchi, qualifié de cendreux si la granulométrie est suffisamment fine, ce qui n'est pas le cas général sur roche cristalline. Corrélativement, l'accumulation de fer, d'aluminium, de matière organique est maximale dans les horizons B. La podzolisation a atteint son stade ultime et les horizons du profil sont remarquablement différenciés.

Environnement typique : étage subalpin sous landine arborée d'Ericacées sur roches-mères pauvres en bases et en fer, arénisées et en position morphologique relativement stable.

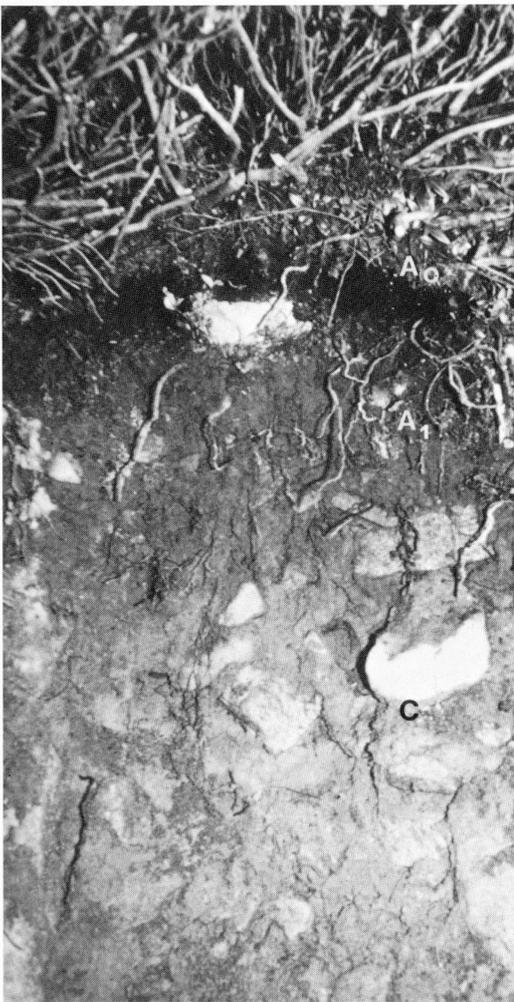
Profil aux horizons différenciés morphologiquement par la teinte (A0 1 noir, A2 gris clair, Bh brun sombre, B Fe orange, C jaunâtre ou verdâtre) et différenciés analytiquement par la migration de fer d'aluminium, de matière organique.



Sol alluvial à bandes minérales et organiques alternées, Petites Oulettes, Vallée de Gaube, Parc National des Pyrénées



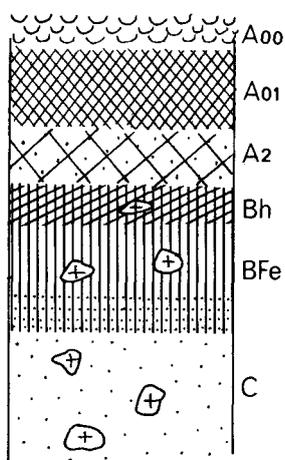
Podzol humo-ferrugineux en pied d'éboulis, Col des Montets, Chamonix



Ranker à mor sur éboulis, Etage subalpin, Rhodoraie, Vallée d'Arrens, Parc National des Pyrénées



Ranker alpin à moder sur dalle granitique, Plan de l'Aiguille, Chamonix



- 0-15 cm : mor moyennement épais, fibreux ou gras selon l'état hydrique. Nombreux résidus végétaux exprimés, noyés dans des grappes d'origine coprogène. Structure particulaire, sables quartzeux propres. Enracinement dense. Brun foncé (10 YR 3/2). Transition progressive.
- Ao1 15-25 cm : sable limoneux, quartzeux, rarement micacé, gris brun à gris brunâtre clair (10 YR 6/2), paraît particulièrement clair de par sa position entre deux horizons organiques foncés, plus ou moins cendrés selon la finesse de la texture. Structure particulaire, pulvérulent. Transition nette avec l'horizon sous-jacent.
- A2 25-32 cm : sable limoneux à enrobements très marqués, brun rougeâtre sombre (5 YR 5/2). Structure fluffy à indurée, selon la quantité et la forme des enrobements humo-ferrugineux.
- Bh 32-50 cm : couleur ocre très marquée (7,5 YR 5/8), moins humifère que le Bh ; autres caractères morphologiques comparables. Transition progressive. Éléments grossiers toujours très sombres (sales).
- B Fe 50 cm et plus : arène plus claire, structure particulaire.
- C

- Caractéristiques analytiques :

Matière organique : 30 à 40 % en A₁, 5 à 10 % en A₂, 8 à 10 % en Bh, 4 % en B Fe : C/N 20 à 34.

Ainsi, le A₂ est beaucoup plus clair que le Bh sans être, en moyenne au moins, plus pauvre en matière organique. A ce niveau, c'est la structure du mélange matière organique - matière minérale qui est en cause ; juxtaposition en A₂, enrobement des grains du squelette quartzeux par les acides organiques en Bh.

		minimum	maximum
Fer et Aluminium (valeurs moyennes calculées sur 10 profils)	Al libre	10 o/oo en A ₀₁	8 o/oo en B Fe
	Fer libre	4 o/oo en A ₀₁	20 o/oo en Bh
	Fer total	10 o/oo en A ₀₁	30 o/oo en B Fe

Bien que les teneurs absolues soient assez variables, les ventres sont toujours très nets, pour l'aluminium libre en B Fe, pour le fer libre en Bh.

Complexe absorbant : T = 34 à 40 meq/100 g à la base du A₀₁, 7 à 12 meq/100 g en A₂, 20 en Bh (grâce à la matière organique). Faible taux de saturation : 20 % en A₀₁, 4 % en BF ; pH 4,2 à 5,5.

- Genèse :

Ces sols sont liés à la présence d'une matière organique très agressive apparaissant sous 2500 mm de précipitations à environ 1°C de température moyenne.

d - Rankers :

Nous regroupons sous cette appellation tous les sols peu ou moyennement épais (10 à 50 cm) qui, en première approche, sont très riches en matière organique juxtaposée à la matière minérale, et de couleur très sombre du haut au bas du profil.

Ils ont tous un pH acide et sont désaturés.

Classiquement on distingue :

- les rankers vrais, sans différenciation d'horizons et dans lesquels l'évolution pédologique est entravée par l'érosion, le froid, ou les deux simultanément. Entrent en particulier dans cette catégorie les rankers d'érosion et les rankers alpins ;
- les rankers cryptopodzoliques encore appelés sols cryptopodzoliques humifères (classification française des sols). Le profil est également peu différencié morphologiquement mais l'analyse chimique révèle une migration verticale de l'aluminium traduisant un certain degré de podzolisation.

En réalité, les caractères morphologiques et physico-chimiques de ces sols sont très variables, en liaison avec des modes de formation très divers. Nous ne pouvons donc pousser plus loin la caractérisation globale des rankers dont différents sous-types sont en cours d'étude.

A défaut de typologie précise, on peut distinguer ces sols par les caractéristiques du milieu auquel ils sont liés. C'est ainsi que relativement au substrat, nous différencions :

- les rankers sur dalle compacte (banquettes de mur d'auge, verrous, affleurements rocheux) ; ce sont les plus humifères (10 à 60 % de matière organique) et les moins épais (10 à 30 cm) ;

- les rankers sur matériaux meubles : encore riches en matière organique (10 à 30 %). On peut parfois distinguer à la base de leur horizon A₁, un horizon A₁B ou même B Fe, traduisant une podzolisation plus ou moins affirmée et liée à un entraînement d'aluminium non négligeable.

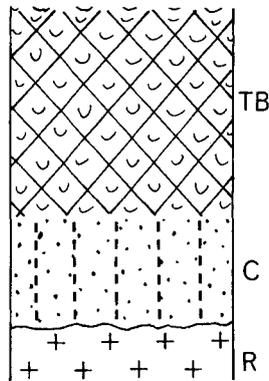
Par ailleurs, si on se réfère aux conditions écologiques globales, on observe :

- des rankers liés à la notion d'étage ; c'est le cas du ranker alpin à moder sous la pelouse alpine ;

- des rankers qui s'affranchissent de la notion d'étage : rankers à hydromoder observés sur murs d'auge, sous Graminées, et rankers d'érosion sur pente très forte. Il s'agit de climax stationnels (Ph. DUCHAUFOR - 1972) ;

- des rankers dont la situation est en quelque sorte intermédiaire puisqu'on ne les trouve que dans un étage déterminé et de plus dans une situation de milieu particulière. Par exemple ranker à xéromor sous Rhododendron des éboulis de l'étage subalpin.

e - Tourbes acides



Environnement typique : pied de versant ou niveau sourceux permettant une venue d'eau perenne qui imbibe complètement le profil. Végétation de Sphaignes, Carex qui croissent sur leurs propres déchets (tourbières hautes).

Profil : TB de 0 à 20 ou 80 cm : tourbe fibreuse brun sombre (7,5 YR 3/2). Enracinement très dense.

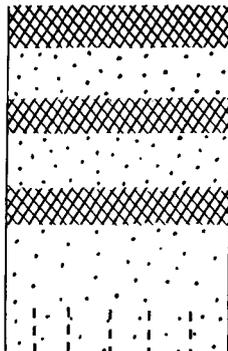
C ensuite sur 20 cm : sable lavé verdâtre (réduction et appauvrissement pour le fer).

R au-delà : dalle compacte

- Caractéristiques analytiques :

pH 4,9, présence d'aluminium libre en C ; densité de la tourbe : 0,2 à 0,4.

f - Sols alluviaux :



Ils occupent les ombilics des vallées glaciaires. Ils se caractérisent par un humus de type anmoor ou hydromoder ; parfois l'arène est affectée d'un gley mais le plus souvent elle est simplement lavée par l'eau circulante. Parfois des apports cycliques d'alluvions enfouissent les horizons humifères qui se conservent : on a ainsi des profils à horizons minéraux et organiques intercalés.

TABLEAU I

T	= Capacité d'échange de cations mesurée à pH 7 par l'acétate d'ammonium normal.
V	= Taux de saturation = somme des cations présents sur le complexe absorbant rapportée à T et multipliée par 100.
C/N	= rapport carbone % sur azote % dans l'horizon considéré.
pH	= pH H ₂ O mesuré au rapport de dilution 1 sur 2,5.
Couleur	(exemple : 7,5 YR 5/5) = référence au Soil Munsell Color Chart.

TABLEAU II- Analyses totales de roches granitiques s.l.concernant les sites étudiés

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (fer tot.)	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	PF	Total
MASSIF DES ECRINS d'après P. LE FORT (1973)	L 1 La Bélarde	76,80	12,70	0,52	0,10	0,00	0,42	4,08	4,28	0,00	0,31	99,21
	L 2 Plan du Carrelet	75,60	12,10	0,99	0,05	0,00	0,99	3,78	4,47	0,00	0,58	98,56
MONT-BLANC d'après M. PANET (1969)	P 1 Protogine	71,4	14,3	2,2	-	1,2	1,0	3,2	5,0	-	-	98,3
AIGUILLES ROUGES d'après J. BELLIERE (1976)	B 1 Gneiss Col des Montets	70,87	14,51	3,56	0,06	1,19	2,31	4,43	2,50	0,52	0,94	100,70
MASSIF DE CAUTERETS PANTICOSA d'après F. DEBON (1972)	D 1 Granodiorite de Gaubé	64,53	15,69	4,44	0,08	2,60	4,05	2,75	3,54	0,53	1,45	99,66
	D 2 Enclaves basiques dans D 1	53,55	17,62	8,61	0,16	4,64	7,59	2,56	2,14	0,97	1,99	101,17

LES SOLS DANS LE PAYSAGE

Les prospections réalisées sur le terrain ont confirmé l'importance considérable jouée par différents facteurs dans la différenciation des sols, en particulier :

- L'étagement altitudinal de la végétation qui est liée au gradient climatique. Ceci sera illustré par la séquence de Chamonix. A un niveau plus fin, l'exposition peut apporter un certain nombre de nuances qui seront discutées à propos de la séquence de La Bélarde.

- La géomorphologie qui conditionne l'économie de l'eau et la stabilité du sol vis-à-vis de l'érosion aussi bien à l'échelle d'une vallée, comme nous le verrons dans le cas de la Vallée de Gaubé, qu'au niveau de la position topographique à l'intérieur d'une forme géomorphologique précise. L'exemple des éboulis du Col des Montets est pour ce dernier point caractéristique.

Enfin, le degré d'arénisation du substrat apparaîtra, à la fois, comme un facteur et comme un indice importants. C'est à nouveau la séquence de La Bélarde qui nous servira d'illustration.

Naturellement, on devra garder à l'esprit que le facteur principal de la différenciation des sols, la nature de la roche-mère, est considéré ici comme homogène à quelques nuances près qui seront précisées dans le texte. Ainsi, l'étude des sols de montagnes sur roches calcaires amènerait à présenter certains types pédologiques très différents de ceux qui sont envisagés ici.

I - L'ETAGEMENT ALTITUDINAL

a - Exemple de la séquence de CHAMONIX

On l'observe sous le câble du téléphérique de l'Aiguille du Midi entre CHAMONIX (1030 m) et le PLAN DE L'AIGUILLE (2137 m). L'exposition est Nord-Ouest. Le substrat est formé d'un gneiss à faciès corné (grain fin, grande richesse en quartz), mais on retrouve en fait dans les profils une forte charge en protogine du Mont-Blanc (souvent granite à biotites chloritisées, parfois diorite ou syénite) qui a été poussée là par les glaciers (cf. composition chimique tableau II, référence P₁). La végétation est constituée de pelouses, landes, forêts. La pente est très forte (60 à 70 %) ; globalement assez régulière, elle ne s'adoucit qu'au niveau du plan de l'aiguille proprement dit.

Dans ces conditions, l'étagement de la végétation et des sols est manifeste, en liaison directe avec la variation climatique altitudinale (voir schéma n°1).

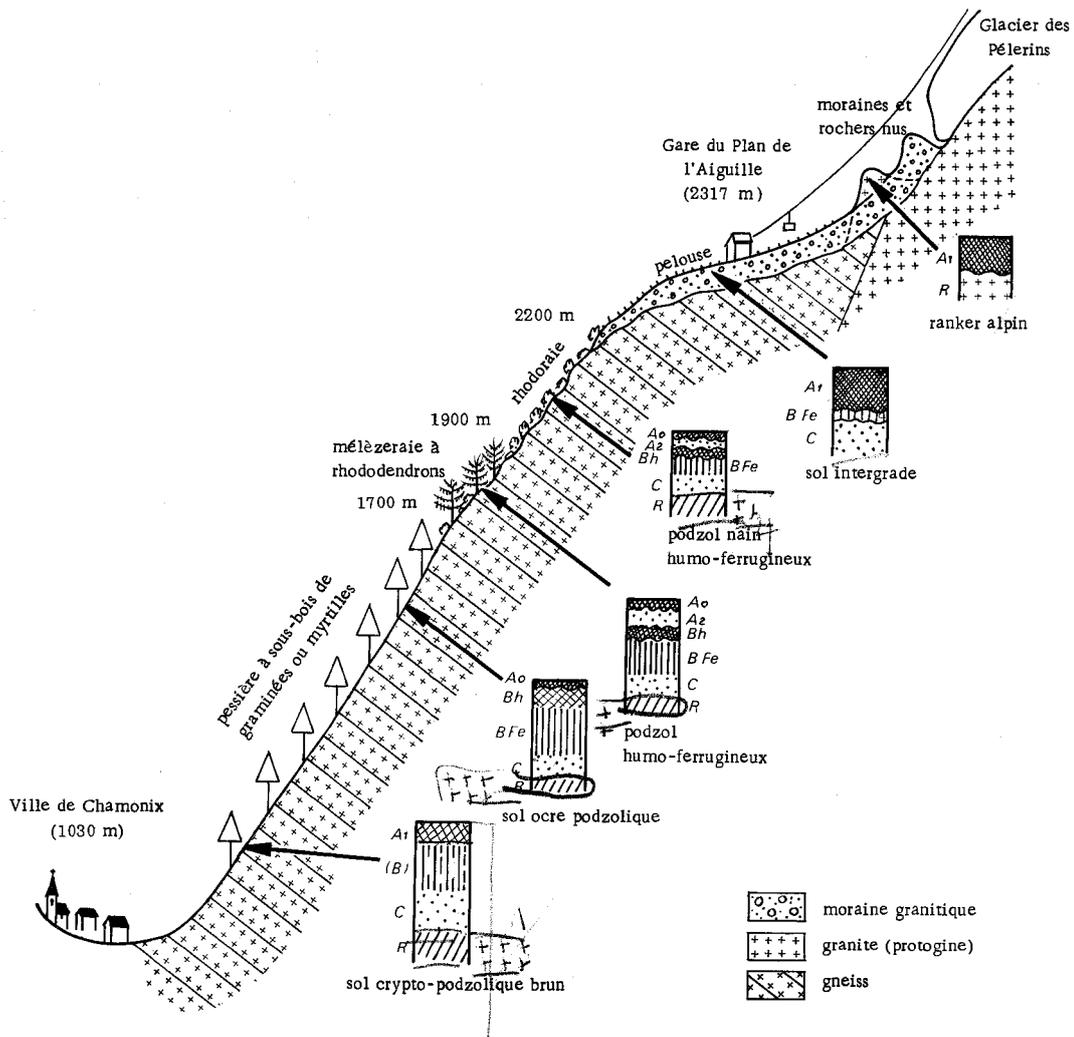


Schéma n° 1 - Etagement altitudinal des sols entre Chamonix et l'Aiguille du Midi (versant exposé au Sud-Est).

- Entre 1000 et 1700 m, c'est l'étage montagnard représenté ici par une forêt d'Epicéa. En fait, on peut distinguer trois types de formations phytosociologiques :

- . un boisement dense sans sous-bois autre que mousses et aiguilles. C'est le cas le plus fréquent ;
- . un boisement plus lâche avec Myrtilles moyennement denses ;
- . un boisement lâche avec Graminées (*Briza media*).

Dans ce contexte, on observe des sols dont le degré d'évolution est assez variable depuis les cryptopodzoliques bruns jusqu'aux ocre podzologiques très différenciés avec A₂ discontinu. Il semble que la podzolisation la plus forte intervienne pour la partie haute de la Pessière et corresponde au sous-bois de Myrtille. On observe alors un mor de 7-8 cm, ainsi qu'un B Fe très vif et proche de la surface. Sous Graminées, l'humus apparaît moins agressif et la podzolisation moins affirmée. En l'absence de sous-bois, les aiguilles seules n'induisent ni la constitution d'un stock organique important, ni une dégradation intense, aussi le stade cryptopodzologique brun n'est pas dépassé. Cela tient peut-être tout simplement à la pente très forte qui, dans ces conditions, exemptes de végétation, entraîne un brassage permanent de la partie supérieure des profils favorisant la minéralisation de la fraction organique et limite la différenciation des horizons. Le B Fe est alors peu net et profond.

Globalement, l'association Epicéa-sol ocre podzologique semble assez typique des montagnes cristallines des Alpes. C'est le cas pour le massif du Mont-Blanc, pour le massif des Aiguilles Rouges qui lui fait face, pour le massif des Ecrins (région du Désert). Dans les Pyrénées, la situation est identique à l'étage montagnard supérieur, à ceci près que l'Epicéa est remplacé par le Sapin.

- Entre 1700 et 1900 m. Une forêt claire de Mélèzes avec un sous-bois dense de Rhododendrons d'une taille relativement haute matérialise l'étage subalpin inférieur. Elle recouvre de très beaux podzols humo-ferrugineux.

Cette association résineux-Rhododendrons donne des humus épais de type mor, quelle que soit la roche-mère (H. PALLMANN - 1947). Le A₂ qui fait suite vers le bas est fortement appauvri, le BH est net quoique parfois assez mince. Le B Fe est très vif. L'arène n'apparaît qu'assez profondément ; les minéraux chloritisés qu'elle contient lui donnent un reflet verdâtre caractéristique.

- Entre 1900 et 2200 m. Seuls subsistent les Rhododendrons (étage subalpin supérieur). Ils constituent un tapis dense, ras, continu, qui cache soit des pierriers soit des podzols humo-ferrugineux. Ceux-ci ont des horizons bien différenciés, séparés par des limites extrêmement nettes. Le B Fe est même parfois légèrement cimenté par le fer. Cependant, ces sols sont de très faible épaisseur, la limite entre le B Fe et le C se situe à 30 ou 50 cm de la surface. Notons que les sols des régions arctiques sont également caractérisés par un profil peu développé en profondeur et par une différenciation assez nette des horizons (J.L. RETZER - 1965). La matière organique est abondante, elle masque partiellement l'horizon A₂ qui apparaît gris et l'horizon B Fe qui est brun plutôt qu'orangé.

Sous Rhododendrons, il est très commun de rencontrer des sols présentant plusieurs horizons A₂ et B Fe superposés. Cela traduit parfois une circulation latérale des solutions, l'horizon A₂ pouvant par exemple se diviser en deux dans le sens de la pente. Mais cela est dû pour l'essentiel à l'instabilité du matériel et à des recouvrements.

Globalement, l'association Rhododendrons-podzols est systématique dans toutes les Alpes du Nord, lorsque la roche est pauvre en fer, ce qui est particulièrement le cas de la protogine. Sur ce plan le Millionième pédologique de la France doit être révisé. Dans les Alpes du Sud et les Pyrénées, les choses sont beaucoup moins nettes en dépit de roches parfois plus acides (cf. granites des Ecrins, tableau II), car la tendance à la podzolisation qui continue à se manifester sous Eriacées est souvent contrariée par d'autres facteurs du milieu (érosion plus importante qui remanie plus rapidement les profils, climat plus sec qui aide à la minéralisation des humus). Cependant, d'une manière générale, la présence systématique ou locale de podzols caractérise bien l'étage subalpin, même au Canada (J.I. SNEDDON et Al. - 1972, M. SINGER et F.C. UGOLINI - 1974) et dans les Apennins toscans (A. VALENTI et G. SANESI - 1967).

- Au-dessus de 2200 m. C'est maintenant le domaine de la pelouse à Graminées. Son extension est ici très limitée car dès 2450 m toute végétation disparaît, laissant la place aux glaciers, aux éboulis nus, aux moraines non colonisées.

Curieusement, on trouve sous cette pelouse toute une série d'intermédiaires entre le ranker alpin et le podzol vrai, en passant par le sol cryptopodzolique humifère. Pour expliquer cela, on peut invoquer un changement de végétation, par exemple une régression de la Rhodoraie sous l'influence du pâturage, car les moutons sont ici très nombreux. En fait, la réalité est peut-être différente : la plupart des sols de l'étage alpin que nous avons analysés sur roche acide dans les Alpes et les Pyrénées présentent des migrations importantes d'alumine libre au travers des profils et constituent des variétés particulières de sols cryptopodzoliques humifères au même titre que le ranker pseudo-alpin du Massif Central. Nous avons d'ailleurs entrepris la comparaison dans un travail séparé.

A l'étage alpin, les horizons spodiques seraient donc souvent présents mais masqués par la matière organique (J.I. SNEDDON et Al. - 1972).

b - Discussion

Notons tout d'abord que la séquence altitudinale est caractéristique au moins du massif du Mont-Blanc et du massif des Aiguilles Rouges. On la retrouve tout au long de la vallée de Chamonix, indifféremment sur les deux versants : téléphérique de la Flégère, Montenvers, Côte du Nant (le Couteray), .. Elle est probablement valable pour toutes les Alpes du Nord sur roche acide.

Elle montre que les sols correspondant aux principaux étages de végétation sont tous podzolisés. Ils se distinguent les uns des autres par des différences dans le degré d'évolution ou bien par des nuances dans la morphologie des profils (podzols des étages subalpins inférieur et supérieur).

En définitive, compte tenu des travaux antérieurement réalisés (J.P. LEGROS - 1975, Y.M. CABIDOCHÉ - 1975 et 1976), on peut tenter une comparaison entre les grands massifs cristallins français dans le cas d'une pédogenèse intervenant en secteur soustrait à une action anthropique très marquée.

	MASSIF CENTRAL	ALPES DU NORD	PYRENEES - ALPES DU SUD
<u>Etage montagnard moyen</u> Hêtre (normalement)	. Sol ocre podzolique (leptynite, granite à deux micas). . Sol cryptopodzolique brun (granite à biotite)	. Brun acide (Hêtre) . Cryptopodzolique brun (Epicéa)	. Brun acide (Hêtre) . Cryptopodzolique brun (Hêtre + quelques Sapins)
<u>Etage montagnard supérieur</u> Résineux + Myrtilles	. Podzol (Sapin ou Epicéa versant humide, leptynite) . Ocre podzolique (autres conditions)	. Ocre podzolique (Epicéa)	. Ocre podzolique (Sapin)
<u>Etage subalpin</u> Ericacées + résineux		. Podzol (Rhododendron + Mélèze) . Ocre podzolique (Myrtille + Epicéa)	Association de ranker à mor, sol ocre podzolique humifère et très localement podzol (Pins à crochets + Ericacées)
<u>Etage subalpin</u> <u>Sup-zone de transition</u> Rhododendrons		. Podzol nain	
<u>Etage alpin ou pseudo-alpin</u> Graminées	. Sol cryptopodzolique humifère (pelouse pseudo-alpine)		Ranker alpin

Ainsi, le stade podzol est atteint dès l'étage montagnard dans les massifs anciens, Vosges y compris (M. GURY et Al. - 1977), alors que dans les montagnes les plus hautes, ce sol n'affecte guère que l'étage subalpin. Cela correspond à un décalage altitudinal de 700 m ou plus. Le climat est probablement responsable de cela : une station située à 1500 m dans les Alpes ou les Pyrénées peut être chaude et abritée alors que dans le Massif Central, elle correspond nécessairement à une crête soumise à des températures réduites et une pluviométrie abondante. Les quelques chiffres qui suivent le montrent, en ce qui concerne les hauteurs d'eau :

MASSIF CENTRAL - Aigoual	1567 m	2242 mm d'eau
PYRENEES - Gaube	1810 m	1568 mm d'eau
ALPES DU NORD - Bonneval/Arc	1790 m	1002 mm d'eau
ALPES DU SUD - Ventoux	1972 m	966 mm d'eau

En revanche, dans le Massif Central et aussi dans les Vosges (B. SOUCHIER - 1971), le stade podzol n'est atteint que sur des roches très acides telles que leptynite ou granite à muscovite. En haute montagne, le milieu est globalement plus agressif et des podzols peuvent apparaître sur micaschistes (J. BOUMA et Al. - 1969). Cependant, il faut bien noter qu'il ne s'agit plus alors de matériel frais mais d'arènes remaniées et transformées qui, en réalité, n'ont plus guère de rapport direct avec la roche dont elles sont issues primitivement.

II - LA REPARTITION EN FONCTION DE LA TOPOGRAPHIE

a - Exemple de la vallée de GAUBE (Hautes Pyrénées - Cauterets)

La vallée de Gaube est rectiligne, orientée Sud-Nord ; elle s'inscrit dans le paysage entre le Vignemale (3298 m) et le Pont d'Espagne (1496 m). Elle commence en fait au front du glacier Nord du Vignemale, au cirque des Oulettes, si bien que sa longueur est voisine de 9 km pour une dénivellation de 800 mètres. Elle se poursuit par une série de quatre verrous et ombilics alternés dont les principaux ont été figurés sur le schéma n° 2. L'ensemble, Vignemale excepté, est creusé dans des granodiorites ou des diorites quartziques.

La vallée recoupe successivement les étages alpin, subalpin et montagnard supérieur, avec leur végétation caractéristique développée sur les verrous : pelouse alpine, lande à Ericacées et Pins à crochets, Sapinière à Myrtilles ou Pins sylvestres. Les ombilics, quant à eux, s'affranchissent assez nettement de la notion d'étage : leur végétation et leur sol dépendant étroitement du niveau de la nappe aquifère, c'est-à-dire en définitive du niveau de remblaiement alluvial ou colluvial.

- Sols des Verrous

. A l'étage alpin, sur le verrou des Oulettes de Gaube : ranker alpin à moder.

. A l'étage subalpin, sur le verrou d'Esplumouse : ranker à mor et sol ocre podzolique humifère sur granodiorite assez riche en fer (cf. tableau II, références D₁ et D₂). De plus, des podzols humo-ferrugineux apparaissent très localement lorsqu'un peu d'arène granitique particulièrement pauvre en fer est restée piégée dans une concavité entre deux roches moutonnées, formant ainsi un substrat

plus profond. La surface ainsi couverte est évidemment très réduite, mais un tel mode d'occurrence est caractéristique des vallées cristallines de Cauterets et d'Arrens dans le Parc National des Pyrénées (Y.M. CABIDOCHÉ - 1975).

. A l'étage montagnard, sur le flanc Nord du verrou de Gaube, dans la forêt de Jeret : sols ocre podzoliques typiques.

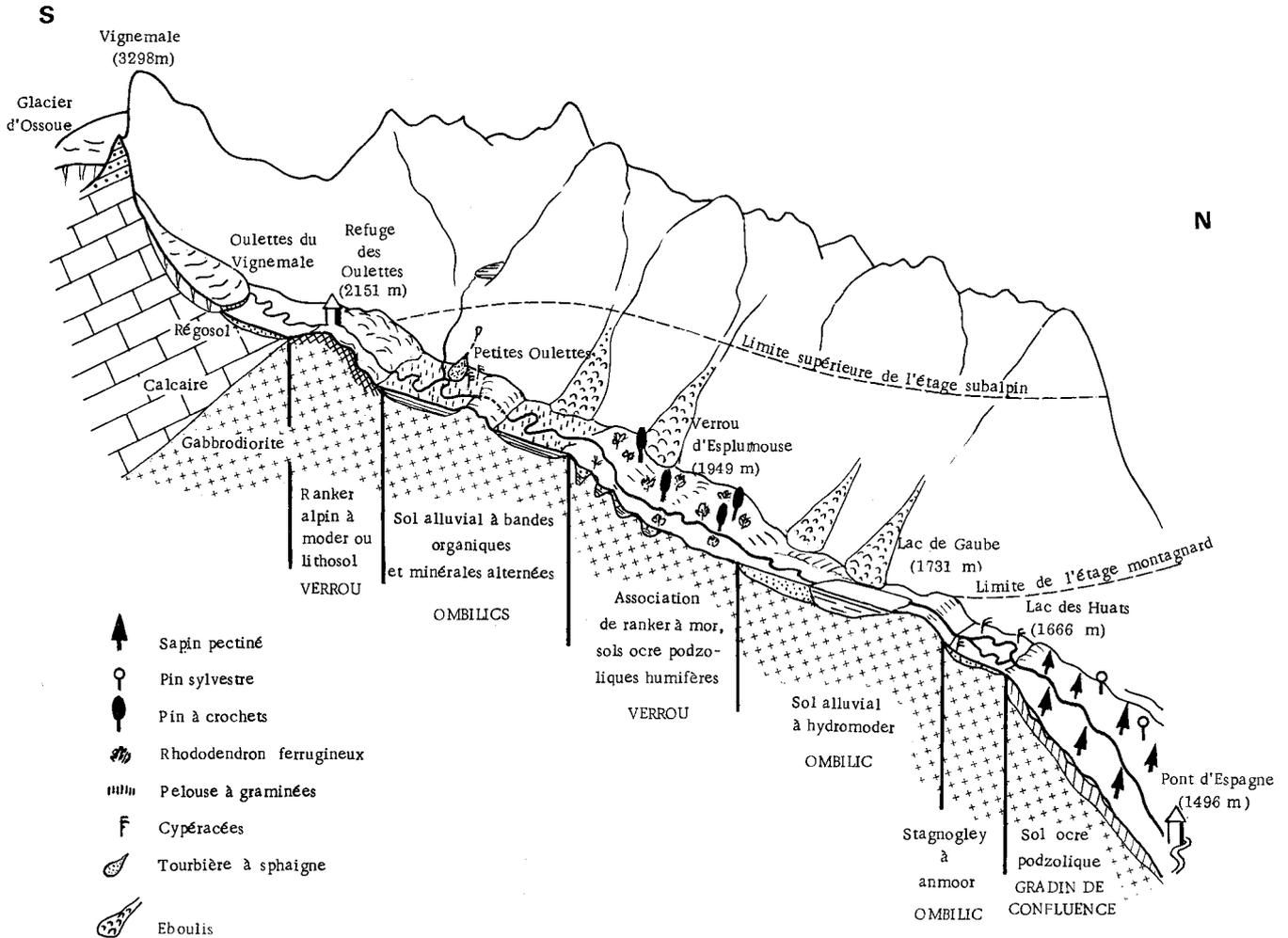


Schéma n° 2 - Liaisons sols-géomorphologie en Vallée de Gaube (Cauterets - Hautes Pyrénées).

- Sols des Ombilics

. Lorsque le remblaiement est nul, on a évidemment de l'eau libre (Lac de Gaube).

. Lorsque les alluvions sont à peine exondées, on observe un stagnogley à anmoor. C'est le cas sur les rives du Lac des Huats et c'est le cas d'une manière plus générale sur le pourtour des zones saturées d'eau, par exemple lieu dit "Claou de Larribet" en haute vallée d'Arrens.

. Les terrains tout à fait sains sont cependant saturés d'eau à la fonte des neiges et conservent pour cela une teneur en matière organique importante. En outre, les sols portent la marque du recouvrement périodique de la surface par une fraction minérale de quelques centimètres lors des crues. En effet, les profils et les coupes révèlent une alternance de bandes horizontales, les unes minérales claires, les autres organiques sombres tourbescentes. La minéralisation très lente des horizons humifères de surface enfouis donne à ce phénomène tout son relief et le rend pour ainsi dire caractéristique des zones de montagne. On l'observe aussi bien dans les gaves pyrénéens que dans les talwegs de l'Aigoual, du Mont Lozère, du Massif du Pilat. Un phénomène similaire est signalé au Nord de l'Ecosse entre 800 et 1000m (J.C.C. ROMANS et Al. - 1966).

Au plan de la classification des sols (CPCS - 1967), il est intéressant de remarquer que ce type pédologique peu évolué est, dans le cas précis, à la fois "climatique" et d' "apport alluvial". En fait, on peut l'observer aussi sur pente, au débouché d'un cône torrentiel où la nappe d'inferoflux fournit l'humidité nécessaire tandis que le torrent assure périodiquement les recouvrements.

b - Exemple de la séquence du col des MONTETS (schéma n° 3)

Elle s'observe au pied du massif des Aiguilles Rouges, à proximité de la frontière franco-suisse. Elle s'étage entre 1450 et 1600 m (limite inférieure de l'étage subalpin), sur le versant Est du col des Montets. Le substrat est constitué par un éboulis, reposant sur une auge glacière, ce dernier étant alimenté par une barre rocheuse de gneiss ocellé qui le domine à l'amont. La pente s'adoucit vers le bas jusqu'à s'annuler, mais en moyenne elle est voisine de 60 %. La végétation est constituée par une lande à Myrtille, Genévrier rampant, Mélèzes et Epicéas isolés.. La richesse floristique du site est telle qu'un classement en réserve botanique est intervenu.

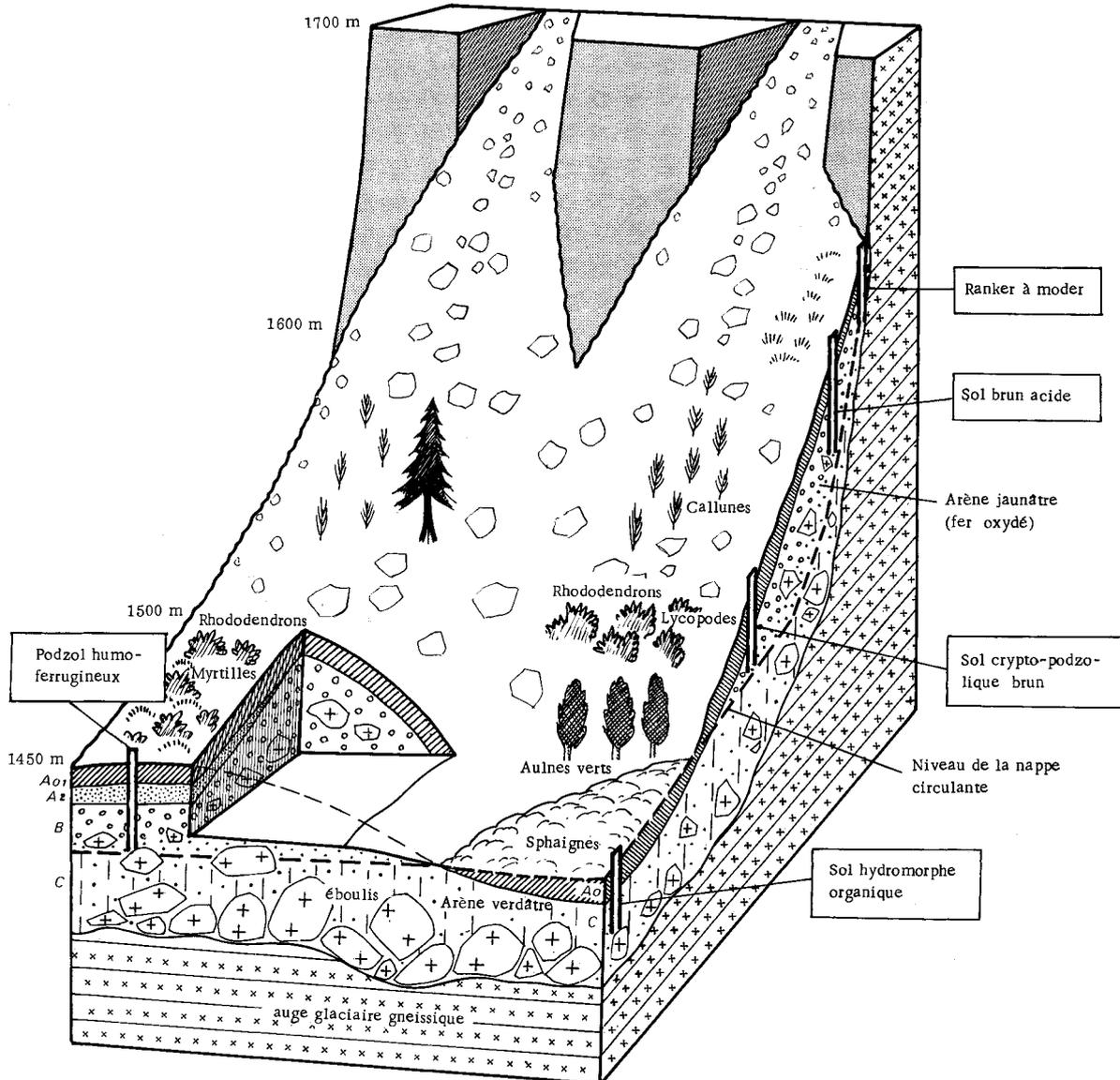


Schéma n° 3 - Différenciation des sols au sein d'un éboulis au Col des Montets (versant exposé à l'Est).

Si l'on excepte les concentrations d'Aune vert qui soulignent la présence de quelques secteurs particulièrement humides, les espèces ne semblent pas se regrouper en associations végétales susceptibles d'influencer d'une manière spécifique la pédogenèse. Par ailleurs, la variation altitudinale est faible. Dans ce contexte, la position topographique et morphologique jouent un rôle considérable :

. à l'amont de l'éboulis, la pente est particulièrement forte et le milieu particulièrement instable. La différenciation des profils est faible, le sol est du type brun acide ou cryptopodzolique brun ;

. à la base de l'éboulis, deux cas sont à considérer suivant que la nappe d'inferoflux affleure ou n'affleure pas, c'est-à-dire suivant qu'on se trouve, au niveau de la microtopographie, sur une bosse ou dans un creux :

- sur les bosses, on observe des podzols humo-ferrugineux, car toute une série de conditions favorables sont réunies : stabilité plus grande, lavage latéral par la nappe plus important, lessivage vertical accru par suite de l'accumulation de la neige (avalanches), humidité évidemment plus forte, matériau-mère probablement déplacé, donc altéré et appauvri.

La présence de podzols à la partie inférieure des éboulis est, à notre avis, tout à fait fréquente et caractéristique. Nous l'avons remarquée à 1950 m d'altitude dans le Massif des Ecrins à proximité du Refuge du Plan du Carrelet, sur un versant Nord, et aussi dans le Mercantour, près d'Isola 2000 à 1860 m sur un versant Nord-Ouest ;

- dans les creux, il est possible de trouver des tourbes ; c'est le cas au Col des Montets où celles-ci sont brunes, fibreuses, de 20 cm à 1 m d'épaisseur, sans horizons nettement différenciés. Elles reposent d'une manière tout à fait classique sur un sable graveleux, lavé et verdâtre précédant la roche.

La présence de tourbe est liée d'une part à l'existence d'un substrat imperméable, pas trop profond, faisant affleurer la nappe d'inferoflux de l'éboulis, d'autre part à l'absence d'axe de drainage transversal assurant l'écoulement des eaux. Ces conditions sont réunies aux Montets par suite de la présence d'un Col taillé dans une auge glaciaire imperméable. Naturellement, cette situation n'est pas très fréquente, mais elle est particulièrement démonstrative du rôle de la position topographique et des conséquences qui en découlent quant à l'humidité des stations.

Naturellement, les conditions mêmes de différenciation de ces sols font qu'on ne peut s'attendre à une répartition strictement ordonnée. Ainsi, au sommet de tel éboulis particulièrement humide et bien stabilisé, on pourra trouver des podzols. Dans tel autre, constamment remanié, les sols de ce type seront disloqués et on observera ici une poche de A₂, là une poche de Bh, etc... Dans ce cas, il est fréquent de rencontrer des profils avec plusieurs horizons A₂ et B Fe intercalés. De petites tourbières très localisées, liées à un niveau sourceux, peuvent également apparaître en divers endroits.

c - Discussion

L'exemple de la vallée de Gaube et celui du Col des Montets montrent bien le rôle considérable que le facteur "géomorphologie" joue sur la différenciation des sols en montagne, aussi bien à l'échelle d'une vallée qu'au sein d'un simple éboulis. Ce sont moins les formes du relief qui sont à considérer que leurs implications dans la stabilité des matériaux, l'économie en eau, les modalités de drainage.

De tout ceci, il résulte que les principaux types de sols répertoriés en haute montagne cristalline peuvent se rencontrer soit en équilibre climatique sur de larges surfaces (cf. schéma n° 1), soit en position de climax stationnel (Ph. DUCHAUFOR - 1970) lorsque l'environnement géomorphologique recrée localement le micro-climat nécessaire. Les exemples qui suivent vont le montrer plus précisément.

- Occurrence des podzols

Dans les Alpes du Nord, sous les Rhododendrons de l'étage subalpin, le podzol nain constitue un climax et se rencontre à peu près partout. Dans les Alpes du Sud, dans les Pyrénées et à la limite inférieure de l'étage subalpin dans les Alpes du Nord, ces podzols deviennent rares par suite d'un climat plus sec et plus chaud. Pour les rencontrer, il faut une position topographique particulière entraînant d'une part un drainage à travers le profil d'une quantité d'eau spécialement importante, assurant d'autre part une stabilité suffisante pour que l'évolution plus lente, dans ces régions, ait néanmoins le temps de se poursuivre jusqu'à la dégradation poussée des horizons de surface. Ces conditions spéciales de station sont à notre connaissance les suivantes :

- . partie inférieure des éboulis avec résurgence de nappe (schéma n°3)
- . verrous : lorsqu'il y a réception de l'eau sur de vastes affleurements de roches moutonnées et concentration de celle-ci dans les poches arénisées (Pyrénées) ;
- . moraines latérales qui reçoivent toute l'eau de la paroi qui les borde (Alpes et Pyrénées) ou moraines de fond, lorsqu'elles sont constituées d'un matériel drainant et déjà fortement arénisé susceptible d'une évolution podzolique rapide.

- Occurrence des tourbes :

Dans les Alpes et les Pyrénées, les tourbières actuelles sont peu nombreuses et peu étendues. Les raisons semblent être principalement les suivantes :

. dans des montagnes jeunes, au relief très accusé, on rencontre peu de vastes dépressions favorables à l'accumulation de l'eau ;

. lorsque de telles dépressions existent (cf. schéma n°2), le régime hydrique, de type nival, est défavorable avec une énorme pointe de fin de printemps (fonte des neiges) et un étiage d'automne très marqué. Il en résulte des variations considérables des niveaux phréatiques, ce qui gêne d'une part le développement de la végétation, entraîne d'autre part la minéralisation relativement rapide des débris organiques (alternance d'humidité et de sécheresse) ;

. au-dessus de 2000 ou 2200 m, la végétation est rase, sa période végétative est limitée par le froid et la neige, elle ne peut donc fournir une quantité importante de résidus (J. BOUMA et Al. - 1971 ; R.B. HANAWALT et R.H. WHITTAKER - 1976).

En définitive, les tourbières s'observent, à altitude modérée, lorsqu'existe un écoulement d'eau peu oxygénée, relativement constant dans le temps et dans l'espace. Ces conditions stationnelles précises sont réalisées à l'étage subalpin, à l'aval de quelques combes à neige ou niveau sourceux, ainsi qu'au pied de certains éboulis ou murs d'auge.

Le froid, l'altitude, la pluviométrie annuelle élevée apparaissent donc comme des critères nettement insuffisants pour présumer de l'existence de tourbières acides en montagne. L'humidité constante reste l'élément fondamental si bien que les plus belles tourbes françaises d'altitude restent celles de l'étage montagnard du Massif Central situées au-dessous de 1650 m d'altitude (Mont Lozère et Margeride notamment).

III - LE RÔLE DE L'EXPOSITION ET DE L'ARENISATION DU SUBSTRAT

Au niveau de la formation du sol, l'exposition n'a pas de rapport net avec le degré d'arenisation du substrat. C'est simplement le fait que nous envisagerons ces deux facteurs à l'occasion de la présentation de la séquence de La Bérarde qui nous incite, par commodité, à regrouper ici les deux éléments.

a - Exemple de la séquence de LA BERARDE (schéma n°4)

Elle se situe dans le Massif des Ecrins, à proximité immédiate du Centre d'Alpinisme de La Bérarde. L'altitude varie entre 1700 et 2500 m, mais pour l'essentiel, la séquence intéresse l'étage subalpin. Le substrat est formé par le granite de la Bérarde-Promontoire dont la composition minéralogique est la suivante (P. LEFORT - 1973) :

. Quartz 33 %, Microcline 23 %, Albite 41 %, Chlorobiotite 2,6 %,
Muscovite 0,1 % (cf. aussi analyses totales, tableau n° II,
références L 1, L 2).

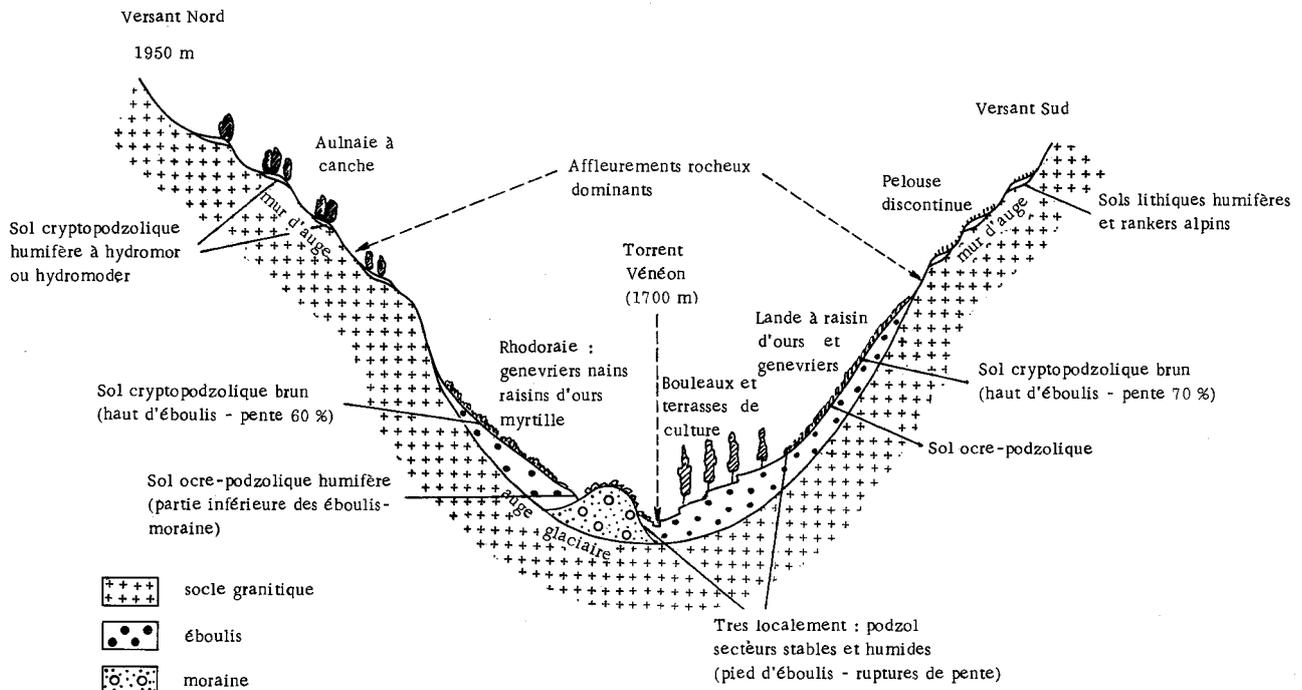


Schéma n° 4 - Coupe dans la Vallée du Vénéon - La Bérarde.

Ici encore il s'agit d'une auge glaciaire, partiellement encombrée d'éboulis et même d'un lambeau de moraine. On considèrera simultanément les deux murs qui encadrent le torrent "VENEON" et sont orientés l'un au Sud, l'autre au Nord. La pente est réglée à 60 ou 70 % sur la majeure partie des éboulis, ce qui est une constante régionale sur ce type de matériau. Vers le bas, elle s'adoucit progressivement. Sur les murs d'auge proprement dits elle est très variable. La roche forme assez souvent des séries d'escaliers à marches étroites sub-horizontales et à contre-marches longues plus ou moins inclinées.

Le versant Sud est apparemment sec. Pourtant les quelques terrassettes de culture constituées à la base de l'éboulis portent de belles fenaisons et sont encadrées de Bouleaux (nappe d'inferoflux). En l'absence d'intervention humaine, ces derniers sont seuls à coloniser des pierriers d'aspect tout à fait stérile. Plus haut, la lande est riche en Raisin d'Ours et en Genévriers, ce qui correspond à un certain degré de chaleur et de sécheresse. Plus haut encore, la pelouse qui colonise, çà et là, les fissures et les replats du rocher est constituée de Nard raide, *Carex sempervirens*, *Festuca varia*, *Festuca spadicea*, .. (J.P. DALMAS, communication personnelle).

Le versant Nord est manifestement très humide : l'eau ruisselle en toutes saisons sur les dalles d'un mur d'auge où s'accrochent des Aunes verts recouvrant un tapis à dominante de Canche flexueuse. L'éboulis qui empâte la base du versant est couvert d'une Rhodoraie sans caractères particuliers.

b - Discussion

Dans ces conditions de milieu, on peut apprécier l'influence de deux facteurs de répartition des sols : d'une part l'exposition, d'autre part le degré d'arénisation du substrat (éboulis ou au contraire dalle en place).

- L'influence de l'exposition

Elle est considérable à la fois sur la répartition de l'activité humaine et sur la répartition de la végétation, ces deux éléments n'étant pas indépendants. En revanche, il semble que la pédogenèse ne soit pas fortement affectée dans le cas considéré. Les éboulis, aussi bien en versant Sud qu'en versant Nord, renferment pour l'essentiel des sols cryptopodzoliques bruns à l'amont et des sols ocre podzoliques (parfois des podzols) à l'aval. Les murs d'auge qui dominent les paysages portent des sols de type ranker qui présentent certes des différences intéressantes suivant l'exposition (structure, teneur en matière organique), mais qui restent très semblables pour le pH (5,0), le rapport C/N (15) et le taux de saturation (50 %).

On ne peut donc conclure que l'exposition n'a pas d'influence, ce qui serait faux. Mais on doit remarquer qu'elle en a moins que la végétation pourrait le laisser penser. On retrouve là un phénomène déjà signalé dans la vallée de Chamonix, la séquence n°1 se reproduisant, identique à elle-même, sur les deux versants. Les raisons de la relative homogénéité des sols de l'endroit (adret-soulane) et de l'envers (ubac-ambrée), telle qu'elle nous apparaît à la suite de ces quelques prospections de reconnaissance, tient peut-être aux raisons suivantes :

1 - en hiver, les rayons solaires sont réfléchis par la neige qui fait écran et constitue de plus un tampon thermique ; aussi l'exposition a peu d'importance.

2 - en été, les facteurs qui sont responsables du micro-climat du sol, en particulier de sa température, sont nombreux et l'action de la seule exposition n'est qu'un élément parmi tant d'autres. Dans ces conditions, le résultat peut être tout à fait différent suivant les situations.

On a par exemple mesuré, à tel endroit des Etats-Unis, sur des pentes de 20 %, une variation de la température annuelle du sol, entre versant Sud et versant Nord, de 0,3 à 2,8 degrés seulement. Dans le même temps, un gradient thermique de 1,5° pour 150 m de dénivellation a été mis en évidence (G.D. SMITH et Al. - 1964 ; R.E. DOLE et M.A. FOSBERG - 1974). Ces chiffres sont du même ordre de grandeur. Ainsi, l'action spécifique de l'exposition pourrait se traduire dans un tel cas par un décalage altitudinal de la séquence pédologique. Cette modification (liée d'ailleurs à celle des étages de végétation) peut passer inaperçue par suite du caractère progressif des limites de sol.

3 - Pour des raisons évidentes, les variations climatiques liées à l'exposition intéressent plus les régions d'altitude que les vallées. Aussi, seuls les sols des crêtes seraient affectés de façon sensible. C'est d'ailleurs ce qui a été constaté dans le Massif Central (J.P. LEGROS - 1975) et le Massif des Albères (J.C. FAVROT et Al. - 1969).

4 - Les sols de montagne, riches en matière organique, ont une densité très faible (0,2 pour certaines tourbes holorganiques). Dans ces conditions, la capacité calorifique (en cal x cm⁻³ x d-1- des roches et blocs affleurant est intermédiaire entre celle de sols saturés (60 ou 70 % d'eau), communs au Nord, et de sols secs (60 ou 70 % d'air), généralement rencontrés au Sud. Dans ces conditions, l'échauffement et le refroidissement différentiel des sols et des rochers qui les entourent n'ont pas les mêmes caractéristiques à l'adret et à l'ubac (G.R. MEHUYS - 1975). On peut même imaginer des phénomènes de régulation ou de compensation.

En revanche, il faut remarquer que dans certaines situations, une différence minime d'ensoleillement ou température pourra se révéler importante, faire basculer complètement le sens de la pédogenèse et modifier la nature des équilibres biologiques et physico-chimiques qui entrent en jeu. Il est donc clair qu'on ne pourra pas apporter à ce problème du rôle de l'exposition une réponse de portée générale.

- L'influence de l'arénisation du substrat

L'expérience montre que c'est là un facteur fondamental de la répartition des sols en montagnes :

. sur dalle, le milieu est stable et protégé des remaniements. La fourniture d'éléments minéraux est faible et le mélange mécanique, fraction minérale - fraction organique, est des plus limitée. Aussi, le sol - s'il existe - est presque nécessairement peu épais, très humifère, du type A/R. Exposées au soleil, les parties non recouvertes du rocher s'échauffent souvent d'une manière très importante, ce qui crée une amplitude thermique journalière considérable et favorise l'humification. Enfin, la dalle s'oppose à la pénétration de l'eau, si bien qu'en fonction de sa position générale et de son inclinaison, on peut obtenir des micro-climats très variés. Dans ces conditions, le tableau ci-après n'est qu'un exemple présentant les cas les plus typiques :

Intensité de l'alimentation en eau		PROCESSUS DOMINANT		
		Accumulation de Matière Organique non transformée	Humification (climat ou micro-climat contrasté)	Minéralisation (espèce dite améliorante)
normale (pluie)		Ranker à mor (étage subalpin, Ericacées)	Sol lithique à moder (étage alpin)	Sol brun - ranker à mull (étage subalpin sous Aune)
		Sphaigne (étage subalpin, mur d'auge, Nord)	Sol cryptopodzolique humifère (subalpin, mur d'auge, Sud)	A ₀ et A ₂ lavés reposant directement sur rocher Aune, Ericacées, dalle en pente)

. sur éboulis, Les conditions sont presque inverses. Le drainage vertical est assuré d'une manière à peu près homogène partout. La relative instabilité favorise une incorporation de la fraction organique à la fraction minérale. Dans le même temps, le développement de sols à horizons très différenciés est plus ou moins entravé. La tendance générale, bas de pente stables et humides exceptés, est à la formation de profils du type A, (B), C.

IV - LA LIAISON SOL-VEGETATION

Le rôle de la végétation sur la pédogenèse et sur le développement de chacun des horizons du profil a été mis en évidence et discuté par de très nombreux auteurs. Il est inutile d'y revenir ici. En revanche, on peut se demander dans quelle mesure cette action est suffisamment systématique et constante dans ses manifestations pour que la cartographie de la végétation ou, d'une manière plus générale, la cartographie écologique, puisse aider à la cartographie des sols de montagne.

Les séquences que nous avons présentées constituent déjà une première réponse : le couple climat-végétation rend compte très nettement de la répartition des sols à l'échelle des Massifs (schéma n°1).

La morphologie, associée à certaines espèces végétales indicatrices de milieux stationnels particuliers (acidité, humidité) permet de suspecter avec une probabilité raisonnable la présence de divers types pédologiques (schéma n°2).

Il est donc évident que la cartographie des sols de montagne pourra être conduite sans trop de difficultés et assez rapidement par des spécialistes ayant une bonne connaissance globale du milieu, problèmes géologiques inclus.

Naturellement, dans le détail, les facteurs qui agissent sur la différenciation des sols sont trop nombreux pour qu'un seul, la végétation en particulier, puisse rendre compte complètement de la nature et de la distribution des unités pédologiques. Pratiquement, les principales raisons qui limitent la validité des corrélations sol-végétation sont, à notre avis, les suivantes :

1 - Action du drainage oblique

Nous avons mis en évidence la présence de podzols à la partie basse des éboulis par suite de la résurgence des eaux à cet endroit. L'agressivité de la solution du sol et la charge en métaux complexés sont donc en relation avec la végétation observée à l'amont et non pas avec celle qui surmonte directement le profil. Ainsi, de très beaux podzols, liés à des zones particulièrement humides, peuvent s'observer sous Aune vert dont le rôle améliorant a été déterminé dans le cas général (L. RICHARD - 1969).

2 - La dynamique de la végétation

Un changement de végétation ne se répercute pas immédiatement dans la morphologie des profils et un décalage peut apparaître dans deux cas principalement :

- . lorsque les pasteurs font régresser la lande ou la forêt au profit de la pelouse pâturée ;
- . lorsqu'un milieu est récemment colonisé. Ainsi les bois de Pins à crochets du Parc National des Ecrins qui montent à l'assaut des éboulis à proximité du Refuge du Plan du Carrelet produisent un humus de type mor très agressif mais ne recouvrent souvent que des sols jeunes, non fortement évolués.

3 - La contribution spécifique des différentes espèces à la formation des litières

Les prospections de terrain montrent que lorsqu'une espèce améliorante est associée à une autre qui ne l'est pas, c'est la seconde qui va jouer le rôle principal. Deux exemples peuvent être fournis :

- . les Mélèzes ont une réputation favorable et sont souvent associés à des sols bruns (Ph. DUCHAUFOR - 1972). En fait, cette essence ne donne que des boisements clairsemés et tout dépend du tapis végétal qu'elle surmonte. Avec Graminées, on a effectivement des sols non dégradés (Alpes du Sud), avec Rhododendrons, on a des podzols (Alpes du Nord) ;
- . les Aunes verts du Col des Montets comprennent localement en mélange quelques rares Epicéas de petite taille. Au pied même des Aunes et à plusieurs mètres du premier résineux, la litière ne contient plus que des aiguilles (en juillet) et un stade cryptopodzolique brun affirmé est atteint.

4 - Certaines espèces très tolérantes ont une signification variable suivant les régions.

Ainsi, la Callune est associée en climat atlantique et dans les Vosges à des landes humides et joue un rôle essentiel dans la podzolisation (R. GUILLET - 1972). Dans l'Est cristallin du Massif Central, elle est au contraire rejetée sur les pentes sèches où ne se développent que des rankers ou des sols cryptopodzoliques humifères. Dans ces régions, c'est une autre Ericacée, la Myrtille, qui prend le relai en tant qu'indicateur de forte podzolisation. Dans les Alpes, ce sera surtout le Rhododendron.

Ces restrictions étant faites, il n'en demeure pas moins vrai que la végétation est de tous les facteurs de la pédogenèse celui qui donne le plus d'indications sur la répartition des sols, à la fois parce qu'elle résume bien les conditions écologiques globales et parce qu'elle agit directement sur le profil. Ce dernier point est particulièrement net sur roches acides pour lesquelles les réserves minérales sont trop faibles pour modifier ou bloquer l'orientation sur la genèse du sol dictée par la litière (J.C. VEDY - 1973).

CONCLUSION

En montagne, la variété des climats et des micro-climats est considérable, toutes sortes de groupements végétaux sont représentés et les conditions topographiques et morphologiques sont les plus diverses. Il est donc normal que les types de sols soient nombreux. Il est normal aussi que certains phénomènes pédologiques soient localement exacerbés (podzolisation - accumulation de tourbe). Ainsi, les Alpes et les Pyrénées cristallines ne sont pas uniformément couvertes, comme on aurait pu le croire, de sols érodés et peu évolués. Au contraire, s'il faut tirer une conclusion très globale, on peut admettre que dans leur majorité, les sols sont assez fortement podzolisés.

Dans le détail, les influences du climat et de la végétation ont été confirmées. Le rôle de l'exposition, sans être nié, est jugé plus faible qu'on aurait pu le penser d'abord, au moins en ce qui concerne les vallées de l'étage subalpin. En revanche, le rôle de la géomorphologie apparaît comme fondamental : la position topo-

graphique contribue à expliquer la répartition des sols et doit être définie dans chaque cas avec précision ; le degré d'arénisation du substrat qui conditionne stabilité, drainage, micro-climat est aussi très important à considérer.

Naturellement, un certain nombre de difficultés demeurent. D'abord tous les facteurs de la différenciation et de la répartition des sols n'ont pas été abordés dans ce travail. L'étage alpin, faute de données, a été particulièrement négligé. Il en est de même du facteur temps.

Ensuite, il apparaît que la synthèse est bien difficile dans la mesure où la variation d'un facteur donné, sans importance dans tel secteur, sera ailleurs fondamentale parce qu'on se trouve à la frange d'un domaine pédogénétique et que la moindre variation de l'une des composantes du milieu provoquera un basculement total du sens d'évolution.

En définitive, il faudra à l'avenir poursuivre ces travaux en envisageant, non plus les facteurs du milieu pris séparément, mais les facteurs de pédogenèse considérés globalement. A ce niveau, nous pensons que l'ordinateur et l'analyse statistique des données pourront être mis à contribution.

Nous remercions ici :

- Les autorités du Parc National des Pyrénées, du Parc National des Ecrins, de la Réserve Naturelle des Aiguilles Rouges pour les autorisations de prélèvements accordées.
- Monsieur E. SERVAT, Professeur de Pédologie à l'ENSAM, et Monsieur M. ROBERT, Maître de Recherches INRA, qui ont bien voulu relire ce manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- BELLIÈRE (J.) 1976.- Communication personnelle d'analyses effectuées au Laboratoire de Géologie-Géochimie de l'Université de Liège.
- BOTTNER (P.) 1971.- *La pédogenèse sur roches mères calcaires dans une séquence bioclimatique méditerranéo-alpine du sud de la France.*- Thèse C.N.R.S. n°A O 4083, Montpellier.
- BOUMA (J.), HOEKS (J.), VAN DER PLAS (L.) et VAN SCHERRENBURG (B.) 1969.- Genesis and morphology of some Alpine Podzol Profiles.- *The Journ. of Soil Science*, 20, sept. n°2.
- BOUMA (J.) et VAN DER PLAS (L.) 1971.- Genesis and morphology of some Alpine pseudogley profiles.- *The Journ. of Soil Science*, 22, march n°1.
- CABIDOUCHE (Y.M.) 1975.- *Etude préliminaire des relations sol-milieu dans les montagnes et hautes montagnes cristallines du Parc National des Pyrénées.*- Rapport E.N.S.A.M.
- CABIDOUCHE (Y.M.) 1976.- *Relation entre la Matière organique des sols et le milieu de haute montagne dans le Parc National des Pyrénées.*- D.E.A., Univ. de Montpellier.
- C.P.C.S. 1967.- *Classification des sols de la commission de Pédologie et de Cartographie des sols.*- Géologie-Pédologie. E.N.S.A. de Grignon.
- DEBON (F.) 1972.- *Massifs granitiques de Cauterets et Panticosa.*- Notice B.R.G.M., Orléans.
- DUCHAUFOR (Ph.) 1970.- *Précis de Pédologie.*- Masson et Cie, Paris.
- DUCHAUFOR (Ph.) 1972.- *Processus de formation des sols.*- Collection Etudes et Recherches, C.R.D.P., Nancy.
- FAVROT (J.C.), SERVAT (J.) et SERVAT (E.) 1969.- Les sols du Massif des Albères.- *Revue Forestière Française*, XXI - 7.
- GUILLET (B.) 1972.- *Relation entre l'histoire de la végétation et la podzolisation dans les Vosges.*- Thèse, Univ. de Nancy.
- GURY (M.) 1977.- *Carte Pédologique de la France 1/100 000. Feuille de Saint-Dié.*- SESCOFF, C.N.R.A., Versailles.
- HANAWALT (R.B.) et WHITTAKER, 1976.- *Altitudinally Coordinated Patterns of Soils and Vegetation in the San Jacinto Mountains - California.*- *Soil Science*, vol.121, n°2.
- KUBIENA (W.L.) 1953.- *The Soils of Europe.*- Thomas Murby and Company, London.
- LABROUE (L.) 1976.- *Etude écologique des sols alpins du Pic du Midi de Bigorre.*- Thèse n°717, Toulouse.
- LE FORT (P.) 1973.- *Géologie du Haut-Dauphiné cristallin.*- *Mémoire*

- Sciences de la Terre n°25, Ann. Ecole Nat. Sup. Géologie Nancy.
- LEGROS (J.P.) 1975.- Occurrence des podzols dans l'est du Massif Central.- *Science du Sol* n°1.
- Mc DOLE (R.E.) et FOSBERG (M.A.) 1974.- Soil Temperatures in selected southeastern Idaho Soils.- *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, vol. 38, n°3.
- MEHUYS (G.R.), STOLZY (L.H.) et LETEY (J.) 1975.- Temperature distributions under stones submitted to a diurnal heat wave.- *Soil Science*, vol. 120, n°6.
- MONTCOUYOUX (A.) 1976.- *Recherches microbiologiques sur quelques sols d'altitude. Application de la méthode des lames enfouies.*- Thèse 3ème Cycle, Univ. Scient. et Méd. de Grenoble.
- PALLMANN (H.) 1947.- *Pédologie et phytosociologie.*- Conférence de pédologie méditerranéenne, Association Française pour l'Etude du Sol.
- PANET (M.) 1969.- Quelques problèmes de mécanique des roches posés par le tunnel du Mont-Blanc.- *Bull. de liaison des laboratoires routiers, Ponts et Chaussées*, n° 42.
- RETZER (J.L.) 1965.- Present Soil Forming Factors and Processes in Arctic and Alpine Regions.- *Soil Science* n°1, vol. 99.
- RICHARD (L.) 1967 à 1969.- L'Aune vert.- *Doc. Cartogr. Ecol.*, vol. V, VI et VII.
- ROMANS (J.C. C.), STEVENS (J.H.) et ROBERTSON (L.) 1966.- Alpine Soils of North East Scotland.- *The Journal of Soil Science*, vol. 17, n°2.
- SINGER (M.) and UGOLINI (F.C.) 1974.- Genetic history of two well drained subalpine soils formed on complex parent materials.- *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 54, n°4.
- SMITH (G.D.), NEWHALL (F.), ROBINSON (L.H.) et SWANSON (D.) 1964.- Soil temperature regimes. Their characteristics and predictability.- U.S. Dep. Agr. Soil Conservation Service, TP 144.
- SNEDDON (J.L.), LAVKULICH (L.M.) et FARSTAD (L.) 1972.- The Morphology and Genesis of some Alpine Soils in British Columbia. Canada.- *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, vol. 36, n° 1.
- SOUCHIER (B.) 1971.- *Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard (Vosges).*- Thèse, Univ. de Nancy.
- VALENTI, A. et SANESI (G.) 1967.- Quelques aspects des sols bruns acides et des sols bruns podzoliques des formations gréseuses de la Toscane (Italie).- *Bull. Soc. Belge de Pédologie*, n° 1.
- VEDY (J.C.) 1973.- *Relation entre le cycle biogéochimique des cations et l'humification en milieu acide.*- Thèse C.N.R.S., n° A O 8392, Nancy I.
-