

N. d'enregistrement
au C.N.R.S.
A.O. 4083

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
STATION D'AGRONOMIE
BIBLIOTHÈQUE

Domaine Saint-Paul
84 - MONTFAVET

TH
IA
KA 11

THÈSE

présentée à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

pour obtenir

le grade de Docteur ès Sciences Naturelles

par

Pierre BOTTNER

LA PÉDOGÉNÈSE SUR ROCHES-MÈRES CALCAIRES DANS UNE SÉQUENCE BIOCLIMATIQUE MÉDITERRANÉO-ALPINE DU SUD DE LA FRANCE

Soutenue publiquement le 21 Avril 1971, devant la Commission d'Examen

JURY

C. SAUVAGE	Président
J. AVIAS	} Assesseurs
P. LOSSAINT	
G. AUBERT	} Membres invités
F. JACQUIN	

27 SEP. 1971

Liste des Professeurs de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc

Président : P. DUMONTET

Vice-Présidents : J. ROUZAUD - G. SAUMADE

Doyens honoraires : P. MATHIAS - B. CHARLES - A. CASADEVALL

Professeurs honoraires :

R. JACQUES	G. DENIZOT
M. CASTERAS	J. GRANIER
E. CARRIERE	Ch. BOUHET
E. TURRIERE	J. MOTTE
C. CAUQUIL	

Secrétaire Général : E. SIAU

Professeurs titulaires :

M. M. MOUSSERON	Chimie organique
M. J.P. ROIG	Physique
M. P. CHATELAIN	Minéralogie et cristallogr.
Mlle O. TUZET	Zoologie
M. G. COUCHET	Mécanique supérieure
M. J. SALVINIEN	Chimie physique
Mlle A.M. VERGNOUX	Physique
M. J. AVIAS	Géologie
M. P. VIELES	Chimie
M. E. KAHANE	Chimie biologique
M. J.J. MOREAU	Mécanique rationnelle
M. B. CHARLES	Mathématiques pures
M. R. JOUTY	Physique
M. P. DUMONTET	Physique
M. R. LEGENDRE	Zoologie
M. I. ASSENMACHER	Physiologie animale
M. B. PISTOULET	Physique
M. Ch. ROUMIEU	Analyse supérieure
M. J. ROBIN	Physique
M. A. POTIER	Labo. des Acides minéraux
M. R. LAFONT	Physique
M. R. JACQUIER	Chimie
M. J. FALGUEIRETTES	Minéralogie

M.	J. REGNIER	Chimie
Mme	J. CHARLES	Mathématiques
M.	P. CAILLON	Physique
M.	J. ROUZAUD	Chimie
M.	Ch. SAUVAGE	Botanique
M.	H. CHRISTOL	Chimie (E.N.S.I.)
Mme	G. VERNET	Biologie animale
M.	L. CECCHI	Physique
M.	H. ANDRILLAT	Astronomie
M.	M. SAVELLI	Physique
M.	M. MATTAUER	Géologie
M.	L. EUZET	Zoologie
M.	C. DELOUPY	Physique
M.	L. GRAMBAST	Botanique
M.	A. BONNET	Botanique
M.	G. LAMATY	Chimie
M.	R. MARTY	Psychophysiologie
Mme	S. ROBIN	Physique

Professeurs sans chaire :

M.	G. TOURNE	Chimie
M.	J. REMY	Géologie
M.	P. DEMANGEON	Géologie
M.	E. GROUBERT	Physique
Mme	H. GUASTALLA	Biologie physico-chimique
M.	R. LENEL	B.A.
M.	F. PROUST	Géologie
M.	A. BASSOMPIERRE	Physique
M.	M. MAURIN	Chimie
M.	N. ROBY	Mathématiques
Mme	N. PARIS	Physiologie végétale
M.	G. BOUGNOT	Physique
M.	J. PARIS	Zoologie
M.	R. GAUFRES	Chimie
M.	M. ROUZEYRE	Physique
M.	P. SABATIER	Mathématiques
M.	C. PUISSEGUR	Biologie animale (C.S.U. P.)

Professeurs associés :

M.	E. AKUTOWICZ	Mathématiques
M.	A. MICALI	Mathématiques
M.	C. VAGO	Biologie animale
M.	K. KOHLER	Biochimie
M.	J. ZARZYCKI	Sciences des matériaux (Physique des solides)

Maîtres de conférences :

M.	P. MOLINO	Mathématiques
M.	L. THALER	Géologie
M.	J.M. MORETTI	Chimie
M.	J. LEGRAND	Physiologie animale
M.	G. LOUPIAS	Mathématiques
M.	Ch. CASTAING	Mathématiques
M.	J.D. BAYLE	Physiologie animale
Mme	M. HAKIM	Mathématiques
M.	R. HAKIM	Mathématiques
M.	G. MASCHERPA	Chimie
M.	R. JONARD	Botanique
M.	F. LAPSCHER	Mathématiques
M.	C. GOUT	Physique
M.	B. BRUN	Chimie physique
M.	M. DENIZOT	Biologie végétale
M.	L. KAISER	Physique (C.S.U. P.)
M.	L. GIRAL	Chimie
M.	A. COMMEYRAS	Chimie organique
M.	Y. PIETRASANTA	Chimie appliquée (I.N.S.I.)
M.	P. GENESTE	Chimie physique appl. (E.N.S.I.)
M.	M. AMANLEU	Sciences et Techniques de l'Eau (Hydrobiologie et mariculture)
M.	J. CROUZET	Sciences et Techniques de l'Alimentation
M.	R. MARTY	Mathématiques (C.S.U. P.)
M.	Ch. DURANTE	Génie électr. automatique
M.	C. DROGUE	Sciences et Techniques de l'Eau (Géochimie appl. à l'hydrogéol.)

- M. J.C. CHEFTEL Sciences et Techniques de l'Alimentation (Biochimie appl. à l'Alimentation)
- M. P. LOUIS Géophysique appliquée
- M. H. MATHIEU Génie électrique - Electronique (mesures)

Maîtres de conférences associés :

- M. Y. CORMARY Géologie
- M. C. MAURIN Biologie animale

Chargés d'enseignement :

- M. M. LEFRANC Mathématiques
- M. M. VALADIER Mathématiques
- M. B. LEMAIRE Mathématiques appliquées (Informatique)
- M. B. FILLIATRE Informatique

INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE

Professeur titulaire :

- M. R. CORRIU Chimie

Maîtres de conférences :

- M. CANO Physique
- M. FILLARD Physique
- M. GARCIA Métallurgie - Génie mécanique
- M. J.P. TRILLES Biologie
- M. G. BORDURE Physique
- M. L. LASSABATERE Electricité - Electronique
- M. G. LECOY Génie électrique
- Mlle M. LEVY Chimie
- M. J. LAGARRIGUE Biologie appliquée

Maître de conférences associé :

- M. J. JOUANNA Génie civil

Chargés d'enseignement :

M. ESCOUFIER Mathématiques
M. J.L. ROBERT Physique
M. M. AVEROUS Physique

Chargés de Cours

M. SAUMADE
M. PEROCHON
M. REY

U E R de Préparation aux Affaires

Professeur : R. MAURY

Chargé de Cours : J. GUIN

P L A N

	Pages
<u>INTRODUCTION</u>	1
PREMIERE PARTIE GENERALITES	
CHAPITRE PREMIER :	
1 - <u>DEFINITION DE LA SEQUENCE : GEOLOGIE, CLIMAT, VEGETATION</u>	5
1.1 - Géologie	5
1.2 - Le climat	7
1.3 - La végétation	10
1.4 - Choix des régions prospectées	13
1.5 - Conclusion : définition de la séquence	14
CHAPITRE II :	
2 - <u>LITHOLOGIE, GEOMORPHOLOGIE ET AGE DES SOLS</u>	
2.1 - Les roches-mères calcaires dures et pures (compactes)	17
2.3 - Les roches-mères dolomitiques	18
2.4 - Géomorphologie sur roches calcaires compactes : la karstification	18
2.41 - Les mécanismes de la karstification	18
2.42 - Karstification et conditions bioclimatiques	19
2.5 - Les roches-mères calcaires tendres	23
2.6 - Conclusion	24
CHAPITRE III :	
3 - <u>LES METHODES DE PROSPECTION ET D'ANALYSE</u>	
3.1 - Les méthodes de prospection	25
3.2 - Les méthodes d'analyse utilisées	25

DEUXIEME PARTIE

EVOLUTION DES SOLS SUR ROCHES-MERES
CALCAIRES DURES ET PURES

	Pages
CHAPITRE PREMIER :	
1 - <u>SOLS DE MONTAGNE DEVELOPPES EN L'ABSENCE OU EN PRESENCE D'UNE</u> <u>FAIBLE QUANTITE D'ARGILE DE DECARBONATATION</u>	29
1.1 - Définition des sols litho-calcaiques humifères	29
1.11 - Le sol litho-calcaique humifère à mull-moder	30
1.12 - Le sol litho-calcaique humifère à moder	30
1.13 - Le sol litho-calcaique humifère à moder calcaique ou à xéromor	31
1.2 - Evolution des sols : l'exemple du Haut Plateau du Vercors	33
1.21 - Association de sols où prédomine le sol litho-calcaique humifère à mull-moder	34
1.22 - Association de sols où prédomine le sol litho-calcaique humifère à moder	37
1.23 - Association des sols minéraux bruts	39
1.3 - Caractères chimiques de ces sols	39
1.31 - Le calcaire et les bases échangeables	39
1.32 - Les sesquioxides	42
1.33 - La matière organique	46
1.4 - Conclusion	47
CHAPITRE II :	
2 - <u>SOLS DE MONTAGNE DEVELOPPES SUR MATERIEL DE REMPLISSAGE KARSTIQUE</u>	52
2.1 - Le matériel de remplissage karstique en montagne : la roche- mère des sols.	53
2.11 - La localisation du matériel de remplissage karstique	53
2.12 - La nature du matériel de remplissage karstique	54
2.13 - L'origine du matériel de remplissage karstique	55
2.2 - Morphologie des sols	57
2.21 - Organisation morphologique des profils	58
2.22 - Evolution du profil organique	58
2.23 - Evolution progressive, spécialisée et régressive	60
2.3 - Nomenclature des sols	61
2.31 - Les sols bruns calcaiques	62
2.32 - Les sols humiques carbonatés, rendzines brunifiées et rendzines	64
2.33 - Les intergrades	65
2.34 - Conclusion	66

	Pages
2.4 - Propriétés chimiques de ces sols.	66
2.41 - Le calcaire et les bases	66
2.42 - Libération et entraînement des sesquioxydes	70
2.43 - La matière organique	74
2.5 - Synthèse concernant les sols de montagne formés en présence ou en absence d'argiles de décarbonatation dans le Vercors	78
 CHAPITRE III :	
3 - <u>UNE SEQUENCE DE SOLS DE MONTAGNE SOUMIS A DES INFLUENCES MEDITERRANEENNES : LE CAS DU MONT VENTOUX</u>	83
3.1 - Quelques caractères originaux du Mont Ventoux	83
3.11 - Originalité d'ordre lithologique	83
3.12 - Originalité d'ordre bioclimatique	83
3.13 - Originalité d'ordre historique.	85
3.14 - Les étages de végétation au sommet de la face sud du Mont Ventoux	85
3.2 - Evolution des sols dans les étages pseudoalpin, subalpin et montagnard de la face sud du Mont Ventoux	86
3.21 - L'altération du calcaire	86
3.22 - Deux séquences de sols	89
3.3 - Conclusion	91
 CHAPITRE IV :	
4 - <u>LES SOLS FERRIALLITQUES A RESERVE CALCIQUE DU MIDI DE LA FRANCE</u>	
4.1 - Rappel de quelques données concernant les conditions bioclimatiques et la végétation	93
4.2 - Rappel de quelques données d'ordre géomorphologique : la complexité des karsts du midi de la France	97
4.21 - Histoire des karsts du midi de la France	97
4.22 - Complexité morphologique des karsts du midi de la France	97
4.23 - Le matériel de remplissage karstique	100
4.24 - Conclusion	100
4.3 - Etude des sols	101
4.31 - Le profil calcaire	102
4.32 - Le profil calcique	107
4.33 - L'entraînement des argiles et du fer ; l'état du fer et la couleur des horizons	111
4.34 - Le profil organique	121
4.35 - La question de la brunification actuelle des sols ferriallitiques à réserve calcique dans le midi de la France	124
4.4. - Conclusions	129

	Pages
CHAPITRE V :	
5 - <u>ETUDE PLUS APPROFONDIE DE LA MATIERE ORGANIQUE DES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS DEVELOPPES SUR ROCHES-MERES CALCAIRES DURES ET PURES : SEPARATION DENSIMETRIQUE, EXTRACTION FRACTIONNEE DES COMPOSES HUMIQUES CONTROLEE PAR ELECTROPHORESE</u>	131
5.1 - Rappel des données exposées précédemment concernant la matière organique	131
5.11 - Caractères constants des humus bruts	131
5.12 - Originalité des mulls-moders	131
5.13 - Les mulls riches en matière organique	131
5.14 - Deux types de mulls modaux	135
5.15 - Matière organique et dégradation de la végétation	136
5.16 - Illuviation des composés humiques à poids moléculaire faible	136
5.17 - Les taux d'extraction	139
5.2 - Choix du matériel d'étude	139
5.3 - La séparation densimétrique	140
5.31 - La méthode utilisée - Expression des résultats	140
5.32 - Interprétation des résultats	141
5.4 - Extraction fractionnée des composés humiques	143
5.41 - La méthode utilisée	141
5.42 - Examen des résultats obtenus	144
5.5 - Comportement des acides humiques à l'électrophorèse	162
5.6 - Conclusion	167
CHAPITRE VI :	
6 - <u>EVOLUTION DES MINERAUX ARGILEUX DANS LES SOLS SUR ROCHES-MERES CALCAIRES DURES ET PURES</u>	173
6.1 - Evolution des minéraux argileux dans les sols de montagne	173
6.2 - Les minéraux argileux dans les sols fersiallitiques à réserve calcique	174
6.3 - Conclusion	176

TROISIEME PARTIE

EVOLUTION DES SOLS SUR LES AUTRES
TYPES DE ROCHES-MERES CALCAIRES

	Pages
CHAPITRE PREMIER :	
1 - <u>EVOLUTION DES SOLS SUR ROCHES-MERES CALCAIRES SILICEUSES : LES SOLS FERSIALLITIQUES SANS RESERVE CALCIQUE DU MIDI DE LA FRANCE</u>	178
1.1 - Mode d'altération des calcaires siliceux et morphologie des sols fersiallitiques sans réserve calcique	178
1.2 - Quelques caractères chimiques de ces sols	180
1.3 - La matière organique	182
1.31 - Morphologie du profil organique. Valeurs caractéristiques	182
1.32 - Séparation densimétrique des fractions légères et lourdes	185
1.33 - Extraction fractionnée des composés humiques	185
1.34 - Examen des acides humiques par électrophorèse	188
1.4 - Conclusion	189
CHAPITRE II :	
2 - <u>LES SOLS SUR DOLOMIE</u>	
2.1 - Altération de la roche-mère dolomitique	193
2.2 - Les sols sur sable dolomitique	195
CHAPITRE III :	
3 - <u>PEDOGENESE SUR ROCHES-MERES CALCAIRES TENDRES - EVOLUTION DES SOLS A COMPLEXE ABSORBANT DESATURE</u>	
3.1 - Altération des roches-mères calcaires tendres	197
3.2 - Evolution des sols sur roches-mères calcaires tendres, sous les conditions méditerranéennes	200
3.3 - Evolution des sols sur roches-mères calcaires tendres en montagne	203
3.31 - Sous les pelouses alpines et pseudo-alpines : les sols bruns acides	203
3.32 - Sous les forêts subalpines et montagnardes : les sols lessivés podzoliques	205
3.33 - Libération et entraînement des sesquioxydes à travers ces sols.	206
3.34 - Evolution des minéraux argileux	210
3.35 - Une comparaison : évolution des minéraux argileux dans les sols de montagne sur calcaires tendres et sur calcaires compacts.	
3.36 - La matière organique	214
3.4 - Les sols lessivés podzoliques sur roches-mères calcaires dures et purses	219
3.5 - Conclusion	222

QUATRIEME PARTIE

SYNTHESE

	Pages
<u>1 - LES PHENOMENES DE PEDOGENESE SUR ROCHES-MERES CALCAIRES</u>	228
1.1 - Les facteurs de la pédogénèse	228
1.11 - Les roches-mères calcaires	228
1.12 - L'interférence du facteur temps : le karst et les paléosols.	229
1.13 - Les conditions bioclimatiques actuelles	231
1.2 - Rappel des principaux types de sols rencontrés	232
1.3 - La dissolution des carbonates et la dynamique des bases à travers le profil	234
1.31 - Sur roches-mères calcaires compactes	234
1.32 - Sur calcaires siliceux	237
1.33 - Sur dolomies	237
1.34 - Sur calcaires tendres	237
1.4 - Evolution des produits résiduels de dissolution et des apports allochtones	238
1.41 - Evolution des minéraux argileux	238
1.42 - La libération d'aluminium	240
1.43 - Evolution des composés du fer	242
1.5 - Le lessivage	244
1.6 - La matière organique	245
1.61 - Les humus bruts	246
1.62 - Les mulls-moders	247
1.63 - Les mulls sous humus bruts et sous litière acide	247
1.64 - La matière organique des sols lessivés podzoliques et des sols bruns acides	248
1.65 - La matière organique des sols soumis aux influences méditerranéennes	249
1.66 - La matière organique et la dégradation de la végétation	250
1.7 - Conclusion	250
<u>CONCLUSIONS GENERALES</u>	252
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	258
<u>REMERCIEMENTS</u>	

E R R A T A

p. 7 ; 1. 24	PORTECOP
p. 27 ; 1.4	CARMOGRAPH & WOSTHOFF
p. 119; 1.3	renseignements
p. 130; 1.2	paléopédogénèse
p. 175; 1.2	1) SOLS LITHOCALCIQUES HUMIFERES A MULL-MODER
p. 184; 1.4	tendance
p. 203; 1.7	PSEUDOALPINES
p. 205; 1.18	FAIBLEMENT
p. 210; 1.36	gonflant

INTRODUCTION

Nos connaissances concernant la pédogénèse sur roches carbonatées sont encore relativement restreintes. Davantage de travaux ont été consacrés aux sols sur terrains siliceux. Deux raisons expliquent ce fait : les sols sur calcaires ou dolomies sont généralement peu évolués ; les processus pédogénétiques y sont lents, donc difficiles à mettre en évidence. Par ailleurs, certains types de roches carbonatées, que nous appellerons ultérieurement calcaires compacts, ont permis la conservation de sols anciens, qui compliquent l'étude des phénomènes actuels.

Or, dans le sud de la France, l'étude des sols sur de telles roches-mères présente un certain intérêt. En effet, elles y couvrent des surfaces très importantes. Elles se trouvent sous des formes lithologiques très diverses : nous distinguerons plus loin des calcaires compacts, des calcaires siliceux, des dolomies et des calcaires tendres.

Par ailleurs, dans cette région, ces roches sont sous des conditions bioclimatiques actuelles très variées. On passe du climat méditerranéen dans le midi de la France, au climat alpin à influences atlantiques dans les Préalpes. Du niveau de la Mer Méditerranée aux plus hauts sommets des Préalpes du sud, les phytogéographes ont défini la succession suivante d'étages bioclimatiques : étages méditerranéen, collinéen, montagnard subalpin et alpin. C'est cette succession d'étages de végétation qui est appelée dans ce travail "Séquence bioclimatique méditerranéo-alpine". Nous la définirons d'une façon plus précise au chapitre premier.

Ce travail ne concerne donc qu'une seule famille de roches-mères : les roches carbonatées. C'est le facteur supposé invariable à travers toute la séquence. En fait, il est difficile de considérer, dans les conditions naturelles, un facteur comme rigoureusement constant et, dès le début de nos recherches, nous avons été amenés à subdiviser les roches-mères calcaires en quatre types lithologiques énumérés ci-dessus. Le climat et la végétation, par contre, sont considérés comme variables : ils sont définis par les différents étages bioclimatiques cités précédemment. Le but de ce travail est alors d'examiner, à travers cette séquence méditerranéo-alpine, quatre phénomènes fondamentaux de pédogénèse sur roches-mères carbonatées : 1) la dissolution des carbonates et la dynamique des bases à travers le profil, 2) l'altération des produits résiduels de dissolution ou des apports allochtones, 3) l'entraînement des argiles, des composés du fer et de l'aluminium libre, 4) et enfin la dynamique de la matière organique.

En entreprenant ce travail, notre désir était aussi d'établir un lien entre les recherches poursuivies par les pédologues des pays circum-méditerranéens, en particulier ceux d'Espagne, d'Italie, de Yougoslavie, de Grèce, du Liban, d'Israël et d'Afrique du Nord (O.R.S.T.O.M.), et celles des chercheurs des régions septentrionales : de la France atlantique, continentale et d'Allemagne.

Les données bibliographiques, utilisées dans l'élaboration de ce travail sont de trois ordres. Elles concernent les sols sous climats méditerranéens, ceux sous climats tempérés et les sols de montagne.

- Dans les régions circum-méditerranéennes, de nombreux travaux sont consacrés aux sols sur calcaires et en particulier aux sols fersiallitiques. Après le congrès sur les sols méditerranéens de Madrid BOTTNER et LOSSAINT (1967) ont tenté de faire une synthèse de l'ensemble de ces données. Une liste bibliographique des auteurs les plus importants est citée dans ce travail. Depuis le congrès de Madrid, d'autres recherches ont fait avancer efficacement nos connaissances. Il convient en particulier de citer les travaux de LAMOUREUX (1965, 66, 67, 68), de PAQUET (1969) et de RUELLAN (1970). La pédogénèse est étudiée essentiellement sous l'aspect de la dynamique des carbonates, de la minéralogie des argiles et des composés du fer. Très peu de travaux sont consacrés à la matière organique.

- Les recherches concernant les sols sur roches-mères calcaires sous climats tempérés sont moins nombreuses. Les données fondamentales sont dues à KUBIENA (1943, 1953). Des travaux plus récents concernent la dynamique, la vitesse d'évolution et l'âge des sols sur calcaires. Mentionnons à ce sujet les publications de DUCHAUFOR (1950), SCHEFFER et al. (1960, 1962), WERNER (1964), FRIESNITZ (1966), BLUM (1968), DUTIL (1968). D'autres recherches sont consacrées à l'altération du résidu de dissolution : KALK et MEYER (1960), MEYER et al. (1962), FOLSTER et al. (1963) SCHEFFER et al. (1966), GEBHARDT et al. (1966, 1969), BLUM et MAUS (1967). Les travaux de KLINGE et al. (1962) et de BLUM (1968) concernent aussi la matière organique des sols sur calcaires.

- Ce sont les élèves de PALLMANN qui ont les premiers étudié les sols de montagne sur calcaires dans les Alpes et le Jura: FREI (1944), BACH (1950), BACH et al. (1954), LEUENBERGER (1950), RICHARD (1961), FREI et al. (1966). Le souci de ces chercheurs, pédologues et phytosociologues, était de mettre en évidence les relations sol-végétation qui, sur calcaires en altitude, sont très étroites. Dans le domaine de la pédogénèse, leurs travaux furent approfondis par WERNER (1958) et ZOTTL (1965 a, b, 1966) en Allemagne, et en France par DUCHAUFOR et BARTOLI (1966), par GILOT (1967), et enfin GILOT et DOMMERGUES (1967). Très peu de travaux ont été réalisés dans les Pyrénées (MONTURIOL et GUERRA, 1966). Il faut, pour terminer citer les recherches poursuivies dans les montagnes méditerranéennes, par GRACANIN (1956), DESAUMETTES (1966), LAMOUREUX (1966), LAMOUREUX et AUBERT (1966) et WEINMANN (1966).

Notre intention, dans cette introduction était simplement d'établir une liste des auteurs dont les résultats ont été le point de départ de ce travail. Leurs publications seront davantage commentées à travers les différents chapitres.

Ceux-ci sont regroupés en quatre parties. Dans la première sont exposées les généralités concernant la séquence bioclimatique, les roches-mères calcaires et les méthodes d'analyses. La deuxième, la plus importante, est consacrée à l'évolution des sols sur roches-mères calcaires dures et pures. Dans la troisième partie, est examinée l'évolution des sols sur les autres types de roches-mères calcaires. Enfin, les résultats essentiels obtenus sont synthétisés dans une quatrième partie.

PREMIERE PARTIE

GENERALITES

1. DEFINITION DE LA SEQUENCE : GEOLOGIE, CLIMAT, VEGETATION
2. LITHOLOGIE, GEOMORPHOLOGIE ET AGE DES SOLS
3. LES METHODES DE PROSPECTION ET D'ANALYSE

CHAPITRE I

1 - DEFINITION DE LA SEQUENCE : GEOLOGIE, CLIMAT, VEGETATION

Dans l'étude des sols, sur roches-mères calcaires, sous les conditions méditerranéennes du midi de la France et de ses zones de transition, l'examen de la carte géologique (carte 1) permet de localiser la prospection dans trois ensembles de régions.

- Le premier couvre les Garrigues languedociennes, la Montagne de la Séranne et les Grands Causses.
- Le deuxième correspond également aux Garrigues languedociennes, puis à la Montagne de Berg, aux abords du Vivarais.
- Enfin, le troisième est établi à travers les Préalpes du Sud.

Toutes ces régions ont été soumises à une reconnaissance rapide. Mais pour des raisons uniquement matérielles, certaines ont été étudiées, d'une manière plus approfondie, que d'autres. Ce sont les Préalpes du sud et les Garrigues languedociennes, qui ont fait l'objet essentiel de ce travail. Les premières ont été choisies, parce qu'elles présentent la succession de conditions bioclimatiques la plus complète. Celle-ci sera décrite dans le présent chapitre. Les secondes ont été prospectées, parce que ce travail a été réalisé, en collaboration avec d'autres programmes de recherche, localisés autour de Montpellier (LOSSAINT 1967). La séquence qui est étudiée dans ce travail couvre ces deux régions. Elle est donc constituée de deux parties : l'une méridionale située à l'ouest du couloir rhodanien ; l'autre plus septentrionale, à l'est de ce couloir. Cette coupure de la séquence a été faite pour les raisons énoncées ci-dessus et parce que le tronçon languedocien n'a pas pu être prolongé vers le nord, dont l'arrière-pays est siliceux ou dont la succession des étages de végétation est incomplète. Il s'agit donc ici, d'une séquence que nous appellerons méditerranéo-alpine et l'objet de ce premier chapitre est de la définir, sur les plans géologique, climatologique et phytogéographique.

1.1 - GEOLOGIE

D'une manière très schématique, à partir de la carte 1 et des données de GIGNOUX (1960), quatre régions géologiques sont distinguées, à travers les Préalpes du sud et les Garrigues languedociennes.

- Au nord, dans le Vercors et les Monts du Matin, l'essentiel du calcaire correspond au faciès urgonien du Crétacé inférieur. Il est constitué d'épaisses assises de calcaires compacts zoogènes. Elles alternent rarement avec des calcaires plus tendres de la Fosse vocontienne.

- Plus au sud, dans le Diois et les Baronnies, ce même Crétacé inférieur et le Jurassique supérieur contrastent avec les calcaires précédents, parce que les faciès marneux prédominent. Ceux-ci déterminent des formes plus émoussées. Ils correspondent à la sédimentation profonde de la Fosse vocontienne.

- Encore plus au sud, sur la bordure méridionale de la Fosse, les calcaires du Crétacé inférieur sont de nouveau à faciès urgonien. Ils forment les escarpements de la Haute Provence : Mont Ventoux, Montagne de Lure, Monts du Vaucluse, Luberon et Alpilles.

- En Languedoc, les Garrigues nîmoises sont encore crétacées. Les Garrigues montpelliéraines, par contre, sont jurassiques. Le calcaire dur est du Kimméridgien-Portlandien et le faciès est titonique. Dans ces régions, les calcaires tendres aux formes plus arrondies sont généralement tertiaires.

Dans ce travail, la stratigraphie et la tectonique des régions prospectées, ne seront pas examinées davantage. Par contre, un chapitre sera consacré à la lithologie des roches-mères calcaires (chapitre II).

1.2 - LE CLIMAT

Les renseignements d'ordre climatologique sont dus à BENEVENT (1926), EMBERGER (1943, 1955), BLANCHARD (1956), BRISSE (1966), OZENDA (1966) et PRÔTECOP (1967). La carte des précipitations de GAUSSEN, au 1/500 000, pour le quart sud-est de la France, est reproduite et simplifiée sur la carte 2.

Quatre influences climatiques concourent dans les Préalpes du sud et le Languedoc. :

- Une influence méditerranéenne. Son importance est décroissante du sud au nord. Selon les géographes, sa limite d'action correspond à "la ligne des cols" qui sépare les Préalpes du nord de celles du sud. Celle-ci est matérialisée sur la carte 2. C'est là aussi, que s'arrête la séquence étudiée ici. Le climat méditerranéen se manifeste, du nord au sud, par les moyennes des températures, de plus en plus élevées, par des précipitations, de moins en moins abondantes et enfin, par des contrastes pluviométriques saisonniers, de plus en plus accentués. La variation, à travers la séquence, de la quantité et de la répartition des pluies, est illustrée, sur la carte 2, à partir des diagrammes pluviométriques de quelques stations.

- Une influence atlantique. Son importance est décroissante, d'ouest en est. Cette influence est plus manifeste au nord-ouest qu'au sud-ouest, où les conditions méditerranéennes réduisent son effet. Elle a été mise en évidence, par l'utilisation des "coefficients d'océanité hygriques" de GAMS*) (1922, in OZENDA 1966 p. 17). Elle se manifeste, à altitude égale et d'ouest à l'est, par des précipitations, de moins en moins abondantes et par des températures saisonnières, de plus en plus contrastées. La distribution des pluies, pendant l'année est également plus régulière à l'ouest qu'à l'est.

- Une influence continentale. Son importance s'atténue d'est en ouest. Comme pour les conditions atlantiques, son effet décroît du nord au sud, masqué par le climat méditerranéen. Elle a également été mise en évidence, par les indices de GAMS). L'influence continentale se manifeste, à altitude identique, par des précipitations plus faibles et par la variation des températures saisonnières plus importante, à l'est qu'à l'ouest. Il convient cependant, d'ajouter, que les précipitations, plus abondantes à l'ouest qu'à l'est, sont également explicables par un simple effet du relief. Les vents, venus de l'Atlantique, se déchargent de leur humidité, au contact des premiers escarpements des massifs occidentaux. Ceux, situés à l'est, sont de ce fait moins arrosés.

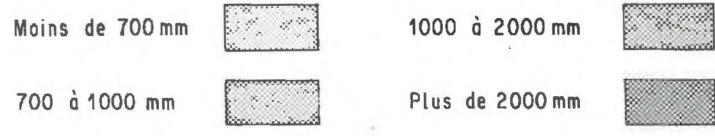
- L'interférence de l'altitude. A celle-ci sont dues, l'augmentation des précipitations, l'abaissement des températures, l'apparition de gelées et de neige. Ces dernières sont cependant irrégulières dans les Préalpes du sud, mais elles sont habituelles et fréquentes au nord de la séquence.

Dans les régions à prospecter à travers les Préalpes du sud, un choix s'impose. Les massifs occidentaux sont sous une influence davantage atlantique que continentale ; de même les massifs orientaux sont plus continentaux qu'atlantiques. Ces derniers sont plus proches de la zone intra-alpine de OZENDA (1966) et des Alpes Maritimes. La prospection a été réalisée dans les massifs occidentaux. Ce choix a été fait pour trois raisons. D'une part, les étages de végétation et les conditions bioclimatiques sont là, plus homogènes. Par ailleurs, on évite ainsi le "golfe de sécheresse" du Bassin de la Durance. Enfin, la partie occidentale des Préalpes du sud permet, sur le plan bioclimatique, d'englober plus facilement les Garrigues languedociennes. Elle se prête aussi davantage à une comparaison avec les Grands Causses, où une prospection rapide a également été réalisée.

*) Les indices de GAMS permettent de compenser l'augmentation des précipitations avec l'altitude. C'est par eux que GAMS (in OZENDA 1966) a défini un "coefficient d'océanité hygrique" et inversement un "angle de continentalité hygrique". Une carte de ces indices est donnée pour les Alpes françaises par OZENDA (1966) pages 16 et 17.

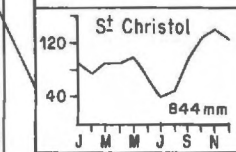
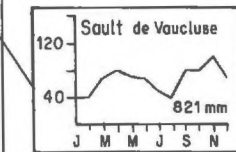
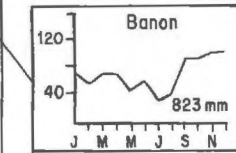
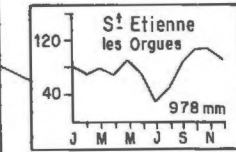
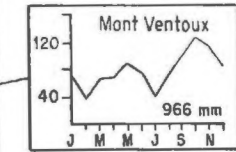
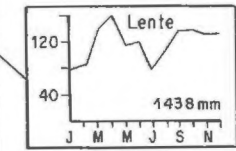
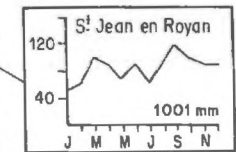
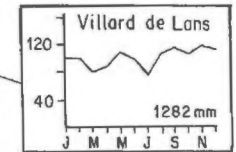
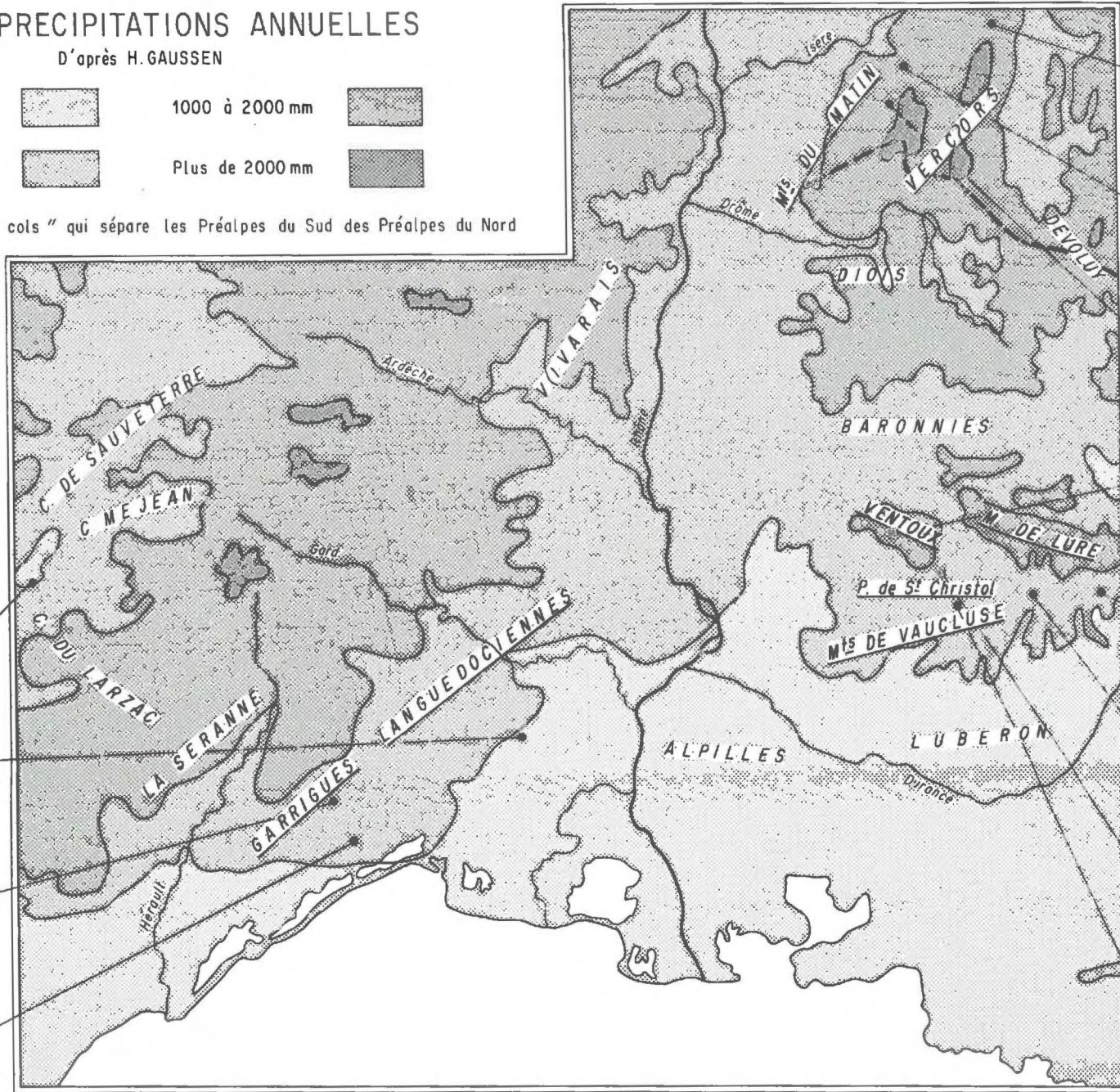
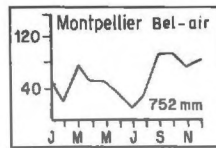
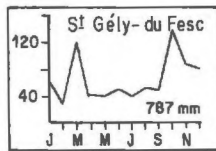
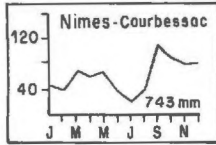
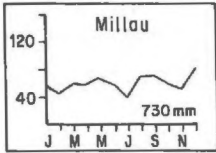
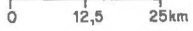
Carte 2 – PRECIPITATIONS ANNUELLES

D'après H. GAUSSEN



--- "Ligne des cols" qui sépare les Préalpes du Sud des Préalpes du Nord

ECHELLE : 1/1 250 000



En définitive, la séquence couvre les massifs occidentaux des Préalpes du sud et les Garrigues languedociennes. Ajoutons, pour être complet, qu'à titre de vérification, une prospection relativement sommaire a aussi été réalisée dans les Grands Causses. Toutes les régions étudiées sont sous influences méditerranéennes, qui peu à peu s'estompent vers le nord, remplacées par les conditions atlantiques.

Deux possibilités se présentent donc, pour la définition climatologique de la séquence : elle est méditerranéo-atlantique ; mais elle est aussi méditerranéo-alpine, puisqu'on passe de 0 à 2300 m d'altitude, dans le Vercors. Par souci de simplification, c'est cette dernière appellation, qui a été retenue dans le titre de ce travail. Mais il convient de retenir les influences atlantiques, qui règnent dans la partie nord de la séquence.

La répartition des pluies des quelques postes météorologiques représentée sur la carte 2, ne sera pas commentée davantage ici. Il s'agit de stations, situées dans des régions, qui ont été soumises à une prospection approfondie. Et leurs données climatologiques seront discutées, à travers les différents chapitres.

1.2 - LA VÉGÉTATION

Dans ce paragraphe, seront présentés les étages de végétation caractéristiques de la séquence, définie précédemment sur le plan climatologique. Les données bibliographiques sont très nombreuses ; nous ne citons ici, que les auteurs les plus récents. Concernant les Garrigues languedociennes, les travaux consultés ont été les suivants : BRAUN-BLANQUET (1936, 1964), LONG et al. (1958), LAMBLÉ (1960), TRABAUD (1962), DUPIAS et al. (1966), GUILLERM (1969).

Pour les Préalpes du sud, les renseignements sont également abondants. Il convient de se référer aux travaux de : MATHON (1952), MOLINIER (1952, 1955), FLORET (1962), CADEL et al. (1963), GOBERT et al. (1963, 1964), BRISSE (1966), OZENDA (1966), FAURE et al. (1968), GOBERT et PAUTOU (1969), RITTER (1969).

Dans la carte de la végétation de la France, feuille de Montpellier, DUPIAS et al. (1966) et, dans la carte de la végétation des Alpes, OZENDA (1966) distinguent, pour les Garrigues languedociennes et les massifs occidentaux des Préalpes du sud, les séries de végétation suivantes :

- Dans l'étage méditerranéen :

* la Série méditerranéenne du Chêne vert

* la Série méditerranéenne du Chêne pubescent.

- Dans l'étage collinéen :

* la Série subméditerranéenne du Chêne pubescent

avec une sous-série inférieure

et une sous-série supérieure ou normale.

- Dans l'étage montagnard :
 - * la Série mésophile du Hêtre
 - * la Série de la hêtraie-sapinière
 - * la Série mésophile du Pin sylvestre
 - à faciès à Hêtre
 - et à faciès à Sapin.

- Dans l'étage subalpin :
 - * la Série subalpine de l'Epicéa
 - * la Série externe du Pin à crochets

- Dans l'étage alpin :
 - * l'étage alpin sur calcaire

Cette liste correspond uniquement à la séquence méditerranéo-alpine, qui a été définie plus haut. Les séries définies dans les Alpes internes, dans la zone intra-alpine et dans les Préalpes du nord, ne sont pas mentionnées ici. La carte 3 qui est un extrait simplifié de la carte de la végétation de OZENDA (1966), donne la répartition des différentes séries, à travers les massifs occidentaux des Préalpes du sud. Cette carte mérite un certain nombre de remarques.

- Dans la série méditerranéenne du Chêne vert, de la feuille de Montpellier au 1/200 000, DUPIAS et al. (1966) ne distinguent pas de sous-séries. Cependant, à une échelle plus grande, GOBERT et PAUTOU (1969) définissent, sur la feuille au 1/50 000 de Vaison-la-Romaine, une sous-série inférieure et une sous-série supérieure. La première correspond au Chêne vert, avec ses stades de dégradation propres : landes à Chêne Kermès et landes à Romarin ; dans la région de Montpellier, ces associations ont été étudiées par LONG et al. (1958) et TRABAUD (1962) et dans la région de Nîmes par BARRY (1960). La sous-série supérieure correspond à l'aire du Chêne vert, en dehors de l'aire du Chêne Kermès.

- La série subalpine de l'Epicéa a, dans la séquence méditerranéo-alpine, une position particulière ; en fait, elle ne devrait pas en faire partie. Très étendue dans les Préalpes du nord, son aire d'extension s'arrête dans le Vercors méridional. On ne retrouve plus cette série dans les Préalpes du sud (carte 3). Un nombre important de profils a cependant été examiné, sous cette pessière. En effet, l'étude des sols, formés sous sa litière acide et sur roches-mères calcaires présente un intérêt, sur le plan de la pédogénèse.

- Apportons une dernière précision concernant la carte 3. Elaborée à partir de la carte de OZENDA (1966), elle a été quelque peu simplifiée. La série mésophile du Pin sylvestre semble davantage liée à la zone intra-alpine, qu'aux Préalpes du sud ; elle est dans cette dernière région surtout représentée par son faciès à Hêtre ; aussi cette série est-elle regroupée dans la carte 3, avec la série mésophile du Hêtre.

Carte 3

ETAGES ET SERIES DE VEGETATION DANS LES PREALPES DU SUD

Extrait simplifié de la carte
de P. OZENDA et J. PORTECOP (1966)

ECHELLE : 1/750 000

0 10 20 30km

LEGENDE

ETAGE MEDITERRANEEN

Série du Pin d'Alep



Série méditerranéenne du Chêne pubescent



ETAGE COLLINEEN

Série subméditerranéenne du Chêne pubescent

Sous-série inférieure



Sous-série normale



ETAGE MONTAGNARD

Série mésophile du Hêtre et
série mésophile du Pin sylvestre



Série de la Hêtraie-sapinière



ETAGE SUBALPIN

Série subalpine de l'Épicéa

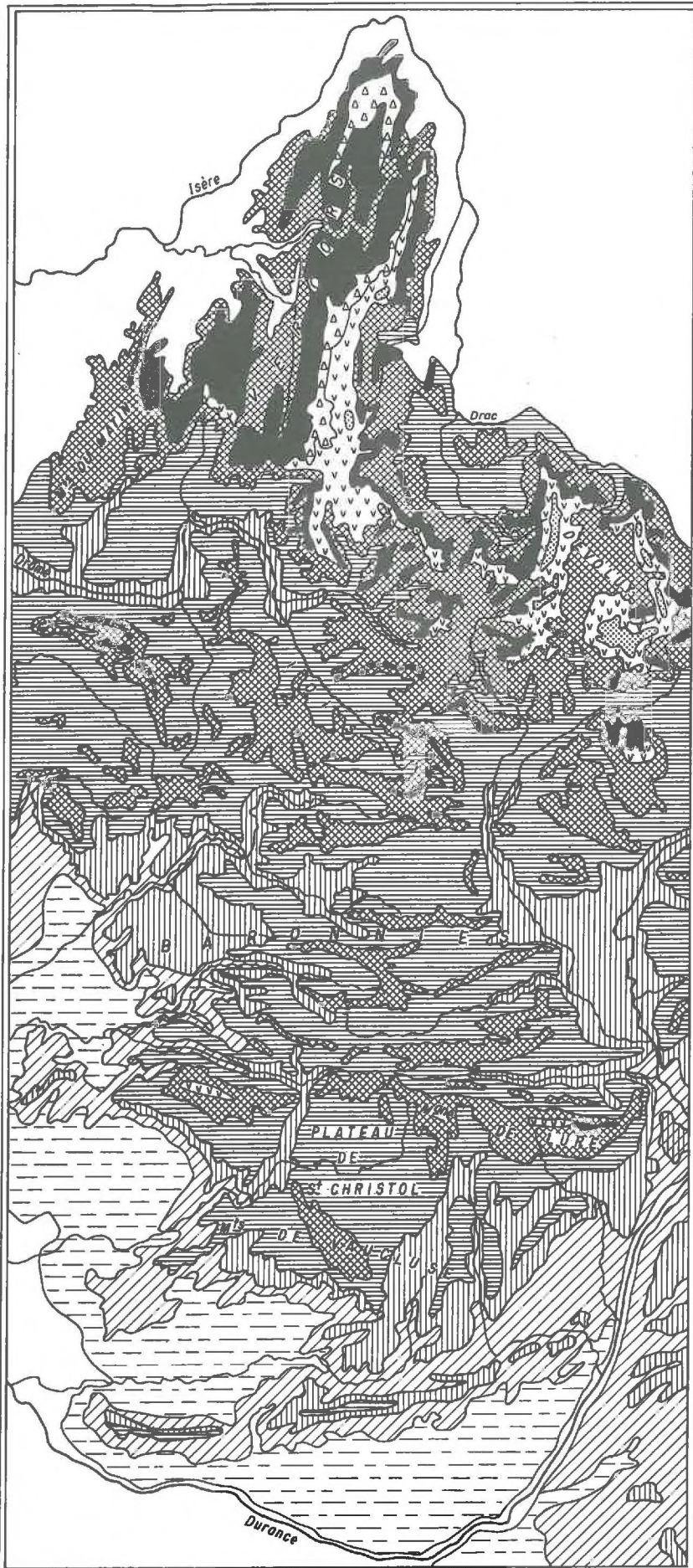


Série externe du Pin à crochets



ETAGE ALPIN

Alpin sur calcaire



En définitive, la séquence méditerranéo-alpine, étudiée ici, a été choisie, parce qu'elle présente une succession d'étages de végétation relativement complète. Il s'agit, du sud au nord, des étages méditerranéen collinéen, montagnard, subalpin et alpin. Le caractère méditerranéen se manifeste, par l'absence, à travers toute la séquence, du Chêne pédonculé. De même, certaines espèces, telles que l'Épicéa et le Rhododendron ferrugineux ne sont présentes que dans la région la plus septentrionale de la séquence. Elles sont absentes du Mont Ventoux.

Une étude complète des sols consisterait à superposer à cette carte de la végétation, sur roches-mères calcaires, une carte des sols. Mais, pour des raisons matérielles, toutes les séries et tous les massifs occidentaux des Préalpes du sud et du Languedoc n'ont pas été prospectés. Après une première reconnaissance de l'ensemble de la séquence, certaines régions ont été sélectionnées et soumises à une étude approfondie.

Enfin précisons aussi que les sols ont été examinés sous deux types essentiels de formations végétales. Sous les forêts, aussi proches que possible du climax et sous les pelouses de dégradation, issues des précédentes.

1.4 - CHOIX DES REGIONS PROSPECTEES

Voici finalement, la liste des régions, des séries de végétation et des formations végétales, qui ont été soumises à une prospection approfondie. Ces régions sont sur la carte 2 soulignées par un trait noir.

- Dans la sous-série inférieure de la série méditerranéenne du Chêne vert, les sols ont été étudiés, sous trois formations végétales : les pelouses à Brachypode rameux, stades de forte dégradation de la forêt de Chêne vert, sous les garrigues à Chênes Kermès, stades arbustifs probablement intermédiaires entre la pelouse et la forêt, enfin, sous les rares lambeaux de forêts ou de taillis de Chêne vert, aussi proches que possible du climax. Sur le plan géographique, la prospection a été réalisée essentiellement dans les Garrigues languedociennes: Massif de la Gardiole, Garrigues montpelliéraines et accessoirement en Provence, dans la Vallée du Coulon.

- Pour la chênaie pubescente, c'est la sous-série normale de la série subméditerranéenne du Chêne pubescent qui a été choisie. La prospection a été réalisée dans les Monts du Vaucluse, sur le Plateau de Saint-Christol, au sud du Mont Ventoux et de la Montagne de Lure (carte 2). Les profils ont également été examinés sous forêts et taillis et sous des stades très dégradés.

- La hêtraie débute, au sud et aux basses altitudes, par la série mésophile du Hêtre. Elle est alors dépourvue de résineux. En altitude ou vers le nord, le Sapin devient de plus en plus abondant. C'est alors la série de la hêtraie-sapinière. Celle-ci est dans le Vercors, vers 1700-1800 m, à son tour, remplacée par la série subalpine de l'Épicéa où le Hêtre disparaît (carte 3). Dans cette succession, deux séries ont été sélectionnées : à la base, la série mésophile du Hêtre, c'est une hêtraie sèche généralement à buis et

dépourvue de résineux, à l'autre extrémité, la série subalpine de l'Epicea, plus humide et sans feuillus. La première a été étudiée dans plusieurs régions (cartes 2 et 3) : sur le versant sud du Mont Ventoux, dans les Monts du Matin, sur le versant occidental et les dépressions du Vercors, telles que celles de la Chapelle-en-Vercors, et de Vassieux et enfin, à titre de comparaison, dans la partie septentrionale des Grands Causses. La seconde a été prospectée exclusivement sur le Haut Plateau du Vercors (carte 3).

- La série subalpine de l'Epicea est elle même, vers 1900-2000 m, remplacée par la série externe du Pin à crochets. Celle-ci a été examinée sur le Haut Plateau du Vercors et au Mont Ventoux.

- La forêt de Pins à crochets, à sa limite supérieure, est très clairsemée ; elle est remplacée vers 2100 m par la pelouse pseudoalpine. C'est la pelouse de dégradation des pinèdes à crochets et parfois aussi des pessières, sous les conditions défavorables d'altitude. Enfin, au-delà de 2200 m, on passe à une pelouse complètement dépourvue d'arbres ; c'est la pelouse alpine appelée sur la carte 3 : alpin sur calcaire.

En définitive, les régions qui ont été prospectées sont sur la carte 2 soulignées par un trait noir ce sont : les Garrigues languedociennes, les Monts du Vaucluse, le Plateau de Saint-Christol, le Mont Ventoux, la Montagne de Lure, les Monts du Matin et le Vercors. Ces deux derniers massifs sont particulièrement intéressants, puisqu'ils présentent, comme le montre la carte 3, toute une succession de séries de végétation, depuis la hêtraie mésophile jusqu'à la pelouse alpine. Le point le plus élevé prospecté, se trouve dans le Vercors, il est situé à 2350 m d'altitude (le Grand Veymont).

1.5 - CONCLUSION : DEFINITION DE LA SEQUENCE

Tous les éléments sont maintenant rassemblés, pour donner une définition complète de la séquence, dont nous proposons l'étude des sols.

- Elle est située sur roches-mères calcaires. Les renseignements d'ordre stratigraphique ont permis de distinguer des calcaires durs et des calcaires tendres. En fait, les types lithologiques de roches-mères calcaires sont plus diversifiés et leur étude fera l'objet du chapitre suivant.

- Elle couvre trois grandes unités géographiques : les Grands Causses, les Garrigues languedociennes et les Préalpes du sud. Les Causses ont fait l'objet d'une reconnaissance rapide ; les deux dernières ont été soumises à une étude plus approfondie. La séquence est limitée au sud par la Mer Méditerranée et au nord par la "ligne des cols" qui sépare les Préalpes du sud de celles du nord.

- Elle a été choisie, en fonction de ses caractères climatologiques. Elle est située dans les massifs occidentaux des Préalpes du sud, où les conditions sont davantage atlantiques que continentales. Du nord au sud, elle subit des

*) - Il convient de préciser, que cette séquence bioclimatique, telle qu'elle est définie ici, n'a pas la même signification que la "séquence de végétation" proposée par GODRON (1971).

influences de plus en plus méditerranéennes. Les conditions montagnardes, dans la séquence, se manifestent à deux niveaux : au sud, dans le Mont Ventoux qui culmine à 1912 m. Celui-ci est davantage soumis au climat méditerranéen. Au nord, le Haut Plateau du Vercors, culmine à 2350 m. Ici, ce sont les influences atlantiques qui l'emportent. Cependant, les phytogéographes reconnaissent encore, sur le Haut-Plateau du Vercors méridional, des espèces méditerranéennes. Selon EMBERGER et al. (1962), on passe, à travers la séquence, du climat méditerranéen atténué au sud, au climat tempéré chaud puis moyen, au nord.

- Les données bioclimatiques les plus précieuses ont été fournies par la végétation. L'intérêt de cette séquence est d'être couverte par une succession d'étages bioclimatiques assez complète. Ceux-ci sont regroupés, par OZENDA, en étages méditerranéen, collinéen, montagnard, subalpin et alpin. On passe, du niveau de la mer au sud, à 2350 m d'altitude au nord. C'est une succession méditerranéo-alpine sous influences atlantiques. Les profils ont été examinés sous les forêts, aussi proches que possible du climax, et sous des formations végétales dégradées. Dans ce dernier cas, il s'agit de pelouses ou de landes de dégradation.

Pour l'ensemble de ce travail, qui s'est échelonné à peu près sur six ans, 500 profils ont été examinés, dont environ 350 ont été soumis à des analyses physico-chimiques plus ou moins complètes.

CHAPITRE II

2 - LITHOLOGIE, *) GEOMORPHOLOGIE ET AGE DES MATERIAUX

Le climat et la végétation, examinés précédemment, constituent deux facteurs actifs de la pédogénèse. Il convient, avant d'aborder l'étude des sols, de définir les trois autres : la roche-mère, la morphologie et le temps. Ces trois facteurs, étroitement liés, sont présentés dans un même chapitre.

L'objet de celui-ci est de montrer, d'une manière très sommaire, l'importance des caractères lithologiques, dans la morphogénèse et la pédogénèse, sur roches calcaires. En réalité, ce travail ne concerne pas uniquement les calcaires, mais aussi les dolomies. Par souci de simplification, nous conserverons cependant dans la suite le terme de roches-mères calcaires ou roches carbonatées.

En général, les géologues distinguent les calcaires et les dolomies. Ils classent les premiers, suivant leur origine, en calcaires d'origine détritique, d'origine chimique, d'origine organique et en calcaires impurs. Les secondes sont classées, suivant leur proportion de dolomite, en calcaires magnésiens, calcaires dolomitiques, dolomies calcairifères et dolomies (JUNG 1963).

Ces distinctions ne sont pas satisfaisantes pour le pédologue. A la suite d'un certain nombre de travaux, tels que ceux de YAALON (1954, 1955), LAMOUREUX (1966), LAMOUREUX et AUBERT (1966), LESZCZYNSKA (1966), BOUKHRIS (1967), CIRIC (1967), LEPOUTRE (1967), RAVIKIVITCH et PINES (1967), KUZNIKI (1968) et enfin CADILLON (1970), les roches-mères calcaires de la séquence ont été classées en quatre groupes. *)

- les roches-mères calcaires dures et pures aussi appelées dans la suite compactes. *)
- les roches-mères calcaires siliceuses.
- les roches-mères dolomitiques.
- les roches-mères calcaires tendres. *)

Examinons les caractères lithologiques et géomorphologiques de chacun de ces groupes.

*) Cette classification des roches-mères calcaires a été établie uniquement à partir des observations faites dans les régions étudiées. En particulier, les calcaires durs sont aussi généralement purs et compacts. Ceci n'est bien sûr pas toujours le cas pour d'autres types de roches. De même les roches calcaires tendres sont dans les régions étudiées relativement riches en résidu. Mais ceci n'est bien sûr pas non plus applicable à l'ensemble des roches-mères calcaires.

2.1 - LES ROCHES-MÈRES CALCAIRES DURES ET PURES (COMPACTES)

Elles correspondent en général, au faciès tironique du Crétacé dans les Préalpes, ou au faciès urgonien du Jurassique dans le Languedoc et les Grands Causses. Sur le terrain, on les reconnaît aisément, parce qu'elles forment des plateaux très stables, karstifiés et limités par des falaises abruptes.

Leurs caractères lithologiques sont les suivants :

- Ce sont des calcaires durs, d'âge secondaire, ils ont été soumis, dans les Préalpes et en Languedoc, à des mouvements tectoniques importants. Mais ils sont davantage fracturés que plissés. Ils sont alors parcourus de fissures, qui ont été le siège de la karstification initiale. Non disloqués, ils ont gardé leur caractère massif et difficilement pénétrable par les agents de dissolution.

- Ils sont compacts. Leur étude en lames minces, fait apparaître une structure microcristalline, très fine. La capacité de rétention en eau de ces calcaires est faible. L'eau pénètre difficilement dans la roche ou le caillou. Comme l'a montré LAMOUREUX (1965-1966), la dissolution du CO_2 est superficielle ; à l'inverse des calcaires tendres, la partie interne de la roche n'est pas altérée. La libération des carbonates est alors lente. C'est une altération du type pelliculaire.

- Ce sont des calcaires karstiques. Ils sont parcourus de fissures profondes, d'origine tectonique ou structurale, puis élargies et approfondies par une karstification parfois très longue. Ces fissures se sont élaborées, grâce à la stabilité des surfaces karstiques et grâce à l'altération pelliculaire.

- Ces calcaires contiennent peu de résidu. Ils ont été formés dans des mers calmes, loin des rivages. Les chiffres donnés dans la littérature (SCHROEDER, 1962 ; GRACANIN, 1960 ; CIRIC, 1967), concernant l'importance du résidu, vont de 0,2 % à 5 %. Celui-ci est constitué essentiellement d'argiles (KHAN 1960). La détermination minéralogique de celles-ci a été effectuée par de nombreux auteurs. Citons, parmi les travaux les plus récents, ceux de NIELCE (1964), ROTINI et al (1964), BLANC (1964), DAN et YAALON (1966), GAL (1966), YAALON et al. (1966), LAMOUREUX et al. (1967), RAVIKIVITCH (1967), STEINBERG (1967), DACHARY (1969), PAQUET (1969). Il s'agit le plus souvent d'illite et de kaolinite, parfois de montmorillonite. Dans ces résidus, les fractions supérieures à 2 μ sont peu abondantes. Ce sont alors des limons ou des sables fins, de quartz ou de feldspaths, plus ou moins altérés (SCHACHTSCHABEL et SCHROEDER 1953 ; CIRIC 1967).

2.2 - LES ROCHES-MÈRES CALCAIRES SILICEUSES

Ces calcaires se trouvent dans la séquence étudiée, en couches plus ou moins épaisses, dans les calcaires jurassiques, crétacés ou tertiaires. Comme les précédents ils sont durs ; ils ont également résisté à l'érosion et maintenu, à travers les temps, des surfaces karstiques stables. Les caractères lithologiques sont cependant différents de ceux des calcaires purs

décrits précédemment : le résidu insoluble non calcaire est ici très important ; il est constitué de silex et de chailles. A la suite de la décarbonatation, ceux-ci s'accumulent, avec les argiles résiduelles, à la surface de la roche et le milieu devient acide. Les silex résistent à l'altération ; les chailles, étant imparfaitement silicifiées, donnent origine à des éléments sableux ou limoneux.

2.3 - LES ROCHES-MERES DOLOMITIQUES

Des calcaires durs et purs aux dolomies, il existe toute une transition, par adjonction de dolomite à la calcite. Les dolomies sont également des roches dures. Elles forment des surfaces très stables et sont karstifiées. Comme les calcaires compacts, elles contiennent également très peu de résidu non carbonaté. Elles se distinguent par leur mode d'altération. Ces roches sont constituées de grains de calcite et de dolomite, intimement imbriqués les uns dans les autres. Par dissolution plus rapide de la calcite, il y a accumulation de grains de sables plus ou moins fins (50 à 200 μ), constitués exclusivement de dolomite. C'est le sable dolomitique. En fait, il existe d'autres types de dolomies ; celles qui ne donnent pas origine à des sables ; elles sont très dures et se comportent, vis à vis de l'altération, de la même manière que les calcaires durs et purs. Selon CADILLON (1970), certaines marnes seraient également dolomitiques.

2.4 - GEOMORPHOLOGIE SUR ROCHES CALCAIRES COMPACTES : LA KARSTIFICATION

Par leur résistance à l'altération physique, par la dissolution pelliculaire des carbonates, les calcaires compacts les calcaires siliceux et les dolomies sont affectés d'un ensemble de formes de relief particulières : le karst. Nous proposons de présenter ici, d'une manière tout à fait schématique, quelques caractères fondamentaux du karst, qui sont en relation avec la pédogénèse. Les données bibliographiques sont, à ce sujet, très nombreuses. Toutes ne seront pas passées en revue. Ce paragraphe a été élaboré à partir de travaux fondamentaux tels que ceux de CORBEL (1954, 1959 a, b, 1961) de ROGLIC (1957) de BIROT et al (1966), de NICOD (1967) et de AVIAS (1968).

2. 41 - LES MECANISMES DE LA KARSTIFICATION

Selon ROGLIC (1957), "le karst est défini par l'originalité des formes du relief et la nature de la circulation souterraine des eaux, dans une région de roches solubles". Il est généralement lié aux roches carbonatées. Mais il peut également se former sur terrains salins ou gypseux.

Les massifs sont, à l'origine, parcourus par de profondes fissures, dues à la tectonique ou à la structure des couches calcaires. Elles servent d'exutoire aux eaux météoriques. Celles-ci, chargées de CO₂ et d'acides organiques, élargissent les fissures, par dissolution pelliculaire du CO₃Ca. Les eaux agressives ne pénètrent pas à l'intérieur de la roche ou des cailloux trop compacts. Les surfaces de dissolution sont donc relativement réduites et la quantité de carbonates dissous est faible. Mais les eaux, dans leur

parcours, restent agressives sur une grande profondeur, d'où la formation de fissures et de grottes très profondes. A cela s'ajoute une altération physique et en particulier en montagne, l'action des cailloux, des eaux turbulentes ou de la glace. Les marques de la karstification sont conservées, depuis des époques parfois très lointaines, grâce à la stabilité des massifs calcaires durs et des surfaces karstiques.

2.42 - KARSTIFICATION ET CONDITIONS BIOCLIMATIQUES

A la suite de ses recherches dans les pays arctiques, dans les Alpes, en Méditerranée et dans les pays tropicaux, CORBEL (1954, 1959a, b, 1961) a mis en évidence des relations entre karstification et conditions bioclimatiques. Il distingue cinq types de karst :

LES KARSTS A TJALE PERMANENT (OU A PERMAFROST)

Il s'agit de karsts de régions très froides à sous-sol perpétuellement gelé. La dissolution n'est possible, que pendant une faible partie de l'année, lors de la fonte des neiges. Les eaux sont très agressives, parce que très froides et riches en CO_2 . Mais, la dissolution des carbonates est très superficielle, puisque le sol n'est dégelé que sur une faible épaisseur. Ce type de karst est alors très peu développé. L'action mécanique, due à la cryoclastie, à la solifluxion ou aux glaciers, modèle davantage la roche que la dissolution. Les eaux qui sortent de la base des glaciers, par exemple, sont encore très agressives.

LES KARSTS A TJALE SPORADIQUE

Le tjäle sporadique, par opposition au permafrost ou tjäle permanent, désigne le sous-sol qui n'est plus gelé que périodiquement : moins de douze mois et plus de huit mois par an. En Alaska, au Canada, en Suède, en Finlande et en Laponie, les régions à tjäle sporadique font suite aux régions à permafrost. Mais on les trouve aussi dans les Alpes suisses et autrichiennes. Le Haut Plateau du Vercors, situé au-delà de 2000 m d'altitude et correspondant aux pelouses pseudoalpines et alpines, a des caractères proches de ceux des karsts à tjäle sporadique. Le sous-sol est cependant gelé moins de huit mois par an.

La décarbonatation est ici importante, elle s'exerce en surface dans le sol et en profondeur dans le sous-sol, quand celui-ci est dégelé. Elle est due à deux phénomènes simultanés : la gélifraction qui augmente les surfaces et la dissolution. Les facteurs de la décarbonatation sont favorables. L'eau est abondante et froide. Une grande partie est issue de la fonte des neiges. CORBEL (1956) estime que, sur le Haut Plateau du Vercors septentrional, il disparaît une couche de 0,15 à 0,18 mm de calcaire par an. Dans le karst de la Silbern en Suisse, ce même auteur estime qu'une source karstique dont le bassin versant est de 20 km^2 , entraîne chaque année 6500 tonnes de CO_3Ca soit 2600 m^3 de calcaire. Sous les glaciers (karst à permafrost), l'action dissolvante serait quatre fois plus faible.

Dans ces karsts à tjàle sporadique, deux formes géomorphologiques essentielles affectent les surfaces. Comme il sera montré plus loin, sur le Haut Plateau du Vercors, leurs caractères sont déterminants dans l'évolution des sols. Il s'agit d'abord des lapiaz ; ils forment des cannelures, plus ou moins profondes et larges, à la surface des calcaires peu gélifs. Ils sont dus à une action dissolvante. Les champs de pierres, encore appelés dans ce travail champs de cailloux, constituent la deuxième forme. Ils affectent les calcaires plus gélifs. La gélifraction s'exerce soit suivant le litage des calcaires, elle donne alors origine à des plaquettes, soit au hasard et elle forme des cailloux polygonaux. Ces cailloux recouvrent la roche en place sur des épaisseurs de 50 cm à 1,50 m. Ils alimentent aussi les éboulis dont il sera question plus loin.

C'est dans ces karsts des régions à tjàle, que sont creusées les premières galeries profondes. Leur formation est possible d'une part, parce que le sous-sol est dégelé pendant une partie de l'année et que, par ailleurs, les eaux restent agressives encore en profondeur. D'après les karstologues, l'action mécanique, due à la turbulence des cailloux, lors des fontes de neige rapides du printemps, contribuera également à l'élargissement des galeries. Elles sont en effet peu nombreuses mais béantes. Elles restent rudimentaires : peu ramifiées et dépourvues de concrétions calcaires. Comme nous verrons ultérieurement, les résidus de dissolution accumulés à la surface de ces karsts jeunes sont encore peu abondants. Dans les sols formés sur le lapiaz ou entre les cailloux des champs de pierres, la fraction minérale non carbonatée est encore peu importante. Ce sont des sols, très organiques.

Finalement, les caractères géomorphologiques du Haut Plateau du Vercors sont ceux des karsts hauts-alpins que l'on retrouve en Chartreuse, en Suisse et en Autriche. Ils se rapprochent des karsts à tjàle sporadique des pays septentrionaux. La dissolution des carbonates y est intense, puisque tous les facteurs sont favorables : cryoclastie, abondance des précipitations, températures basses de l'eau. La dissolution du calcaire s'exerce dans le sol et en profondeur. Mais c'est un karst jeune, où les éléments résiduels de décarbonatation sont encore peu abondants et où le réseau souterrain reste simple. C'est un karst monogénique.

LES KARSTS ALPINS DE MOYENNE ALTITUDE

Quand on quitte les pelouses alpines et pseudoalpines, quand on entre dans le domaine de la forêt, la géomorphologie karstique prend d'autres aspects. Selon CORBEL (1956), dans le Vercors, le changement s'opère aux environs de 2000 m. Ce type de karst a aussi été étudié en Chartreuse et dans les Bauges par MUGNIER (1965), en Suisse et en Autriche par CORBEL (1957 b) et par EAUFER (1958). Dans le Vercors, il est situé sous la pinède à crochets, sous la pessière et sous la hêtraie-sapinière. Les facteurs de la karstification sont aussi très favorables. En effet, les précipitations restent abondantes ; la neige apparaît encore annuellement en quantité importante. Ce travail montrera, qu'en outre, les litières acides des résineux et du Hêtre et la présence fréquente d'humus bruts, jouent un rôle important dans la décarbonatation, en libérant des acides organiques agressifs.

Ces karsts de moyenne altitude sont plus évolués, que les karsts hauts-alpins. La karstification n'y est cependant pas plus active. CORBEL (1956) estime que l'eau entraîne une couche annuelle de 0,06 mm de calcaire par an dans le karst de la partie occidentale du Vercors. Cette partie correspond, en général, à la hêtraie-sapinière. Mais les karsts de moyenne altitude sont plus anciens que les précédents. D'une part, ils ont été libérés depuis plus longtemps des conditions périglaciaires würmiennes. Par ailleurs, ils ont conservé des marques des périodes antéwürm. Ce sont déjà des karsts polygéniques. Sur le terrain, cela se manifeste dans le karst souterrain, qui est plus complexe et où apparaissent des concrétions calcaires (MUGNIER 1965). En surface, subsistent les lapiaz et les champs de pierres, mais en plus se sont multipliées les dolines, qui sont plus rares dans les karsts hauts-alpins. Pour expliquer la répartition des sols, il convient de noter un autre changement important. De la pessière à la hêtraie mésophile, par l'intermédiaire de la hêtraie-sapinière, les argiles de décarbonatation deviennent dans les sols et dans les fissures superficielles de plus en plus abondantes. Elles résultent de la dissolution depuis des périodes déjà relativement longues et probablement aussi d'apports allochtones.

LES KARSTS MEDITERRANEENS

Les massifs de calcaires compacts sont fréquents dans les pays circum-méditerranéens et ils sont, en général, profondément karstifiés. Les facteurs de la décarbonatation sont ici moins favorables. Les précipitations sont plus faibles. La température de l'eau est plus élevée. Les litières ne sont pas acides et l'humus brut est rare ou peu épais. Pourtant, ces karsts sont très évolués et complexes. Ils sont aussi très anciens et polygéniques.

En ce qui concerne l'histoire des surfaces karstiques du midi de la France, on connaît en fait très peu de choses. Les premières marques de karstification remontent au Crétacé moyen. Elles sont antérieures ou concomitantes, à la formation de la bauxite de l'Isthme durancien (ROCH, 1958 ; VALETON, 1966). De ces très anciennes surfaces bauxitiques, il ne subsiste actuellement, que de rares lambeaux. Elles sont indépendantes des surfaces karstiques actuelles ; celles-ci sont plus jeunes.

L'essentiel du relief actuel remonte cependant au Miocène. Dès cette époque et à travers le Pliocène, la karstification a été active. Selon NICOD (1967) les surfaces actuelles en ont conservé des marques importantes, telles que le réseau souterrain, du matériel rubéfié et des concrétions ferrugineuses.

Au Quaternaire, ces surfaces n'auraient subi que de faibles retouches géomorphologiques. Comme l'ont montré MARCELIN (1947, 1950) MARCELIN et RUTTEN (1959) ; DUGRAND (1964) et COULET (1968), les conditions périglaciaires qui régnaient dans le midi de la France, pendant les périodes glaciaires ont laissé des traces, dont beaucoup ne sont pas explicables par les conditions bioclimatiques actuelles. Il s'agit des champs de pierres, des vallons de solifluxion, des grèzes litées, des lapiaz et des phénomènes éoliens. Sous ces conditions

périglaciaires, qui ont été, selon BOURDIER (1961) et BONIFAY (1962), froides et sèches ou froides et humides suivant les périodes, la karstification et l'altération mécanique des calcaires furent probablement importantes et proches de celles, que l'on observe actuellement dans le Vercors. On connaît peu de choses des périodes interglaciaires. L'étude des pédogénèses, qui se sont succédées sur les terrasses quaternaires dans la vallée du Rhône, de la Durance, en Basse-Provence et en Bas-Languedoc, a fourni, à ce sujet, des renseignements plus intéressants que l'étude de la géomorphologie karstique.

En conclusion, l'histoire des karsts du midi de la France, comme ceux de l'ensemble du Bassin Méditerranéen, reste obscure. Les géomorphologues y reconnaissent des formes juxtaposées très diverses : des modèles karstiques du type tropical, des formes des périodes périglaciaires froides et humides ou des périodes froides et sèches. C'est un karst très ancien et polygénique (BLANC 1961). Pour le pédologue, un caractère reste important : c'est la stabilité des surfaces et l'ancienneté des sols que celles-ci ont conservés depuis des époques très reculées : ce sont des sols polygéniques.

Il convient de faire une dernière remarque. Le terme de "karst méditerranéen" regroupe deux notions distinctes. La première concerne la complexité et l'ancienneté de cette géomorphologie celle-ci est fréquente dans le Bassin Méditerranéen. Mais les karsts polygéniques sont aussi présents dans d'autres parties du monde. La deuxième notion concerne l'évolution karstique actuelle. Elle est plus faible que dans le Vercors ; elle est en relation avec les conditions bioclimatiques actuelles ; celle-ci est réellement méditerranéenne. En fait, il y a là, une ambiguïté terminologique, qui est identique à celle des "sols rouges méditerranéens".

LES KARSTS DES CLIMATS SUBTROPICAUX

Dans sa classification des karsts, en relation avec les climats, CORBEL (1959 a) distingue encore deux autres types, qui ne font plus partie de la séquence étudiée ici. Pour être complet, nous les mentionnons cependant. Dans les karsts à climats subtropicaux, les eaux sont chaudes, l'évaporation est intense et la hauteur d'eau écoulée est faible. La karstification est ici très réduite. CORBEL (1959 a) l'estime au sud du Texas, à $1\text{m}^3/\text{an}/\text{km}^2$ ce chiffre est très faible.

LES KARSTS DES CLIMATS TROPICAUX

Selon BIROT et al. (1966), la morphologie des karsts tropicaux humides est très différente, de celle des pays tempérés ou méditerranéens. Ce sont des karsts à buttes plus ou moins circulaires, avec des parois verticales (Turmkarst) ou bien à cônes (Kegelkarst) ou encore à mamelons (Kruppenkarst) et dispersés sur une surface plus ou moins pénéplanée. Un autre caractère distinctif, c'est l'existence de nombreux poljés encore vivants. Ceux des karsts méditerranéens sont souvent inactifs et fossiles. Un exemple de ce type de karst a été étudié récemment, par DELHUMEAU (1969), au Gabon.

Sur la base de mesures journalières réalisées pendant une longue durée par les Américains dans deux bassins versants comparables l'un situé en climat humide et froid en Alaska, l'autre en climat humide et chaud en Floride, CORBEL (1959 a) estime que, pour une même quantité d'eau tombée, la dissolution en Alaska est 10 fois plus importante que celle en Floride. Elle correspondrait à une ablation de l'ordre de 40 mm/millénaire dans le premier cas et de 5 mm/millénaire dans le deuxième cas.

En définitive, les roches-mères calcaires karstiques sont originales par deux caractères : la stabilité de leur surface et leur mode pelliculaire de dissolution des carbonates. La karstification est conditionnée par ces deux facteurs. Elle est en relation avec les conditions bioclimatiques. Les karsts de haute altitude, balayés récemment par les glaciers sont monogéniques puis deviennent de plus en plus complexes en basses altitudes. La stabilité des surfaces permet la conservation des marques anciennes.

La morphologie karstique, avec ses lapiaz ou ses champs de pierres, n'est pas la seule forme de relief sur calcaires compacts. D'autres, telles que les moraines ou les éboulis, sont également déterminantes dans la répartition des sols. Elles couvrent cependant des surfaces beaucoup moins importantes. Leur rôle, en tant que facteur de pédogénèse, sera examiné ultérieurement.

La nature et l'origine du matériel de remplissage karstique posent des problèmes géomorphologiques importants. C'est dans ce matériel, en effet, que se développe le sol. Ces questions seront également examinées en temps opportun, dans des chapitres ultérieurs.

2.5 - LES ROCHES-MÈRES CALCAIRES TENDRES

Dans les calcaires tendres, la proportion des composés non carbonatés est toujours plus élevée, que dans les calcaires compacts. Les chiffres cités dans la littérature sont rares. L'importance du résidu est probablement très variable, puisqu'il existe une continuité des calcaires purs aux argiles calcaires. La nature du résidu est hétérogène. Souvent ce sont des argiles avec des limons. C'est dans des marnes du Tertiaire, que YAALON (1955), en Israël a signalé l'existence d'attapulgite. L'intérêt de ce type d'argile réside dans le fait, qu'il est très altérable et sa persistance dans le sol indique des conditions d'hydrolyse réduite.

Le comportement des roches-mères calcaires tendres, vis-à-vis de la dissolution, est très différent de celui des trois groupes précédents. Deux faits sont à mettre en évidence :

L'altération n'est plus uniquement pelliculaire. Elle a été étudiée par YAALON (1954) et par RAVIKOVITCH et PINES (1967). Parce que ces roches contiennent une quantité importante de résidu et que celui-ci est fin, ces calcaires sont plus poreux. L'eau pénètre dans la masse de la roche ou du caillou. La dissolution est externe mais aussi interne. Les surfaces de dissolution sont ainsi très amplifiées et l'altération est plus rapide que

sur calcaires compacts. Les solutions sont neutralisées dans le sol et à la partie superficielle des massifs. Elles ne sont plus agressives en profondeur et la karstification n'a pas lieu. Si l'on observe parfois quelques fissures de dissolution, elles n'ont jamais l'ampleur de celles observées dans le karst.

- Ces calcaires tendres sont aussi plus sensibles à l'érosion ; leurs surfaces ne sont pas aussi stables, que dans les massifs karstiques. Elles conservent rarement des paléosols. Ceci explique également l'absence de karstification.

- L'étude des sols sur calcaires tendres est peu intéressante, sous les conditions méditerranéennes : l'érosion l'emporte sur la pédogénèse. Elle s'est par contre avérée très fructueuse en montagne. C'est sur ces roches que l'on trouve les sols les plus évolués. L'altération de ces matériaux sera examinée plus en détail dans le dernier chapitre consacré à l'évolution des sols sur roches-mères calcaires tendres.

2.6 - CONCLUSION

L'objet de ce chapitre était de montrer l'importance des caractères lithologiques, dans la vitesse et le mode d'altération des roches-mères calcaires. Dans ce travail, quatre types sont distingués : les calcaires durs et purs, encore appelés, dans la suite, calcaires compacts, les calcaires siliceux, les dolomies, et les calcaires tendres. Les trois premiers sont facilement karstifiés et seront appelés aussi : calcaires karstiques. Ils ont en commun, la stabilité de leurs surfaces et leur mode pelliculaire d'altération. Les calcaires tendres, par contre, sont poreux ; la dissolution est interne ; ils ne sont pas karstifiés et sont sensibles à l'érosion. Ce travail montrera que tous ces caractères sont des facteurs déterminants dans la pédogénèse.

Il convient d'apporter une dernière précision. Cette liste des roches-mères n'est bien sûr pas complète. Elle a été élaborée à partir des observations faites dans la séquence. Certaines roches-mères carbonatées, telles que les grès calcaires, les grès siliceux à ciment calcaire ou les craies, n'ont pas été rencontrées. L'altération des grès à ciment calcaire a été étudiée par COINTEPAS (1966) et KUZNIKI (1968), celle des molasses par DACHARY (1967). Elle semble être identique à celle de certains calcaires siliceux examinés ici. Les craies, par contre, semblent constituer un groupe particulier ; il s'agit de calcaires tendres, dont le résidu de dissolution est pourtant peu important.

CHAPITRE III

3 - LES METHODES DE PROSPECTION ET D'ANALYSE

3.1 - LES METHODES DE PROSPECTION

Dans les différentes régions choisies en vue d'une prospection approfondie, aucune limite n'a été imposée au préalable. La densité des profils examinés et leur répartition sur le terrain ont été déterminés suivant un certain nombre de critères.

- Sous une même série de végétation, les profils ont été examinés si possible sur les quatre types de roches-mères calcaires présentés dans le chapitre précédent.

- Sur chaque type de roche-mère, la prospection a été réalisée sur les matériaux géomorphologiques les plus importants et les plus variés.

- L'ensemble de la séquence, qui fait l'objet de ce travail est une macroséquence. A l'intérieur de celle-ci, les sols ont été examinés sur des portions de séquence à plus grande échelle et ils seront appelés : mésoséquences.

- Avec l'aide de phytosociologues, des associations végétales ont été définies dans les séries de végétation. Les sols ont également été examinés en fonction de celles-ci.

- Dans chaque milieu le nombre maximum de profils a été étudié en vue d'une interprétation statistique des données.

La densité des profils est très variable. Elle est relativement faible et la surface prospectée est grande sous les étages méditerranéens. Elle est par contre élevée en altitude, où sur une surface relativement restreinte coexistent une grande diversité de sols.

Dans ce travail, la dénomination des horizons est celle proposée par la CPCS (1967).

3.2 - LES METHODES D'ANALYSE UTILISEES

Deux sortes d'analyses sont utilisées dans ce travail : celles qui sont relativement rapides, applicables à un grand nombre d'échantillons, ce sont des analyses de séries et celles qui sont plus longues, plus complexes et ne sont utilisables que pour un nombre restreint d'échantillons judicieusement choisis. La séparation densimétrique des fractions organiques, l'extraction fractionnée des composés humiques et l'électrophorèse des acides humiques sont

de ce dernier type. Ce chapitre ne concerne que les méthodes d'analyses de séries. Il sera question ultérieurement de l'étude plus spéciale de la matière organique.

Les méthodes utilisées sont exposées en détail dans ESPIAU et LARGUIER (1967). Ce chapitre en donne qu'un aperçu très rapide. Les analyses ont été réalisées à la section d'analyses de séries du C.E.P.E.*) de Montpellier.

- Les échantillons de sol sont séchés à l'air, puis tamisés mécaniquement à 2 mm ; au préalable, le maximum de cailloux calcaires a été éliminé à la main, afin d'éviter la formation artificielle de calcaire dans la terre fine. Pour les analyses qui exigent un broyage, celui-ci est aussi effectué mécaniquement, jusqu'à obtention de particules inférieures à 200 μ .

- L'analyse granulométrique est faite par la méthode internationale. Les fractions suivantes sont obtenues : 0-2 μ , 2-20 μ , 20-50 μ , 50-100 μ , 100-200 μ , 0,5-1 mm et 1-2 mm. Pour les sols calcaires, la perte au feu est réalisée à 500° C, pendant une heure.

- Le dosage du calcaire total est exécuté de deux manières. Pour certains échantillons, c'est la méthode Bernard qui est utilisée. Dans d'autres cas, les carbonates sont attaqués par HCl au $\frac{1}{2}$; le CO₂ dégagé est capté dans une solution de NaOH, puis dosé par conductimétrie au CARMOGRAPH 8 WOSTHOFF. Chacune de ces méthodes dose aussi bien les calcaires, que les dolomies finement broyées. Ces dernières sont attaquées plus lentement par l'acide, que les calcaires. La fin de l'attaque est réalisée à 50°C. Le dégagement de CO₂ est alors complet.

- Dans ce travail, le calcaire est également dosé sur les fractions granulométriques 0-2 μ et 2-20 μ ; comme précédemment, HCl au $\frac{1}{2}$ est utilisé ; le CO₂ dégagé est dosé à volume constant, par micromanométrie (ESPIAU, 1966).

- le pH(H₂O) est mesuré, après 2 heures de contact, dans une suspension dont la proportion est de 2/5. Pour le pH(KCl), la proportion est identique et le temps de contact est de 12 heures.

- Les bases échangeables sont obtenues par déplacement à l'acétate d'ammonium à pH 7, par agitation et le dosage de Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺ est réalisé soit par photométrie de flamme, soit par absorption atomique.

- La capacité totale d'échange du complexe absorbant est obtenue par déplacement de l'ammonium, par KCl puis par son entraînement à la vapeur et dosage titrimétrique.

- Le dosage du calcaire actif est réalisé par précipitation des ions Ca⁺⁺ à l'oxalate d'ammonium et dosage de C₂O₄H₂ restant.

*) Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques.

- Le carbone organique est déterminé de deux manières. Pour certains échantillons, la méthode ANNE est utilisée. Pour d'autres, il est dosé par oxydation par voie sèche ; le CO_2 dégagé est déterminé à l'appareil CARMHOGRAPHESWOSTHOFF. Le carbone total est brûlé à 1000°C ; le carbone minéral est obtenu par attaque à HCl au $\frac{1}{2}$ et la différence correspond au carbone organique.

- L'azote est déterminé par la méthode KJELDAHL.

- Les acides humiques et les acides fulviques sont extraits au pyrophosphate de sodium 0,1 M. Le dosage est effectué sur les composés humiques totaux, d'une part et les acides humiques, d'autre part. Le carbone des acides fulviques est obtenu par différence. Le carbone est dosé par la méthode ANNE, après dessiccation à 70°C .

- Le fer libre et l'aluminium libre sont extraits simultanément en présence d'hydrosulfite de sodium et de tartrate de sodium. Le dosage de ces deux éléments est réalisé soit par complexométrie, soit par colorimétrie.

- Le fer total et l'aluminium total, sont obtenus par attaque nitroperchlorofluorhydrique. Le fer et l'aluminium sont dosés par absorption atomique ou par complexométrie.

Les analyses ont été échelonnées sur 4 à 5 années réalisées, en même temps que celles d'autres programmes de recherche. Durant cette même époque, certaines méthodes ont été perfectionnées. Pour un certain nombre d'analyses, les résultats ont donc été obtenus par deux méthodes différentes. C'est le cas du calcaire total, des bases échangeables, du carbone organique, du fer et de l'aluminium libres et totaux. Les modifications apportées sont cependant mineures, car les méthodes d'attaque ou d'extraction sont restées inchangées ; seul le dosage a été perfectionné.

Pour la plupart des paramètres, les résultats sont exprimés d'une manière classique, c'est à dire en % de la terre fine séchée à l'air. En ce qui concerne le fer et l'aluminium, les résultats sont exprimés en % de la terre fine minérale décarbonatée, c'est à dire abstraction faite de la matière organique et du calcaire.

DEUXIEME PARTIE

LES SOLS SUR ROCHES-MERES CALCAIRES DURES ET PURES

1. SOLS DE MONTAGNE DEVELOPPES EN L'ABSENCE OU EN PRESENCE D'UNE FAIBLE QUANTITE D'ARGILES DE DECARBONATATION
2. SOLS DE MONTAGNE DEVELOPPES SUR MATERIEL DE REMPLISSAGE KARSTIQUE
3. UNE SEQUENCE DE SOLS DE MONTAGNE SOUMIS A DES INFLUENCES MEDITERRANEENNES : LE CAS DU MONT VENTOUX
4. LES SOLS FERIALLITQUES A RESERVE CALCIQUE DU MIDI DE LA FRANCE
5. ETUDE PLUS APPROFONDIE DE LA MATIERE ORGANIQUE DES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS DEVELOPPES SUR ROCHES-MERES CALCAIRES DURES ET **PURES**
6. EVOLUTION DES MINERAUX ARGILEUX DANS LES SOLS SUR ROCHES-MERES CALCAIRES DURES ET PURES

CHAPITRE I

1 - SOLS DE MONTAGNE DEVELOPPES EN L'ABSENCE OU EN PRESENCE

D'UNE FAIBLE QUANTITE D'ARGILES DE DECARBONATATION

Les sols qui font l'objet de ce chapitre sont des sols de montagne. Ils ont été étudiés aux altitudes les plus élevées de la séquence : sur le Haut Plateau du Vercors, sur les sommets du Mont Ventoux et de la Montagne de Lure. Seuls seront analysés ici, les sols du Haut Plateau du Vercors. Les autres seront examinés ultérieurement, aux chapitres II et III de cette deuxième partie.

Les surfaces auxquelles sont liés les sols étudiés ici sont relativement jeunes. Il s'agit de ce qui a été appelé précédemment karst à tjae sporadique. La karstification est encore peu développée et les argiles de décarbonatation sont encore absentes ou peu abondantes. Ces surfaces ont été abandonnées par les glaciers depuis des temps relativement courts.

Les sols sont examinés sous quatre séries de végétation : la pelouse alpine, la pelouse pseudoalpine, la série du Pin à crochets et la série de l'Epicea. Des relations très étroites entre sols et végétation sont mises en évidence. Quatre types essentiels de sols seront analysés dans ce chapitre :

- En l'absence de végétation : les sols minéraux bruts non climatiques.
- Sous les pelouses alpines et pseudoalpines : les sols litho-calciques humifères à mull-moder.
- Sous les pinèdes à crochets et sous les pessières : les sols litho-calciques humifères à moder.

- Un quatrième type de sol rarement rencontré dans la séquence est le sol litho-calcique humifère à mor ; il a été décrit, sous des conditions plus humides que celles du Vercors méridional, par GILOT et DOMMARGUES (1967) dans le Haut Vercors du Nord, sous une végétation plus acide à Pin à crochets et à Rhododendron ferrugineux et par ZOTTI (1965 a et b) dans les Alpes bavaroises.

1.1 - DEFINITION DES SOLS LITHO-CALCIQUES HUMIFERES

Ces sols sont définis morphologiquement par trois caractères :

- Ce sont des sols lithiques reconnaissables par l'importance de leur squelette calcaire. Celui-ci est en général constitué de cailloux grossiers, rapidement émoussés par la dissolution. Ils reposent sur la roche-mère en place

inaltérée ou fissurée. Mais la karstification est encore peu importante.

- Ces sols sont humifères ; lorsque le volume entre le squelette calcaire n'est pas occupé ou parsemé de quelques débris végétaux peu décomposés, il s'agit de sols minéraux bruts non climatiques du type (A) R. Sous la végétation herbacée des pelouses alpines ou pseudoalpines, les vides sont occupés par un mull-moder. Sous les pessières, les pinèdes, les espèces arbustives ligneuses des pelouses pseudoalpines, les vides sont occupés par un moder ou un mor.

- Enfin, il s'agit de sols peu évolués ; ils sont constitués d'un seul horizon A, qui repose sur la roche R. Il n'y a pas d'horizon (B) ou B ni, ou très rarement, un horizon C, c'est-à-dire des argiles de décarbonatation morphologiquement reconnaissables. La fraction minérale des horizons organiques est elle-même peu abondante.

1.11 - LE SOL LITHO-CALCIQUE HUMIFERE A MULL-MODER

Deux schémas de ce sol sont représentés dans la figure 2 à la lettre C. Le profil des sols litho-calciques à mull-moder est du type A_0/A_1 R ou beaucoup plus rarement A_0/A_1 CR. L'horizon organique A_0/A_1 est appelé mull-moder. Comme le montrera la suite de ce travail, ses caractères sont très particuliers. Morphologiquement, il est proche du moder et par ses propriétés chimiques, il est plus proche du mull.

Comme dans les moders, sa couleur est noire ou rouge-foncé. Son épaisseur varie entre 5 et 40 cm. La couche F est souvent absente et ne dépasse jamais 2 à 3 cm. La structure est particulière, poudreuse à sec ; on ne distingue plus d'élément organisé. A l'état humide, ce type de matière organique est collant. Issue d'une végétation herbacée, souvent paturée, la matière organique est surtout formée à partir du système racinaire très dense des graminées. Elle occupe essentiellement les vides entre les cailloux calcaires. Elle ne s'accumule pas à la surface, et le recouvrement du squelette par l'horizon A_0/A_1 reste incomplet.

1.12 - LE SOL LITHO-CALCIQUE HUMIFERE A MODER *

*) Dans les sols qui seront examinés dans ce travail, l'horizon organique est fréquemment constitué de deux types fondamentaux de matière organique : l'un est représenté par les moders et beaucoup plus rarement par les mors, l'autre par les mulls. Les deux coexistent fréquemment et les premiers recouvrent les seconds. Dans les sols qui nous intéressent, morphologiquement les mulls sont caractérisés par une structure grumeleuse ou polyédrique. La matière organique forme avec les argiles un complexe organo-minéral stable. La fraction densimétrique lourde est importante. Les mulls sont représentés par le signe A_1 . Dans les moders et dans les mors, DUCHAUFOR (1970, pages 153-154) reconnaît un horizon A_0 et un horizon A_1 . Ce dernier se distingue de l'horizon A_1 du mull par les caractères suivants : dans les moders, les agrégats polyédriques ou les grumeaux à consistance peu fragile ou dure sont rares ; la matière organique est mélangée à la fraction minérale par les orthopodes, mais elle ne forme pas un complexe organo-minéral stable avec les argiles. Ceci se traduit par une fraction densimétrique légère plus importante.

D'une manière purement conventionnelle et pour alléger ce texte et les figures, nous représenterons le mull par A_1 et le moder uniquement par A_0 , en sous-entendant bien, que le moder possède, à sa base, un horizon A_1

Ce sol est formé sous forêts d'Epicea et de Pins à crochets et sous les formations arbustives, génératrices d'humus brut, des pelouses pseudoalpines. Il est du type Ao R ou Ao A₁R. Ao est, dans le Vercors du sud, un moder et A₁ a la morphologie du mull. Une représentation schématique de ce sol est donnée à la figure 3.

Le squelette calcaire est identique à celui des sols précédents. Il est constitué par les champs de pierres ou les lapiaz. Les sols litho-calciques à moder se distinguent des précédents par trois caractères.

- D'une part, la matière organique, essentiellement issue de la litière s'accumule à la surface du sol. Les horizons superficiels sont moins caillouteux et le recouvrement des champs de cailloux et des lapiaz par l'horizon Ao est ici complet.

- Par ailleurs, l'horizon organique Ao est du type moder. Les caractères essentiels de ce moder qui le distinguent du mor sont les suivants : Il est relativement peu épais : 2 à 30 cm et dans la majorité des cas de 2 à 7 cm. La structure organisée des débris végétaux est peu reconnaissable. Ce type de matière organique est constitué de débris d'arthropodes, plus ou moins bien mélangés, à une faible proportion de matière minérale.

- Enfin, on note, à la base de l'horizon Ao, l'existence fréquente d'un horizon A₁, dont les caractères morphologiques sont ceux d'un mull très organique. Sa couleur est noire ; sa structure est polyédrique subanguleuse ou grumeleuse fine à moyenne. Elle est parfois exclusivement constituée de tortillons de vers de terre. A l'état sec, la consistance des agrégats est peu friable.

Le troisième type de sol, faisant partie du groupe des sols litho-calciques humifères, celui à mor n'a pas ou rarement, été rencontré sur le Haut-Plateau du Vercors méridional. Il a été décrit, sous des conditions plus humides, par GILOT et DOMMERGUES (1967) et par ZÖTTL (1965 a et b) ; il présente des caractères morphologiques et chimiques, plus accentués que le sol litho-calcaïque à moder. L'horizon organique est plus épais : il peut atteindre 1 m et le recouvrement peut être tel, qu'il n'y a plus de cailloux calcaires dans la moitié supérieure de l'horizon Ao. Celui-ci acquiert alors les caractères chimiques (C/N, S/T) et morphologiques (importance de la couche F) du mor. Il s'agit ici du Tangel de KUBIENA (1953).

1.13 - LE SOL LITHO-CALCIQUE HUMIFERE A XEROMOR OU MODER CALCIQUE

Enfin, à ce groupe appartiennent aussi, les sols litho-calciques humifères à xeromor ou moder calcaïque. Le schéma, donné dans la figure 2, à la lettre B, est suffisant pour illustrer la morphologie de ce sol. L'horizon Ao est réduit à 1 ou 2 cm d'épaisseur. C'est le prolongement, vers des milieux plus secs, de la couche F du sol litho-calcaïque à mull-moder. Elle se forme sous des plantes colonisatrices xérophiles. La structure de ce Ao est fibreuse et on y reconnaît facilement les débris végétaux. C'est un xeromor et il est calcaïque (complexe absorbant saturé).

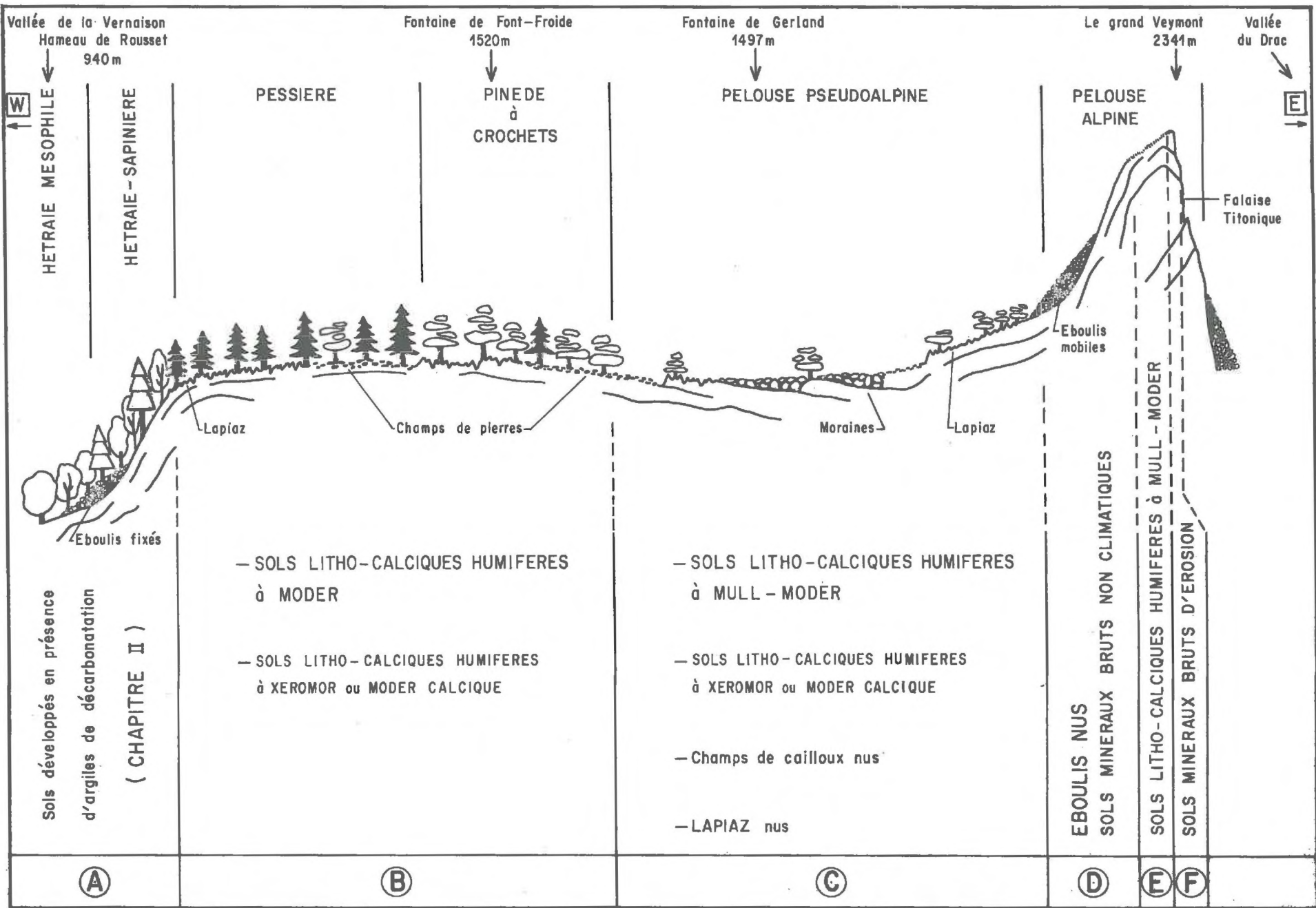


Figure 1 — Coupe E-W à travers le Haut-Plateau du Vercors . Géomorphologie sol , végétation .

La morphologie de ces types de sols a été décrite dans d'autres massifs montagneux calcaires. En plus de ceux cités précédemment, mentionnons aussi les travaux de RICHARD (1961), qui dans le Jura a examiné ces sols dans leurs relations avec la végétation, les travaux de FREI et al. (1966), qui signalent leur présence sur la carte des sols au 1/1 000 000 de la Suisse. Le tableau 1, est un essai comparatif des nomenclatures utilisées par les auteurs. La justification du choix des noms proposés ici sera donnée en conclusion.

1.2 - EVOLUTION DES SOLS : L'EXEMPLE DU HAUT PLATEAU DU VERCORS

L'évolution de ces sols sera étudiée à partir de l'exemple du Haut Plateau du Vercors. Il est illustré par la figure 1. Celle-ci correspond à la coupe E-W à travers le Haut Plateau, au niveau du Grand-Veymont à l'est, qui est le point culminant du massif et le hameau de Rousset à l'ouest, qui est situé dans la vallée de la Vernaison. Il traverse les lieux dit : Font-Froide et Fontaine-de-Gerland. (carte IGN au 1/50 000, feuille de la Chapelle en Vercors).

Le Haut Plateau du Vercors s'étend du nord au sud à travers tout le massif. Comme le montre la coupe, il est limité à l'est par une ligne de crêtes structurales, qui porte les points culminants : Grand Veymont (2341 m) au sud et la Grande Moucherolle (2284 m) au nord. Puis le massif retombe, par la falaise titonique, sur la vallée du Drac. A l'ouest, le Haut Plateau est limité par la vallée de la Vernaison qui sépare le Vercors oriental du Vercors occidental. L'altitude moyenne du plateau se situe aux alentours de 1500 m.

Le relief, par ses surfaces relativement jeunes, est structural, c'est-à-dire qu'il épouse les formes tectoniques. Comme le montre la figure 1, la vallée de la Vernaison correspond à un synclinal, la ligne des crêtes Nord-Sud où se trouve le Grand Veymont est un anticlinal, et les couches qui affleurent sur le Haut Plateau sont à peine inclinées.

Ces calcaires titoniques purs et massifs ont été davantage fracturés que plissés par les mouvements tectoniques. Ils sont entaillés par des fissures profondes qui sont le siège de la karstification initiale. A ces altitudes, celle-ci est récente ; les fissures sont peu élargies et les formes sont jeunes. En profondeur, se sont creusées des galeries béantes, mais peu nombreuses ni complexes. Selon les géomorphologues, la turbulence des cailloux et la glace auraient joué un rôle important dans leur creusement.

La surface est modelée par quatre types de morphologies : les champs de pierres, les lapiaz, les éboulis et les moraines. Elles sont représentées dans la figure 1. Les roches gélives sont enterrées sous les champs de pierres, arrondies par la dissolution. Entre elles ou sur elles, s'accumule la matière organique. Les roches non gélives sont lapiazées, dans le sens de la plus grande pente, par les eaux de ruissellement. Les éboulis accumulés au pied du Grand Veymont sont actifs. Ils sont rafraichis périodiquement. Ceux, qui sont

situés sur les versants de la vallée de la Vernaïson, sont dans certains cas encore fonctionnels. D'autres, par contre, sont fixés et ce sont ces derniers qui sont représentés dans la figure 1. Ils sont couverts de végétation. Enfin les moraines se sont conservées, sur ces plateaux, dans des synclinaux perchés.

Les cartes et les études de la végétation de ce plateau sont dues à GOBERT et al (1963), à FAURE et GILOT (1968) et enfin à RITTER (1969). La figure 1 en donne les grandes lignes. Le sommet du Grand Veymont est occupé par la pelouse alpine. Elle est suivie, à des altitudes plus basses, par la pelouse pseudoalpine. Celle-ci est parsemée de Pins à crochets, qui deviennent de plus en plus denses vers l'ouest, où ils constituent une forêt. La pinède est peu à peu remplacée par la pessière. Elle correspond à la partie ouest du plateau et descend légèrement vers la vallée de la Vernaïson. Sur les pentes de celle-ci, la pessière est remplacée à des altitudes plus basses par la hêtraie-sapinière puis par la hêtraie mésophile.

Les sols, développés sur ce plateau, sont regroupés en trois associations de types de sols.

1.21 - ASSOCIATION DE SOLS OU PREDOMINE LE SOL LITHO-CALCIQUE HUMIFERE A MULL-MODER

La première est celle, où prédominent les sols litho-calciques humifères à mull-moder. Elle est liée aux pelouses alpines et pseudoalpines et dans la figure 1, elle est mentionnée dans les cases correspondant aux lettres C et E. Trois cas sont possibles : la présence de sols litho-calciques à mull-moder, la présence de sols litho-calciques à xéromor ou l'absence de sol, avec affleurement du lapiaz ou des champs de pierres nus. Leur répartition dans les pelouses est déterminée par les conditions géomorphologiques et elle est illustrée par la figure 2.

SUR LAPIAZ

Les stades les moins évolués sont sur lapiaz. Dans le cas général, celui-ci est dépourvu de sol. Le milieu est trop sec, pour permettre l'installation de la pelouse. On note parfois dans les cannelures du lapiaz, l'établissement d'un sol litho-calcique à xéromor, sous forme de coussinets et répondant très bien à la définition des Polsterrendzina de KUBIENA (1953). Sur lapiaz, l'évolution s'arrête à ce stade A₀ E.

SUR CHAMPS DE PIERRES

Sur champs de pierres, elle est plus avancée. La roche-mère, plus ou moins fissurée, est recouverte par une couche de cailloux, épaisse de 20 à 50 cm. Le milieu est suffisamment humide, pour permettre l'installation de la végétation herbacée. C'est là, que se développe le sol litho-calcique humifère à mull-moder (figure 2, C). C'est le cas le plus fréquent, sur les champs de pierres, sous les pelouses alpines et pseudoalpines du Haut Plateau du Vercors.

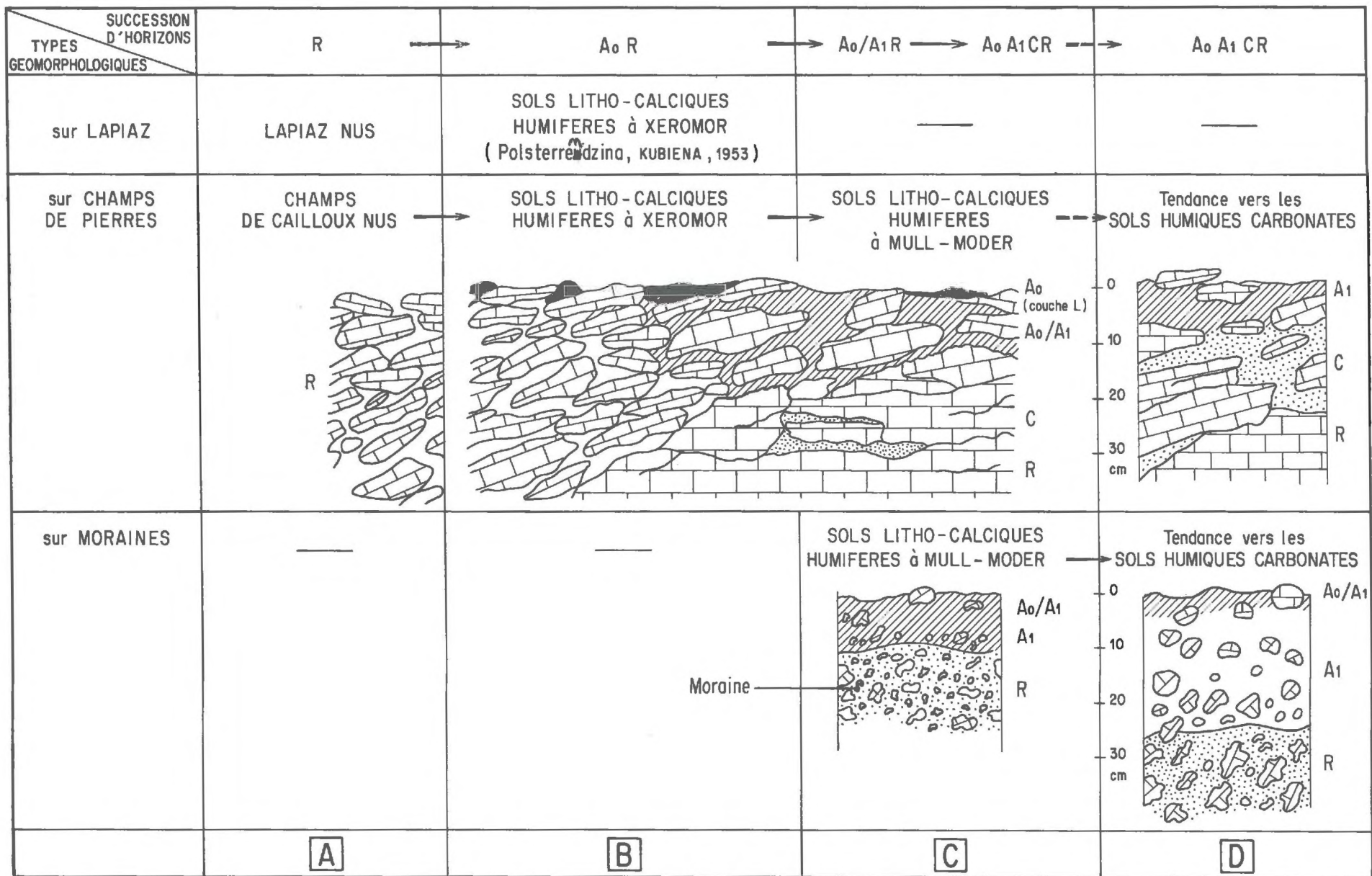


Figure 2 – Evolution de l'association de sols où prédomine le sol litho-calcaïque humifère à mull-moder.

Lorsque les roches sous-jacentes sont davantage fissurées, ou lorsque les champs de pierres recouvrent une faille ou encore, lorsque s'ébauchent des dolines, l'eau s'écoule rapidement en profondeur, le milieu est trop sec et ne permet pas l'établissement de la pelouse. Les champs de pierres sont alors à nu. Ceci est schématisé dans la figure 2 en A. Ces cas sont cependant assez rares, dans le secteur étudié. Entre les cases A et C de la figure 2 se forme le sol litho-calcaïque à xéromor.

Sous ces pelouses, sur champs de cailloux, le stade sol litho-calcaïque à mull-moder n'est dépassé qu'exceptionnellement. En effet, le stade sol humique carbonaté, représenté en D de la figure 2 est déjà un sol à mull, formé en présence d'argiles. Or, sur ces surfaces karstiques très jeunes, celles-ci sont encore absentes ou en quantité trop faible, pour permettre la formation d'un tel type d'humus.

SUR MORAINES

Dans la série des sols où prédomine le sol litho-calcaïque humifère à mull-moder, il reste un troisième type géomorphologique à analyser : les moraines. Elles sont constituées à la fois par des calcaires durs et purs et par des calcaires tendres, marneux, intimement mélangés. Ces derniers se dissolvent plus rapidement et donnent origine à des argiles de décarbonatation. L'évolution des sols est alors plus avancée. Elle est représentée en C et D de la figure 2. Les moraines sont rarement dépourvues de sol et le stade sol litho-calcaïque à xéromor est peu fréquent. C'est également le domaine des sols à mull-moder ; mais les sols humiques carbonatés (à mull) sont aussi observés. Ils seront étudiés plus amplement dans le chapitre suivant. Des lapiaz aux moraines on assiste donc à une évolution de plus en plus avancée des sols.

Dans ces pelouses, les relations entre le sol et la végétation sont étroites ; elles apportent des renseignements d'ordre écologique. A ce sujet, une brève note vient d'être publiée par RITTER et BOTTNER (1971).

C'est à une petite fougère : *Cystopteris filix fragilis*, que correspondent les premiers stades de colonisation des champs de cailloux ou des lapiaz, par la végétation. L'installation de Crassulacées, puis de *Hieracium pilosella* et *Veronica spicata* donne origine au sol litho-calcaïque humifère à xéromor. Sur le sol à mull-moder, se développent trois types de formations végétales :

1°) La pelouse à *Festuca glauca* et *Teucrium montanum*, avec *Anthyllis montana* et parfois *Juniperus communis* ssp. *nana*, *Arctostaphylos uva-ursi* et *Cotoneaster integerrima*.

2°) La pelouse à *Androsace villosa*, *Gentiana angustifolia*, *Globularia cordifolia*, *Thymus serpyllum* et *Helianthemum alpestre*.

3°) La pelouse à *Sesleria coerulea* et *Carex sempervirens*.

Cette dernière correspond à la pelouse alpine du Grand Veymont. Les Phytosociologues, CADEL et al. (1963) et RITTER (1969), ont en effet distingué sur le Haut Plateau du Vercors deux types de pelouses : l'alpine et la pseudoalpine. En ce qui concerne le sol, cette différence n'a pas pu être établie à l'état actuel des connaissances. Dans le domaine prospecté, les surfaces couvertes par les pelouses alpines sont trop restreintes. Elles correspondent au sommet du Grand Veymont. Mentionnons, que sur calcaire, ces pelouses couvrent des surfaces importantes dans le Dévoluy. Dans le cadre de ce travail, ce massif n'a pas été prospecté.

1.22 - ASSOCIATION DE SOLS OU PREDOMINE LE SOL LITHO-CALCIQUE HUMIFERE A MODER

La deuxième association de sols de montagne, développés en absence ou en présence d'une faible quantité d'argiles de décarbonatation, est celle où prédomine le sol litho-calciqye à moder. Elle correspond à la pinède à crochets et à la pessière. Dans la figure 1, elle est représentée en B. L'évolution sur les champs de pierres, les lapiaz et les moraines est à peu près identique. Elle est schématisée dans la figure 3. Ces sols sont essentiellement issus de la litière ; ils recouvrent complètement la roche-mère. Les champs de pierres et les lapiaz sont donc rarement nus. Les sols à xéromor sont également en régression. La plus grande partie des surfaces est couverte de sols à moder.

Sur calcaires compacts, c'est dans ces sols, qu'on note l'apparition des premiers mulls. Ils sont situés sous l'horizon A₀. Ils sont formés à partir des argiles de décarbonatation, dont on trouve ici les premières traces. Dans la dénomination de ces sols du type A₀ A₁ R, deux possibilités se présentent : sol litho-calciqye humifère à moder ou sol humique carbonaté. C'est le premier terme qui convient le mieux, parce que, d'une part, l'horizon A₁ est parfois encore absent ; le sol est alors du type A₀ R ; par ailleurs, le mull est généralement discontinu, comme le montre le schéma de la figure 3. Il convient de retenir la position particulière de ce mull ; elle expliquera ses caractères chimiques : il est situé, sous le moder et il est percolé par les eaux qui en proviennent. Sa position est "en entonnoir" ou en "goulet d'étranglement" ; c'est-à-dire que la quantité d'eau qui le traverse est importante. Elle provient d'une surface plus grande. Souvent, sous l'horizon A₁, on note l'existence de vides, encore dépourvus d'argiles.

Deux types de sous-bois correspondent à ces sols litho-calciqyes à moder (RITTER 1969). L'un est généralement localisé sous les pinèdes à crochets ; il est constitué par *Cotoneaster integerrima*, *Arctostaphylos uva-ursi* et *Juniperus communis* ssp. *nana*. L'autre se trouve plus fréquemment sous la pessière. Il est caractérisé par *Vaccinium myrtillus*, *Melampyrum sylvaticum* et un épais tapis de mousses. Sous-arbrisseaux et mousses sont tous générateurs d'humus brut.

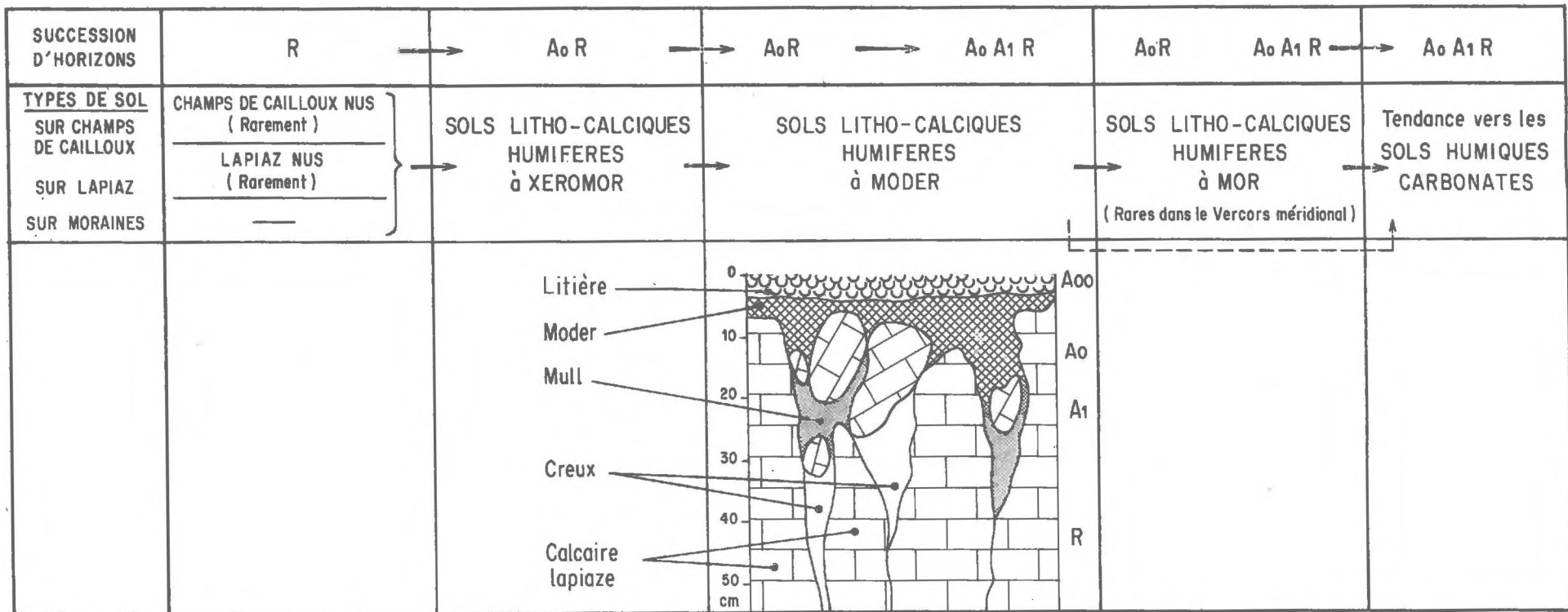


Figure 3 – Evolution de l'association de sols ou prédomine le sol litho-calciqum humifère à moder

SOMMET DE L'ÉBOULIS (ELEMENTS FINS)	MILIEU DE L'ÉBOULIS ELEMENTS MOYENS	BASE DE L'ÉBOULIS ELEMENTS GROSSIERS
Ao/A1 R : Sols litho-calciques humifères à mull-moder (A) R : Sols minéraux bruts R : Eboulis nus	R : Eboulis nus (A) R : Sols minéraux bruts	Ao/A1 R : Sols litho-calciques humifères à mull - moder Ao R : Sols litho-calciques humifères à moder (A) R : Sols minéraux bruts R : Eboulis nus

Figure 4 – Les sols sur éboulis non fixés.

1.23 - ASSOCIATION DES SOLS MINÉRAUX BRUTS

La troisième association de sols est celle, représentée par les sols minéraux bruts. Elle a été étudiée, sur les éboulis mobiles, au pied du Grand Veymont (figure 1, D) et sur la crête de celui-ci, au rebord de la falaise titonique (F). Il s'agit ici de sols non climatiques : des sols minéraux bruts ou, plus rarement, des sols peu évolués. On les trouve sur tous les éboulis non encore fixés, quel que soit l'étage de végétation. Les sols rencontrés sont énumérés dans la figure 4. Il ne s'agit plus ici, de séries évolutives, puisque la roche-mère calcaire est constamment remaniée. Concernant les sols, cette figure mérite quelques explications. Ces éboulis sont constitués par un ensemble de cônes de déjection. Lors de la chute des pierres, s'opère un tri des éléments granulométriques. Les plus grossiers vont à la base ; les plus fins restent au sommet. La végétation colonisatrice s'installe et les sols se développent de préférence à deux niveaux : au sommet et à la base de l'éboulis, entre les deux celui-ci est nu. Au sommet grâce à la granulométrie plus fine, s'installent des sols litho-calciques humifères ou des sols minéraux bruts. L'horizon (A) de ces derniers est constitué de matière organique, non décomposée, accumulée en faible quantité dans les creux, entre les cailloux. C'est une végétation rupicole, qui correspond à ces sommets d'éboulis avec *Sesleria coerulea*, *Gentiana angustifolia*, *Androsace villosa* avec *Avena setacea* et *Bupleurum petraeum* (RITTER 1969). A la base de l'éboulis, les apports de gros blocs sont moins fréquents et la végétation a également tendance à s'installer. Il se forme alors également des sols litho-calciques à moder ou à mull-moder. Le milieu de l'éboulis ne porte généralement pas de sol. La végétation, si elle existe, est très spécifique : *Allium narcissiflorum* et *Heracleum minimum* dans l'éboulis moyen et *Cystopteris fragilis* entre les blocs plus grossiers, non encore recouverts de sols.

1.3 - CARACTÈRES CHIMIQUES DE CES SOLS

Les données bibliographiques concernant les caractères chimiques des sols litho-calciques humifères sont peu nombreuses. L'étude de ces sols a souvent été réalisée, dans un but phytosociologique et les problèmes concernant la pédogénèse ont été abordés plus rarement. C'est l'étude de ces derniers qui fait l'objet de ce paragraphe.

Les caractères chimiques essentiels de ces sols sont regroupés dans les figures 5, 6 et 7. Ils concernent la dynamique des bases, les sesquioxydes et la matière organique.

1.31 - LE CALCAIRE ET LES BASES ÉCHANGEABLES

Les sols litho-calciques humifères sont riches en cailloux calcaires. La taille de ceux-ci est généralement supérieure à 10 cm. Ils sont arrondis par la dissolution et les arêtes formées par la gélifraction sont rapidement émoussées. Ils constituent la réserve calcaire, qui alimente constamment le profil en ions calciques. Ces sols contiennent cependant peu de calcaire dans la terre fine. Les chiffres obtenus ne dépassent pas 5 %.

Les données obtenues à partir de la capacité totale d'échange et de la somme des bases sont représentées dans la figure 5. Celle-ci ne concerne que les sols litho-calciques à moder ; dans les sols à mull-moder, le complexe absorbant est en effet partout saturé. Examinons cette figure.

Dans le moder, le complexe absorbant est toujours désaturé. Le taux de saturation varie entre 80 et 40 %. Il n'existe pas de corrélation entre S et T dans ces horizons. Remarquons, que ces valeurs sont en général plus élevées, que celles données par GILOT et DOMMERMES (1967) ou ZOTTL (1965 a,b).

Dans les horizons A_1 de ces mêmes sols, le taux de saturation est fidèlement réparti autour de la droite, correspondant à $S/T = 100$ %. Pour un effectif de $n = 10$, la corrélation est hautement significative, au seuil de 99,9 %. Un coefficient de corrélation aussi élevé, n'a jamais été observé dans la suite de ce travail.

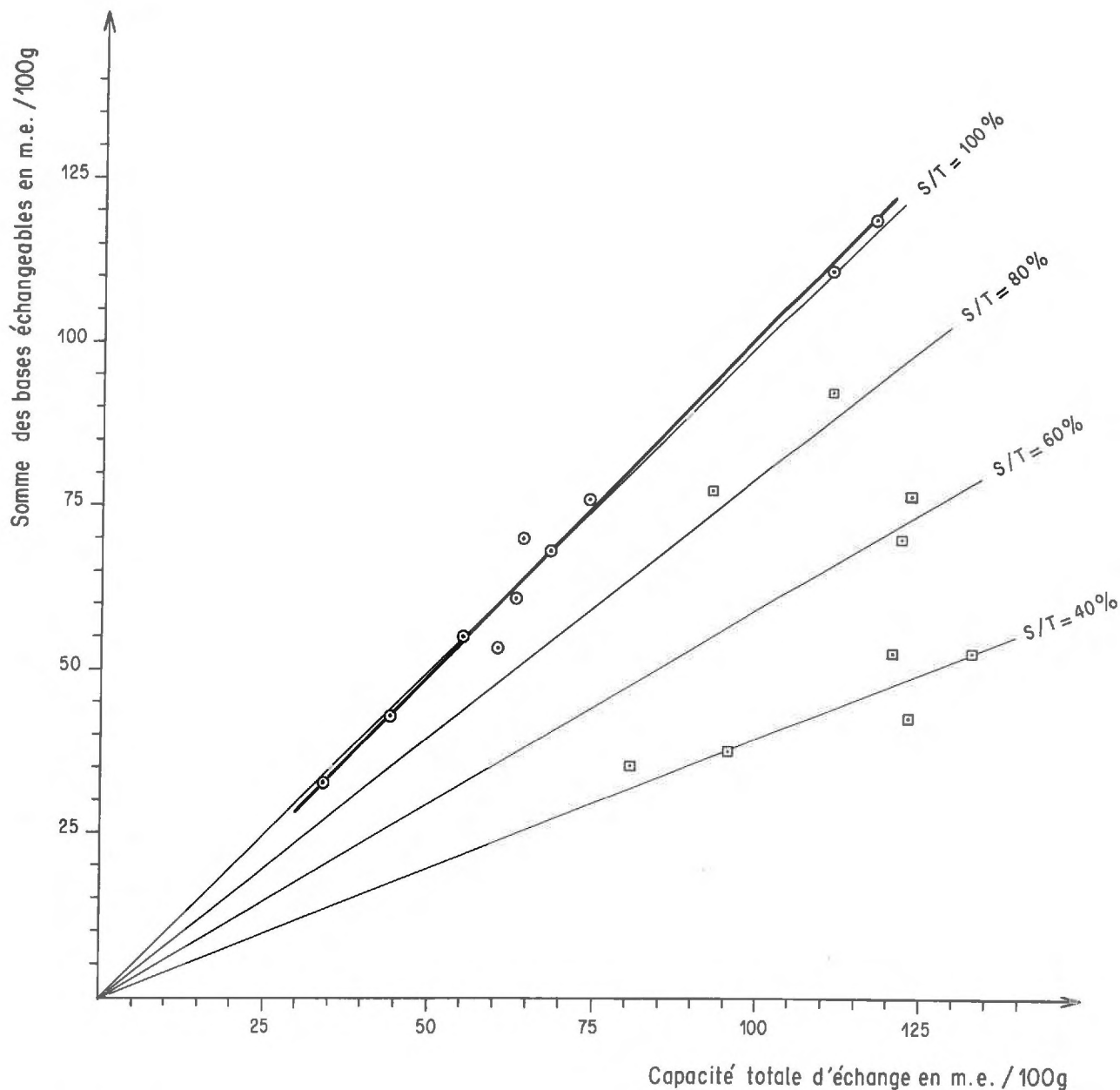
Il est utile, pour interpréter la dynamique des carbonates et des bases, à travers le sol litho-calcique à moder, de se rappeler la morphologie de celui-ci, schématisée dans la figure 3. Les conditions de dissolution du calcaire sont ici optimales pour deux raisons : d'une part, à ces altitudes, les précipitations sont abondantes et les eaux sont souvent froides ; une partie importante est, en effet, issue de la fonte des neiges. Par ailleurs, l'horizon A_0 et la litière sont acides ; ils libèrent des composés organiques solubles agressifs. La dissolution du calcaire est complète dans la terre fine. Elle s'exerce encore activement à la surface du squelette (dissolution pelliculaire). Les horizons A_1 sont soumis à une percolation très importante, due à "l'effet d'entonnoir". Les ions calciques, éliminés du profil, sont constamment renouvelés, par ceux mis en solution à la surface du squelette. Ceci explique la haute corrélation entre S et T au niveau $S/T = 100$ %. Il subsiste cependant à ce sujet un certain nombre d'inconnues. Nous ne connaissons pas la variation saisonnière du taux de saturation de ces mulls. Nous ignorons également le gradient d'agressivité de l'eau de percolation, à travers les horizons A_0 , A_1 et le long des parois karstiques situées plus bas.

Les sols litho-calciques humifères à mull-moder sont toujours saturés dès la surface. A l'analyse, les valeurs de S sont supérieures à celles de T. Ceci vient du fait, que l'acétate d'ammonium, à pH 7, met en solution une certaine quantité d'ions calciques, à partir de la faible quantité de CO_3Ca qui subsiste dans ces horizons.

Examinons les valeurs du pH, d'abord dans les sols à moder :

Sols litho-calciques humifères à moder

Horizons A_0 ,	pH(H_2O)	: moyenne = 5,5	; écart-type = 0,7	; n = 8
	pH(KCl)	: moyenne = 5,2	; écart-type = 0,9	; n = 8
Horizons A_1 ,	pH(H_2O)	: moyenne = 7,2	; écart-type = 0,4	; n = 7
	pH(KCl)	: moyenne = 6,6	; écart-type = 0,3	; n = 7



LEGENDE

SOLS LITHO-CALCIQUES HUMIFERES A MODER	DROITE DE REGRESSION	SIGNIFICATION DU COEFFICIENT DE CORRELATION
HORIZONS A0 □	—	ns n = 9
HORIZONS A1 ○	—	*** n = 10

n : nombre de points utilisés pour le calcul
 ns : non significatif
 *** significatif au seuil de 99,9 %

Figure 5 – Taux de saturation du complexe absorbant dans les sols litho-calciques humifères à moder.

On constate que les horizons A₀ sont nettement acides et que les horizons A₁ ont des valeurs de pH(H₂O) légèrement au-dessus de la neutralité.

Dans les sols litho-calciques à mull-moder, les valeurs de pH sont données pour les horizons A₀/A₁₁ et A₀/A₁₂.

Sols litho-calciques humifères à mull-moder

Horizons A ₀ /A ₁₁	pH(H ₂ O) : moyenne = 6,9 ; écart-type = 0,2 ; n = 11
	pH(KCl) : moyenne = 6,4 ; écart-type = 0,2 ; n = 11
Horizons A ₀ /A ₁₂	pH(H ₂ O) : moyenne = 7,5 ; écart-type = 0,1 ; n = 8
	pH(KCl) : moyenne = 6,9 ; écart-type = 0,1 ; n = 8

On constate que les horizons de surface : les A₀/A₁₁ sont proches de la neutralité. Les A₀/A₁₂ sont par contre déjà plus basiques. Rappelons que ces deux types d'horizons sont tous les deux saturés malgré les conditions bioclimatiques très favorables à l'élimination du calcium.

1.32 - LES SESQUIOXYDES

Le but recherché est d'étudier les modifications que subit le résidu de dissolution, à travers les profils. Dans cette optique, les valeurs concernant le fer, l'aluminium et les argiles ont été exprimées, en % de la terre fine minérale décarbonatée : c'est-à-dire que nous avons soustrait de la terre fine, la perte au feu (500°C pour les sols carbonatés) et le calcaire total. Les résultats obtenus, concernant l'aluminium et le fer sont donnés dans les figures 6 et 7. Celles-ci expriment soit les indices d'entraînement, soit les rapports Al libre/Al total et Fe libre/Fe total. Les indices sont obtenus de la manière suivante : les valeurs du fer ou de l'aluminium des horizons de surface (A₀/A₁₁) sont à l'abscisse, celles des horizons profonds (A₀/A₁₂ ou A₀/A₁₃) à l'ordonnée. La bissectrice correspond à l'indice d'entraînement = 1,0. Dans les profils, dont les points sont à gauche de la bissectrice, le fer et l'aluminium ne sont pas entraînés ; dans ceux par contre, dont les points sont à sa droite, le fer et l'aluminium sont entraînés. Cette zone est alors divisée en indices 1,0 à 1,2, 1,2 à 1,4 etc...

A travers les horizons des sols litho-calciques à mull moder, l'aluminium total reste invariable et les points de la figure 6, B sont fidèlement regroupés autour de la bissectrice. L'aluminium libre est par contre en général plus important dans les horizons de surface, que dans les horizons profonds (figure 6, A). Ceci est également vérifié, par les rapports aluminium libre/aluminium total ; dans les horizons de surface, ils sont supérieurs ou égaux à 10 % et dans les horizons profonds, ils sont en général inférieurs. Dans ces sols très organiques, il est difficile de faire des analyses granulométriques. Cependant, les résultats concernant l'aluminium total permettent de penser que les argiles ne sont pas entraînées dans ces sols, mais qu'elles sont plus altérées en surface, qu'en profondeur, et que l'aluminium libéré n'a pas encore migré.

Le comportement est différent dans les sols à moder. On constate un léger entraînement d'aluminium libre des horizons A_1 supérieurs, vers les A_1 profonds (figure 6, B). Par ailleurs, le rapport Al libre/Al total est égal ou supérieur à 10 % dans tous les horizons. Ces sols sont plus évolués que les précédents.

Les données concernant le fer sont représentées dans la figure 7. Dans les deux types de sols et quels que soient les horizons, les rapports fer libre / fer total (figure 7, C) sont très élevés ; ils sont échelonnés entre 60 et 100 % et en général, entre 80 et 100 %. Ce sont les valeurs les plus fortes observées dans la séquence. On ne note pas de variation du rapport, à travers les profils. Dans les sols litho-calciques à mull-moder, à l'inverse de l'aluminium, on constate ici un entraînement du fer. Ceci se manifeste autant pour le fer libre (7,A), que pour le fer total (7,B).

Les chiffres obtenus pour le fer, dans les sols litho-calciques à moder, ont un certain intérêt. On constate, qu'ils sont particulièrement faibles, autant pour le fer libre que pour le fer total (figure 7 A, B, C). Ces valeurs sont trop faibles, pour permettre une interprétation des indices d'entraînement. Tout se passe, comme si le fer était éliminé du sol. L'interprétation en est la suivante, elle sera explicitée plus amplement dans un chapitre ultérieur : le fer est entraîné hors du profil, vers le karst profond sous forme de complexes solubles avec la matière organique, issue de l'horizon A_0 . Ceci expliquerait un caractère morphologique fréquemment observé. Dans les horizons A_0 et A_1 des sols litho-calciques à moder, les cailloux calcaires et les parois du lapiaz ont une couleur grise lithochrome. Plus bas au delà du profil, les parois, encore dépourvues d'argiles de décarbonatation, sont recouvertes d'une faible pellicule ocre ; il s'agit probablement de dépôts de fer et d'argiles, ils sont entraînés par des eaux, qui ruissellent le long de la fissure.

En définitive, l'examen des figures concernant les sesquioxydes a permis de mettre en évidence un certain nombre de faits :

- Le comportement des sesquioxydes est différent dans les sols litho-calciques à mull-moder que dans les sols à moder. Dans les premiers, l'aluminium libéré n'a pas migré ; dans les seconds, les deux éléments aluminium et fer libre sont entraînés.

- Le fer est, dans le résidu de décarbonatation, sous une forme facilement mobilisable. En effet, les rapports fer libre/fer total sont élevés dans les deux types de sols.

- Les résultats montrent aussi, que les composés du fer sont, dans ces sols, entraînés avant l'aluminium libre. Ceci est vérifié dans la plupart des profils de sols litho-calciques à mull-moder. De même, dans les sols à moder, le fer, dans son parcours à travers les horizons dont le complexe est saturé, est mobile plus longtemps que l'aluminium. En effet, l'appauvrissement des sols litho-calciques à moder est significatif pour le fer libre et total, mais non pour l'aluminium. Ce dernier s'accumule à la base des horizons A_1 calciques.

SOLS LITHO-CALCIQUES HUMIFERES A MULL-MODER

SOLS LITHO-CALCIQUES HUMIFERES A MODER

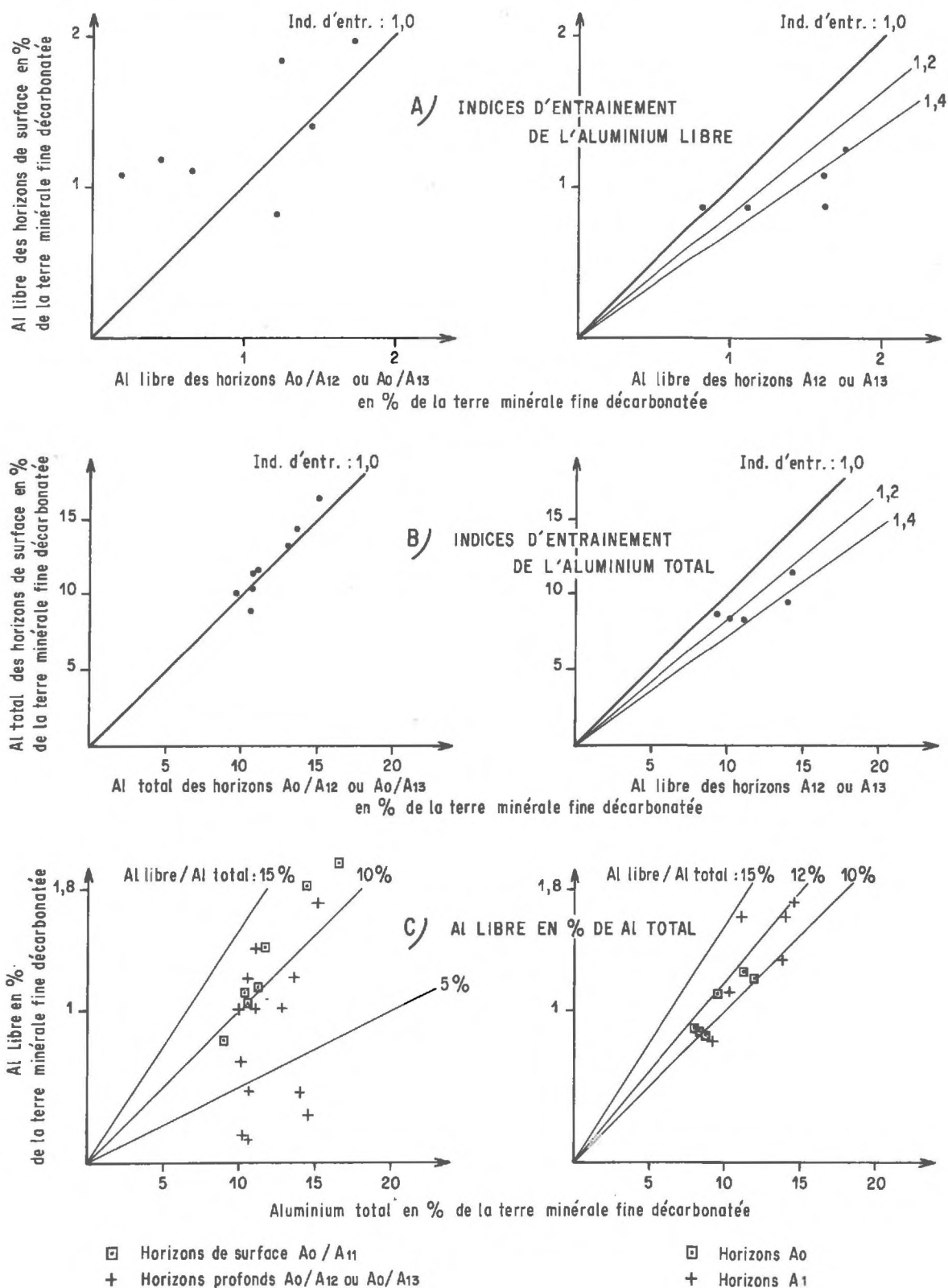


Figure 6 - Indices d'entraînement de l'aluminium total, de Al libre et rapport Al libre / Al total dans les sols litho-calcaïques humifères.

SOLS LITHO-CALCIQUES HUMIFERES A MULL - MODER

SOLS LITHO-CALCIQUES HUMIFERES A MODER

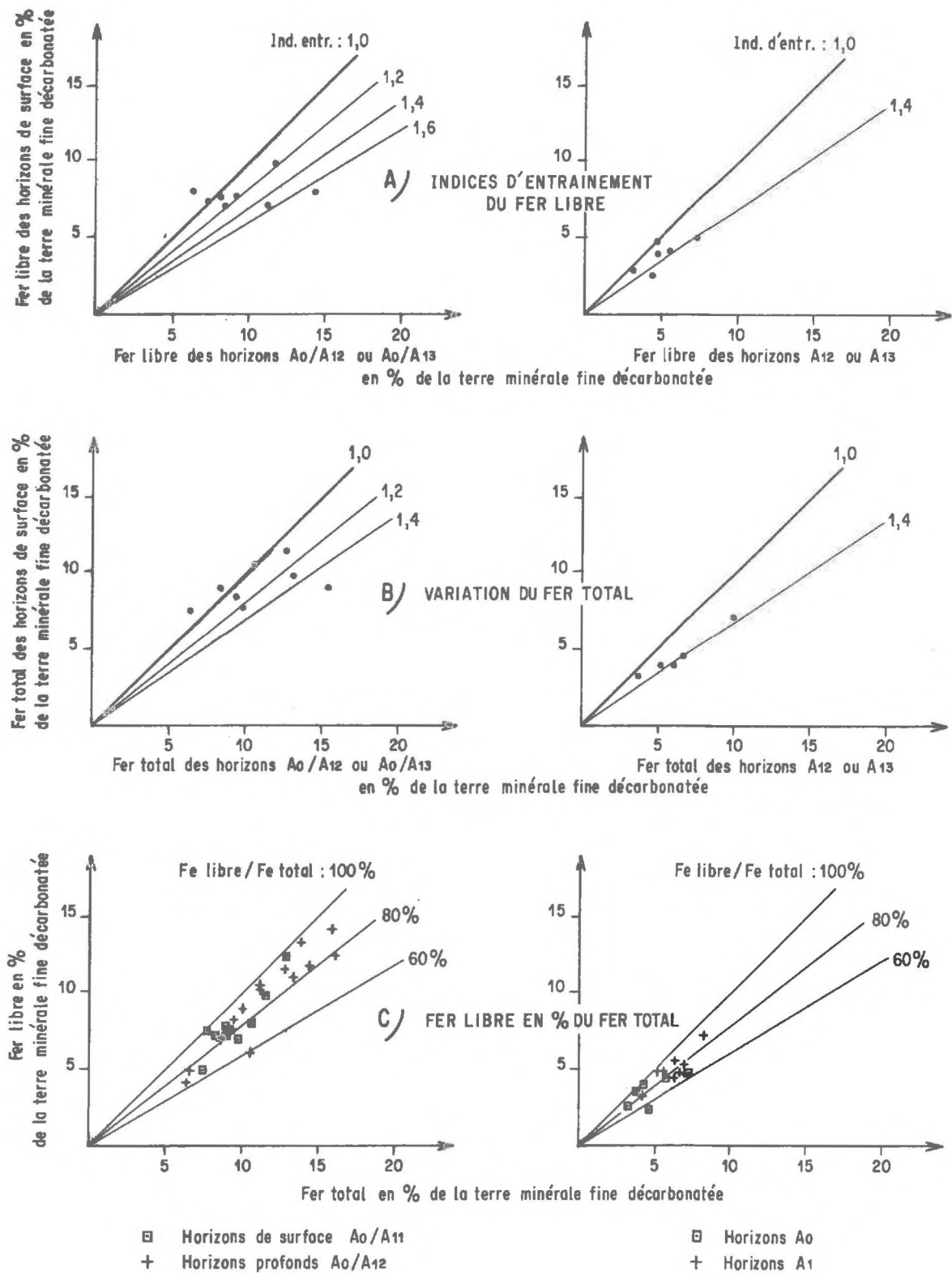


Figure 7 - Variation du fer total, indices d'entraînement du fer libre et rapports fer libre / fer total dans les sols litho-calciques humifères.

L'analyse du comportement des sesquioxides à travers ces sols devient intéressante, lorsqu'elle est comparée à celui des rankers cryptopodzoliques sur roches siliceuses, étudiés par CARBIENER (1963), par DUCHAUFOR et SOUCHIER (1968) dans les Vosges et par LOSSAINT et al. (1969), dans les Cévennes. Dans ces sols, ces auteurs ont mis en évidence une migration plus importante pour l'aluminium libre, que pour le fer. L'aluminium est là libéré et entraîné avant le fer. Comme il a été montré précédemment, il est fort possible, que le fer soit dans ces calcaires compacts dans un état facilement mobilisable, dès la décarbonatation de la roche-mère. En effet, aux rayons X, le pic correspondant au fer cristallisé est souvent faible ou inexistant dans le résidu de ces calcaires durs.

1.33 - LA MATIERE ORGANIQUE

Les valeurs caractéristiques concernant la matière organique sont représentées dans la figure 8. Elles sont toutes exprimées en fonction de la profondeur et les horizons A₀ et A₁ des sols litho-calcaiques à moder ont été représentés par des signes différents. Le carbone total est exprimé en % de la terre fine séchée à l'air. Le rapport acides humiques/acides fulviques est ici remplacé par : acides humiques en % de acides humiques + acides fulviques. Le taux d'extraction = carbone de ac. humiques + ac. fulviques en % de C organique total.

L'horizon A₀ des sols litho-calcaiques à moder n'a pas de caractères très particuliers. Par son C/N (figure 8, B) de 20 à 25, il est classé par DUCHAUFOR (1970, pages 154-155) dans les moders et non dans les mors. Il en était de même, en ce qui concerne les valeurs de S/T. Rappelons que, par leurs caractères morphologiques, ces types d'humus sont également plus proches des moders que des mors. Le très faible taux d'extraction est dû à la présence d'une forte proportion de matière organique fraîche, non décomposée (elle correspond à ce, qui sera appelé ultérieurement : la fraction densimétrique légère).

Il convient de retenir les caractères particuliers du mull des A₁, dans les sols litho-calcaiques à moder. Morphologiquement, ils se présentent comme des mulls très typiques, très bien structurés et, dans beaucoup de cas, constitués uniquement de tortillons de vers de terre. Par leurs caractères chimiques, ils sont cependant particuliers. Ils contiennent beaucoup de matière organique : de 7 à 23 % de carbone organique (figure 8, A) ; leur C/N (8,B) est encore élevé : de 15 à 20 et proche de celui des moders qui les surmontent. Ces mulls résultent d'une assimilation par les lombricidés, de particules organiques de la base du moder, mélangées à une quantité rarement importante d'argiles de décarbonatation. Ils sont aussi percolés par des composés organiques solubles, provenant du moder. Une étude plus détaillée de ce type de matière organique sera faite ultérieurement.

Le profil organique (8,A) des sols litho-calcaiques à mull-moder est identique à celui des sols précédents, en ce qui concerne les horizons profonds. En surface, il est moins incurvé. Ces mulls-moders sont cependant encore riches en matière organique (10 à 20 % de carbone).

Un caractère original de ces types d'humus réside dans les valeurs particulièrement basses de leur C/N (8,B). Celles-ci sont échelonnées entre 7,5 et 11. Ce sont les chiffres les plus faibles, obtenus dans cette séquence. Des valeurs de cet ordre sont citées, pour des sols tout à fait différents et sous des conditions écologiques presque opposées à celles de ces pelouses : les sols isohumiques des steppes d'Afrique du Nord, par exemple. Dans ce travail, cette observation ne sera pas expliquée, d'une manière définitive. L'absence d'argile ou sa présence en quantité insuffisante, jouent probablement un rôle. Elle a un effet protecteur sur les composés humiques, vis-à-vis de la biodégradation. Dans ces très vieilles pelouses, la végétation herbacée active aussi la décomposition de la matière fraîche, par son effet rhizosphère.

Les valeurs, concernant le pourcentage des acides humiques, par rapport aux acides humiques + acides fulviques (8,C), sont particulièrement dispersées, surtout dans les mulls-moders (Ao/A₁) et dans les moders (Ao). Ce sera le cas général, à travers la plupart des sols étudiés. Cependant, il convient de remarquer ici, une tendance à l'augmentation de la proportion des acides fulviques, dans les horizons profonds. Ceci est vrai pour les mulls-moders : le rapport ac. humiques en % de ac. humiques + ac. fulviques diminue. Cette variation, à travers les profils, sera aussi souvent observée, pour d'autres types de sols, mais avec plus de netteté qu'ici. Elle sera interprétée, comme une illuviation de composés organiques mobiles, à poids moléculaire faible, qui se fixent dans les milieux plus calciques des horizons profonds, sous une forme peu polymérisée du type acides fulviques ou acides humiques bruns.

À travers les sols litho-calciques à moder, la variation du rapport acides humiques/acides fulviques semble moins accentuée. La proportion des acides humiques reste élevée, dans les horizons profonds. Dans ces milieux, non saturés en calcium, les composés mobiles sont éliminés au delà du profil. Toutes ces observations seront expliquées davantage, dans un chapitre ultérieur.

1.4 - CONCLUSION

Les points essentiels dégagés dans ce chapitre sont de trois ordres :

- Le premier concerne la systématique des sols. Parmi les sols de montagne, formés sur calcaires compacts, en absence d'argiles de décarbonatation ou en présence d'une faible quantité, quatre types sont à distinguer :

- * les sols minéraux bruts non climatiques
- * les sols litho-calciques humifères : à xéromor ou moder calcique
à mull-moder
à moder ou à mor

Le premier groupe appartient à la classe des sols minéraux bruts, le second à la classe des sols peu évolués. Ces sols sont, en montagne, répartis en mosaïque et pour la cartographie, il convient de prévoir les trois associations de sols, présentés dans ce chapitre :

- * la série où prédomine le sol litho-calcique humifère à mull-moder.
- * la série où prédomine le sol litho-calcique humifère à moder ou à mor.
- * la série où prédominent les sols minéraux bruts non climatiques.

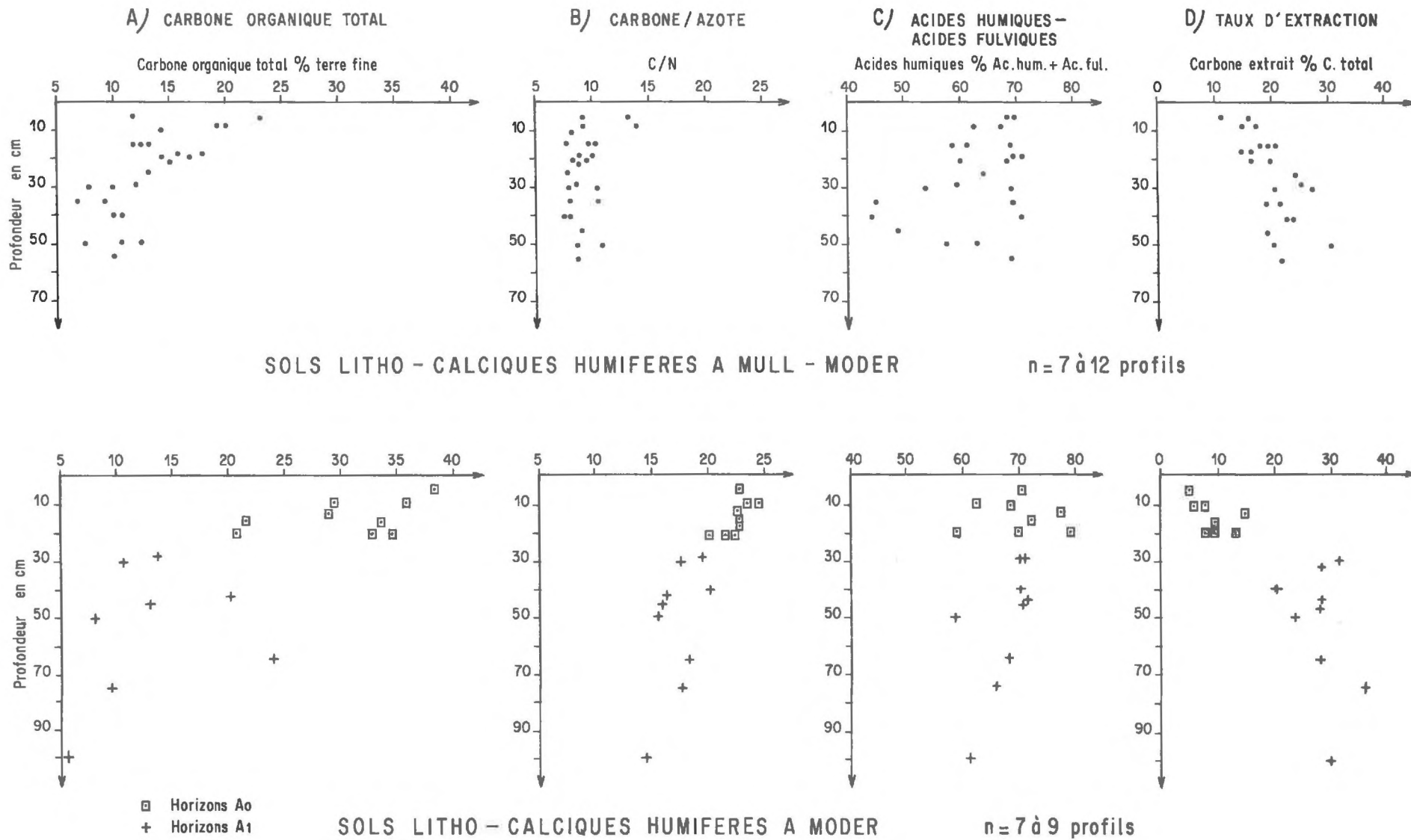


Figure 8 - Valeurs caractéristiques concernant la matière organique des sols litho-calciques humifères.

Il faut aussi, à partir du tableau 1 page 50, justifier la terminologie utilisée ici. Nous avons adopté celle, proposée par la C.P.C.S (1967). En effet, il s'agit ici de sols très squelettiques, à un seul horizon, formés encore en absence ou en présence d'une faible quantité d'argiles de décarbonatation : ce sont des sols lithiques. Ils sont aussi décarbonatés. Mis à part les horizons A₀ : moders et mors, leur complexe absorbant reste saturé : ils sont donc calciques. Ce sont également des sols humifères.

- Un autre domaine abordé ici, concerne les relations sol-végétation. Elles sont très étroites, dans ces pelouses et ces forêts d'altitude. L'illustration en a déjà été faite, par les phytosociologues, en particulier par les auteurs suisses et d'autres, cités dans ce chapitre. Aux sols minéraux bruts, non climatiques, correspond un type de végétation tout à fait spécialisé et lié aux éboulis. Les sols litho-calciques, à xéromor ou moder calcique, se forment à partir de plantes colonisatrices, plus ou moins xérophiiles. Les sols litho-calciques à mull-moder sont en équilibre avec les pelouses alpines et pseudoalpines ; l'ensemble constitue sur ces calcaires durs un climax. Enfin, les sols litho-calciques à moder ou à mor se forment sous forêts ou, dans les pelouses, sous des arbustes générateurs d'humus brut : tels que *Arctostaphylos uva-ursi* ou *Cotoneaster integerrima*.

Toujours dans le domaine de l'écologie, il a été montré que sur le Haut Plateau de Vercors méridional, les horizons A₀ étaient moins épais, que ceux décrits plus au nord. Au sud, les mors sont moins fréquents qu'au nord. La région étudiée subit en effet déjà des influences méditerranéennes. Cela a été démontré, par la phytosociologie. La forêt d'Epicéa est à ses stations les plus méridionales. Il en est de même du Rhododendron ferrugineux.

- Enfin, le troisième domaine, abordé dans ce chapitre, concerne la pédogénèse. C'est ici, que la contribution de ce travail est la plus originale.

Sur le plan de l'évolution, il est important de constater l'absence pratiquement complète de sols à mull, dans les pelouses alpines et pseudoalpines, sur calcaires compacts. Dans ces karsts très jeunes, les argiles de décarbonatation et le mull se forment sur des calcaires plus tendres. L'altération de cet autre type de roche-mère, à ces altitudes, sera abordée, dans la troisième partie de ce travail. Sur les calcaires compacts, les sols litho-calciques évoluent très lentement. L'accumulation d'argiles est trop faible ; elle ne permet pas la formation de sols humiques carbonatés.

En ce qui concerne les mécanismes de la pédogénèse, il convient d'abord de retenir le mouvement des bases à travers les sols litho-calciques humifères. Dans ceux à mull-moder, la décarbonatation est active. Dans la terre fine, se trouve en effet peu de calcaire. Mais par leur abondant squelette, ces sols présentent de grandes surfaces de dissolution dès l'horizon A₀/A₁₁. Le complexe absorbant est, de ce fait, saturé à travers tout le sol. Lors de l'extraction des bases échangeables, l'acétate d'ammonium dissout des ions calciques à partir de la faible quantité de CO₃Ca qui subsiste dans la terre fine et les valeurs de S obtenues sont supérieures à celles de T.

AUTEURS SOLS ET SUCCESSION D'HORIZONS	SOLS MINÉRAUX BRUTS NON CLIMATIQUES (A) E	SOLS LITHO-CALCIQUES HUMIFÈRES			
		A XEROMOR ou MODER CALCIQUE Ao E	A FULL-MODER Ao/A ₁ E	A MODER Ao E	A MOR AoA ₁ R
RACH (1950)			KARBONATROHBODEN		
LEUTNERGER (1950)		HUMUSKARBONATRODEN			
KUNIFNA (1953) MUCKENHAUSEN (1962) ZÖTTL (1965a, , 1966)	KALK SYROSEM	POLSTERENDZINA		TANGELRENDZINA	DYSTROPHE TANGELRENDZINA
RICHARD (1961) GILOT et DOMERGUES (1967)					LITHOSOL CALCAIRE A MOR
DUCHAUFOR et BARTOLI (1966)		LITHOSOL A XEROMODER		LITHOSOL A HUMUS BRUT	
FREI et al. (1966)					MORENDZINA
C. P. C. S. (1967)	SOLS MINÉRAUX BRUTS NON CLIMATIQUES	SOLS HUMIFÈRES LITHO-CALCIQUES			

101

TABLEAU 1 - Essai de comparaison des nomenclatures utilisées concernant les sols formés en l'absence ou en présence d'une faible quantité d'argiles de décarbonatation.

Dans les sols litho-calciques à moder, sous les résineux et au contact du A₀, la décarbonatation est probablement encore plus favorable. Dans le moder, le complexe absorbant reste désaturé ; dans le mull, il existe entre S et T une corrélation très significative, quelle que soit la valeur de T. Les points sont en effet fidèlement regroupés autour de la droite, correspondant à S/T = 100 %. Dans ces sols, la dissolution des carbonates est complète dans la terre fine. Elle s'exerce activement à la surface du squelette et maintient en A₁ le complexe constamment à l'état saturé.

Il convient aussi de remarquer la forme relativement mobile du fer dans ces sols, pourtant saturés. Il migre plus loin et avant l'aluminium. Dans des sols, formés sous des conditions comparables sur terrains siliceux : les rankers cryptopodzoliques, c'est l'aluminium qui migre avant le fer. Sur calcaire, il s'agit probablement, de fer facilement mobilisable, dès la dissolution des carbonates.

L'appauvrissement des sols litho-calciques à moder, en fer et peut-être aussi en composés humiques mobiles, est également à mettre en relief. Il est dû, à une combinaison de facteurs, particulièrement favorables : les fortes précipitations, l'existence d'une litière acide et d'un humus brut, qui surmonte l'horizon A₁ et enfin, la position particulière, " en entonnoir", de cet horizon.

La matière organique de ces sols sera étudiée ultérieurement, avec des méthodes plus spécifiques ; mais il convient de retenir deux observations : d'une part, les caractères originaux des mulls, situés sous les moders et d'autre part, les valeurs de C/N particulièrement basses dans les mulls-moders.

Concernant les sols étudiés ici, certains problèmes n'ont pas été abordés. Il conviendrait d'approfondir l'étude de l'activité microbiologique dans ces sols, dont les premières données sont dues à ZOTTL (1965 a et b) et à GILOT et DOMMARGUES (1967). Nous ignorons aussi à peu près tout en ce qui concerne le gradient de la dissolution des carbonates à travers ces sols ; de même, en ce qui concerne la variation saisonnière de l'état du complexe absorbant. Enfin, la nature des oxydes de fer dans le résidu de dissolution est également inconnue. Celle des minéraux argileux sera examinée plus loin.

CHAPITRE II

2 - SOLS DE MONTAGNE DEVELOPPES
SUR MATERIEL DE REMPLISSAGE KARSTIQUE

Comme les précédents, les sols examinés ici sont des sols de montagne. Ils correspondent, sur le plan phytogéographique, à la partie inférieure de l'étage subalpin et à l'étage montagnard. Les conditions, sous lesquelles ils se développent, se distinguent des précédentes par trois caractères fondamentaux :

- D'une part, ces sols se trouvent à des altitudes plus basses. Dans le Vercors, ils ont été rencontrés à moins de 1400-1500 m d'altitude. Dans la subdivision des étages de la végétation de OZENDA (1966), ils correspondent à une partie de la série subalpine de l'Epicea, à la série de la hêtraie-sapinière et à la série mésophile du Hêtre. Ces deux dernières sont dans l'étage montagnard ; la première est à la base du subalpin. Comme les précédents, les sols étudiés dans ce chapitre, ont uniquement été prospectés dans le Vercors. Ces mêmes séries se retrouvent au Mont Ventoux et à la Montagne de Lure (voir carte 3 page 12). Les sols examinés dans ces massifs feront l'objet du chapitre suivant. Dans les étages de végétation du Vercors, dont il est question ici, il existe deux stations climatologiques : celle de Lente et celle de Villard-de-Lans. Les deux correspondent à la série de la hêtraie-sapinière. Seules les précipitations sont enregistrées. Les moyennes mensuelles et annuelles de la période 1956-1965 sont données dans le tableau 2. les valeurs sont élevées et le creux estival est peu marqué.

TABLEAU 2

LA REPARTITION MENSUELLE DES PRECIPITATIONS DANS DEUX STATIONS DU VERCORS
STATION DELENTE (d'après l'E.D.F. ; Période 1956 - 1965)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
P	76	85	140	158	115	122	84	144	139	138	127	135	1438

STATION DE VILLARD-DE-LANS (d'après l'E.D.F. ; Période 1956 - 1965)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
P	92	97	105	106	94	103	90	107	119	134	96	135	1282

P = Précipitations moyennes mensuelles et annuelles.

Sur la carte 2 de la page 9 ces valeurs sont représentées sous forme de graphique.

- Par ailleurs, ces sols sont sur des surfaces karstiques plus évoluées. Dans les pelouses alpines et pseudoalpines, seul le karst superficiel était affecté par la dissolution. Le karst médian était très réduit. Aux altitudes plus basses, les formes géomorphologiques superficielles sont semblables à celles qui ont été décrites sur le Haut Plateau : les lapiaz subsistent, on les retrouvera d'ailleurs jusque dans les karsts méditerranéens, où ils sont considérés comme des formes fossiles. Il en est de même des champs de pierres; ils sont aussi importants que dans les pelouses d'altitude. Les éboulis, accumulés à la base des falaises calcaires, sont ici fixés par la végétation. Ce sont généralement aussi des formes fossiles. Enfin, les moraines calcaires subsistent encore sur le rebord du Haut Plateau du Vercors ; mais elles n'existent plus dans le Vercors occidental. Les formes superficielles du karst sont donc comparables, à celles décrites dans le chapitre précédent.

L'évolution plus importante du karst, à ces altitudes plus basses, se manifeste essentiellement par le développement des niveaux médians. Les fissures de ceux-ci, rares sur les surfaces karstiques du Haut Plateau du Vercors, sont ici plus nombreuses et élargies par la corrosion. Ce développement va croissant, de la pessière à la hêtraie mésophile. C'est sur ces surfaces de moyenne altitude, qu'apparaissent des dolines, qui sont le reflet du creusement du karst médian et souterrain. La surface peu évoluée du Haut Vercors est, selon CORBEL (1956), très jeune, formée depuis le retrait du glacier würmien, qui couvrait le plateau. Les formes plus évoluées de basses altitudes sont plus anciennes et déjà polygéniques, peut être rissiennes, selon CORBEL (1956).

- Enfin, il y a un troisième caractère, qui différencie les milieux examinés ici, de ceux analysés au chapitre I ; il est important sur le plan de la pédogénèse. On assiste à l'accumulation, à la surface du karst et dans les fissures, de matériel que nous appellerons matériel de remplissage karstique. Il constitue la roche-mère des sols. Dans les sols litho-calcaïques, les profils étaient du type Aok ou A₀/A₁R ; l'horizon A₁ n'était jamais très important, il était toujours discontinu. La présence de matériel de remplissage karstique et en particulier d'argiles permet le développement des horizons A₁, à mull et la formation d'horizons (B).

C'est par l'étude du matériel de remplissage karstique en montagne, que nous abordons ce chapitre. Il est constitué de quatre parties. La première concerne l'examen du matériel de remplissage ; la deuxième est consacrée à l'organisation morphologique des profils, dans la troisième partie, sont exposés quelques problèmes de nomenclature, enfin la quatrième partie, la plus longue, est consacrée aux caractères chimiques de ces sols.

2.1 - LE MATERIEL DE REMPLISSAGE KARSTIQUE EN MONTAGNE :

LA ROCHE-MÈRE DES SOLS

2.11 - LA LOCALISATION DU MATERIEL DE REMPLISSAGE KARSTIQUE

Ce matériel se trouve à trois niveaux distincts. Il remplit en premier lieu les fissures des niveaux médians. Celles-ci sont en effet rarement restées vides. De l'avis des spéléologues, ce matériel encombre aussi partiellement les cavernes et les grottes du karst souterrain. Enfin, il couvre la

surface des massifs calcaires où il constitue la roche-mère du sol actuel. Il n'est alors jamais très épais.

Sur le plan de la pédogénèse, il faut retenir, que la profondeur des sols est très variable, suivant la présence ou l'absence de fissures. C'est un caractère général des sols sur karsts et nous le retrouverons dans les karsts méditerranéens. Il convient aussi de retenir que ces sols, tout en étant parfois plus profonds, restent cependant aussi caillouteux, que ceux des surfaces moins évoluées. Le squelette est de la même nature que dans les sols litho-calcaïques. Il s'agit de lapiaz, de cailloux grossiers plus ou moins émoussés dans les champs de pierres ou de cailloux plus fins, dans les éboulis fixés. Ceci est important, puisque ce squelette constitue la réserve calcaire, à partir de laquelle les ions calcaïques éliminés du profil sont constamment renouvelés.

2.12 - LA NATURE DU MATERIEL DE REMPLISSAGE KARSTIQUE

Il faut distinguer deux types de matériaux : un matériel encore calcaire dans la fraction inférieure à 2 mm et un matériel décarbonaté encore appelé "terra fusca".

LE MATERIEL CARBONATE :

Celui-ci est encore très fréquent dans le Vercors, ainsi qu'au Mont Ventoux. Sa présence est par contre plus rarement observée dans les karsts méditerranéens. Dans ce matériel, le squelette est souvent abondant et formé de cailloux calcaires, restés anguleux en profondeur et plus ou moins émoussés en surface.

La fraction inférieure à 2 mm est calcaire ; la figure 9 donne la teneur en CO_3Ca de quelques échantillons et sa répartition dans les fractions granulométriques. Les résultats sont exprimés sous forme cumulative. L'examen de cette figure permet de conclure, que la proportion des carbonates dans la terre fine est variable, mais elle est généralement inférieure, à celle qui se trouve dans la terre fine des moraines. Par ailleurs, le calcaire se trouve essentiellement dans les fractions granulométriques grossières, supérieures à 20 μ . Les argiles et les limons ne contiennent pas ou peu de CO_3Ca .

Ce matériel carbonaté de remplissage karstique, qui est fréquent en montagne, est probablement d'origine glaciaire ou périglaciaire, il a été piégé dans les fissures du karst médian et il est trop jeune, pour avoir été soumis à une décarbonatation complète.

LE MATERIEL DECARBONATE

Celui-ci a été fréquemment signalé en montagne et à des altitudes plus basses en Europe Centrale. Ce sont des argiles de décarbonatation, encore appelées : "terra fusca" ou Kalksteinbraunlehm". Ce matériel a été analysé, d'une manière très approfondie, surtout par les chercheurs allemands. Sur le plan micromorphologique, KUBIENA (1945) le distingue des "terra rossa", en particulier par la forme et la fréquence des microconcrétions de fer et de manganèse. Elles sont moins abondantes et moins

grandes ici, que dans la "terra rossa". Selon WERNER (1958), WOLDSTEDT (1962) et MEINECKE (1966), il s'agit, en Europe Centrale, de sols anciens, dont la formation a débuté aux périodes interglaciaires. Les "terra rossa", décrites en Allemagne et en Tchécoslovaquie sont plus anciennes que les "terra fusca".

L'objet de ce paragraphe est d'étudier ce matériel, en tant que roche-mère des sols actuels. Nous serons brefs à ce sujet et aurons ultérieurement l'occasion de le comparer aux sols anciens des karsts méditerranéens. Morphologiquement, ce matériel remplit les fissures karstiques, parfois sur de grandes profondeurs ; Sa couleur est ocre : 7,5 YR à 10 YR, et sa structure est polyédrique anguleuse ; les facettes brillantes sont peu apparentes. En profondeur, on observe parfois des horizons bariolés, avec des concrétions ferro-manganiques macroscopiques, mais très fines. Ces horizons hydromorphes sont cependant peu fréquents. Des concrétions calcaires, abondantes dans les sols rouges, n'ont jamais été observées dans les "terra fusca" du Vercors. Sur le plan chimique ces sols sont décarbonatés dans la terre fine, leur complexe absorbant reste saturé. Ce matériel contient peu d'aluminium libre, mais les rapports fer libre/fer total sont déjà relativement élevés.

2.13 - L'ORIGINE DU MATERIEL DE REMPLISSAGE KARSTIQUE

L'origine du matériel encore calcaire, fréquent en montagne, a déjà été discutée. Il s'agit vraisemblablement de produits de gélifraction glaciaires ou périglaciaires, würm ou post-würm accumulés et piégés dans les fissures. Dans la terre fine, les carbonates très abondants sont encore incomplètement dissouts.

Le problème est beaucoup plus complexe en ce qui concerne le matériel décarbonaté. Selon les auteurs cités précédemment, il s'agit, en Europe Centrale, d'argiles de décarbonatation, formées à partir du résidu de dissolution du calcaire. Cette hypothèse est vraisemblable dans le Vercors, où des apports fluviatils, glaciaires ou éoliens n'ont jusqu'à présent, pas été mis en évidence. Mais il s'agit là, simplement d'une hypothèse.

En définitive, les sols qui vont être étudiés ici se développent sur quatre types de matériels :

- Le matériel calcaire de remplissage karstique, il contient du CO_3Ca dans la terre fine, mais celui-ci est surtout localisé dans les fractions sableuses.

- Les moraines, elles sont, dans le Vercors, toujours exclusivement calcaires. Leur squelette et leur granulométrie sont proches de ceux du matériel précédent. Elles sont cependant, plus calcaires dans la terre fine ; mais le CO_3Ca est également réparti en majorité dans les sables.

- Les éboulis calcaires, le squelette est ici très important : de 80 à 90 % du volume total. Il est constitué de cailloux calcaires, de l'ordre de 2 à 7 cm de diamètre. La terre fine est parfois déjà décarbonatée.

- Enfin le matériel décarbonaté de remplissage karstique. Sa terre fine est décarbonatée mais elle reste calcique.

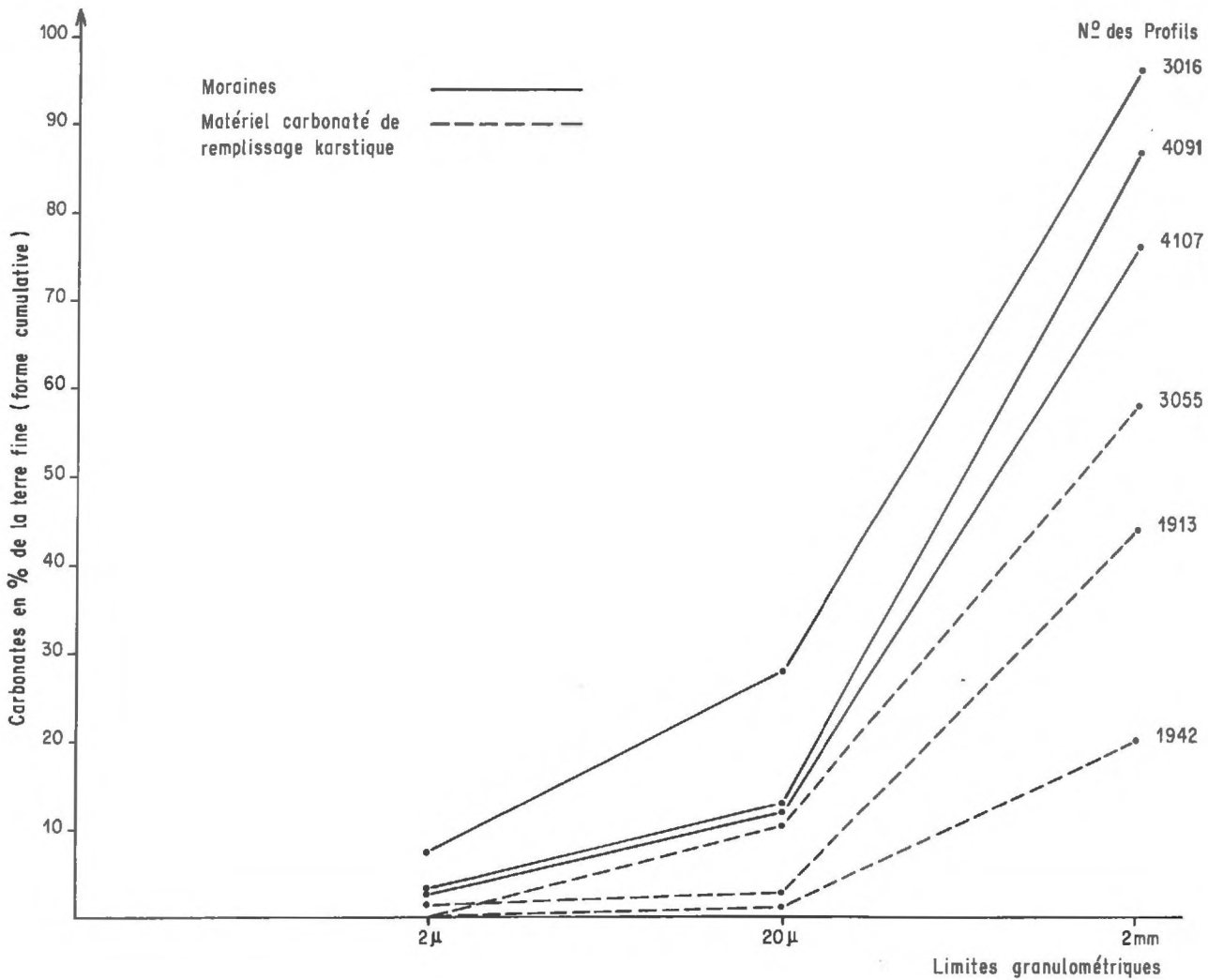


Figure 9 – La répartition des carbonates dans les fractions granulométriques des moraines et du matériel carbonaté de remplissage karstique. CO_3Ca contenu dans les fractions 0-2µ, 2-20µ et CO_3Ca total (forme cumulative).

GEOMORPHOLOGIE (TYPES DE ROCHE-MERE)		TYPES DE MATIERE ORGANIQUE TYPES DE PROFILS		PRESENCE D'UN HUMUS BRUT	MULL RICHE EN MATIERE ORGANIQUE	MULL NORMAL
PRESENCE DE MATERIEL DE REMPLISSAGE KARSTIQUE	MATERIEL DECARBONATE		A ₁ (B)C ou A ₁ (B)R à (B) calcaire	CLIMAX STATIONNELS EVOLUTION SPECIALISEE	EVOLUTION PROGRESSIVE ↗	CLIMAX CLIMATIQUE
	MATERIEL CALCAIRE	REPLISSAGE CALCAIRE	A ₁ (B)C ou A ₁ (B)R à (B) calcaire			
		EBOULIS	A ₁ R ou A ₁ C à A ₁ calcaire			
		MORAINES	A ₁ R ou A ₁ C à A ₁ calcaire			
A		B		C		

Figure 10 – Schéma d'évolution des sols à travers l'étage montagnard. Climax stationnels. Evolution progressive. Evolution régressive.

La répartition de ces matériels dans et sur le karst est très hétérogène ; elle est liée à la karstification. Ce qui est important, c'est que les sols formés restent tous riches en cailloux calcaires. Ceux-ci constituent la réserve en calcium.

2.2 - MORPHOLOGIE DES SOLS

Les sols, qui sont étudiés ici, sont sur calcaires durs, c'est-à-dire des roches-mères dont la décomposition est lente et les argiles de décarbonatation sont déjà anciennes. Par ailleurs, comme il a été exposé précédemment, le matériel géomorphologique, issu de ces calcaires durs est hétérogène, à la fois par sa nature (nous avons distingué, ci-dessus, quatre types) et par la manière très irrégulière, dont il remplit ou recouvre le karst. Il convient enfin de rappeler un troisième élément ; il s'agit des conditions bioclimatiques. Les sols étudiés correspondent à une partie de l'étage subalpin et au montagnard ; ils ont été prospectés sous la pessière, la hêtraie-sapinière, et la hêtraie mésophile. La question qui se pose et qu'il convient de résoudre est alors la suivante : sur ce matériel très hétérogène, est-il possible de mettre en évidence une variation des caractères morphologiques des sols, en relation avec les conditions bioclimatiques, c'est-à-dire le climat et la végétation ? Pour les sols étudiés au chapitre I l'absence d'argiles de décarbonatation ou leur présence en faible quantité, un facteur prédominant vis-à-vis de la pédogénèse, était commun à l'ensemble des types géomorphologiques rencontrés. Il a été possible là, de mettre en évidence une variation des sols, en relation avec la végétation.

Dans deux publications récentes, ce même problème a déjà été abordé, par DUCHAUFOR et BARTOLI (1966), dans la hêtraie-sapinière du massif de la Chartreuse et, pour les sols de montagne en général, par DUCHAUFOR (1966). Ces auteurs définissent d'une part, un "climax climatique". Celui-ci résulte d'une évolution progressive du sol ; il est en relation avec les conditions bioclimatiques générales de l'étage de végétation. Il est indépendant des conditions stationnelles. Ils définissent par ailleurs, un "climax stationnel". L'influence des conditions bioclimatiques générales est remplacée, par celle d'un facteur stationnel, plus déterminant dans la pédogénèse ; celui-ci est d'ordre microclimatique (une exposition particulièrement favorable ou défavorable) ou d'ordre géomorphologique. C'est ce dernier cas, qui nous intéresse en particulier ici. L'évolution du sol est alors entravée, ou bien elle prend une orientation particulière : c'est une "évolution spécialisée". La végétation est elle-même différente, de celle de l'ensemble de l'étage ; elle est constituée d'"associations spécialisées" (MOOR 1951 et FAVARGER, 1956, in DUCHAUFOR 1966). Il convient, pour être complet, d'ajouter, aux deux types d'évolutions précédents, "l'évolution régressive" et dans les étages bioclimatiques étudiés ici, celle-ci est liée à l'action de l'homme : elle aboutit, à ce qui sera appelé ci-après : "milieu dégradé". *)

*) La végétation correspondante est constituée de pelouses de parcours où dominent *Festuca duriuscula*, *Eromus erectus*, *Brachypodium pinnatum* et *Brisa media* avec *Anthyllis vulneraria*, *Thymus serpyllum* et *Genista sagittalis*.

Pour répondre à la question posée ci-dessus, deux caractères morphologiques essentiels ont été considérés : d'une part, l'organisation morphologique du profil, c'est-à-dire, la succession des différents horizons et d'autre part, la nature et l'importance de la matière organique.

2.21 - ORGANISATION MORPHOLOGIQUE DES PROFILS

Lors de la prospection, les sols dont il est question dans ce chapitre ont été classés en quatre types morphologiques fondamentaux :

- Les sols du type A_1C ou A_1R , dans lesquels A_1 est calcaire.
- Les sols du type $A_1(B)C$ ou $A_1(B)R$, dans lesquels A_1 est décarbonaté.
- Ceux du type $A_1(B)C$ ou $A_1(B)R$, dans lesquels A_1 est décarbonaté, mais (B) reste calcaire.
- Enfin, les sols également du type $A_1(B)C$ ou $A_1(B)R$, mais dans lesquels A_1 et (B) sont tous les deux décarbonatés.

La description morphologique de deux exemples de sols sera présentée au paragraphe suivant. La succession de ces quatre types de sols est représentée dans la figure 10 à la lettre B. Elle pourrait constituer une "série évolutive" ; on passe de sols restés calcaires et peu profonds à des sols plus profonds et décarbonatés. Cependant, les résultats obtenus lors de la prospection nous permettent de dire, que cette succession de types de sols est indépendante des séries de végétation ; c'est-à-dire, que les sols du type A_1C ne sont pas tous localisés sous la série de l'Épicéa ; celle qui est la plus en altitude, et les sols du type $A(B)C$ ne sont pas tous situés, sous la série de la hêtraie mésophile. L'hétérogénéité des matériels, sur lesquels se développent les sols, est trop grande pour permettre une mise en évidence de l'influence des conditions bioclimatiques sur l'organisation morphologique des profils. Celle-ci est dictée par les conditions géomorphologiques ; c'est cette corrélation, que nous avons exprimée, dans la figure 10 en A et B. Les conditions géomorphologiques, les plus défavorables à l'évolution du sol, sont celles des moraines. Celles-ci sont jeunes et contiennent encore peu d'argiles de décarbonatation ; les sols sont du type A_1C et A_1 reste souvent calcaire. Il est même fréquent, d'y rencontrer des sols litho-calcaires à moder, du type A_0C . Sur les éboulis, l'évolution des sols est un peu plus avancée ; mais le stade $A(B)C$ est rarement atteint et (B) reste en général calcaire. Les sols, les plus évolués de la série, sont sur les matériels décarbonatés de remplissage karstique ; s'ils sont du type A_1C (matériels superficiels), A_1 est décarbonaté ; ils sont fréquemment du type $A_1(B)C$ et (B) est également décarbonaté.

2.22 - EVOLUTION DU PROFIL ORGANIQUE

Le deuxième facteur considéré est le type de matière organique. Les sols, analysés dans ce chapitre, sont formés en présence d'argiles : ce sont des sols à mull ; ils se distinguent par là, de ceux étudiés dans le chapitre précédent, où le mull était souvent absent, sinon peu développé et discontinu.