

ETUDES Forêt

n° 2



Le Massif Central Cristallin Analyse du milieu - Choix des essences

Alain FRANC

LE MASSIF CENTRAL CRISTALLIN
ANALYSE DU MILIEU
CHOIX DES ESSENCES

A. Franc



**CENTRE NATIONAL
DU MACHINISME AGRICOLE
DU GÉNIE RURAL
DES EAUX ET DES FORÊTS**

GT DE CLERMONT-FERRAND
Domaine de Lалуas
63200 Riom
Tél. : 73.38.20.52 • Télex : 391 639 F
Télécopie : 73.38.76.41

Le CEMAGREF est un organisme de recherches dans les domaines de l'eau, de l'équipement pour l'agriculture et l'agroalimentaire, de l'aménagement et de la mise en valeur du milieu rural et des ressources naturelles.

En contact permanent avec les agents économiques et les collectivités, il cherche à constituer des outils mieux adaptés dans différents secteurs d'activités :

- eau
- risques naturels et technologiques
- montagne et zones défavorisées
- forêts
- machinisme agricole
- équipement des industries agroalimentaires
- production et économie agricoles.

Le CEMAGREF est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique sous la tutelle des ministères de la Recherche et de l'Agriculture.

Il emploie 970 agents dont 420 scientifiques répartis en 10 groupements : Aix-en-Provence, Antony, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lyon, Montpellier, Nogent-sur-Vernisson, Outre-Mer (La Martinique), Rennes.

Son budget annuel consolidé est de 280 M. F.

REMERCIEMENTS

Ce travail est le fruit de nombreux échanges, formels ou informels, avec la communauté scientifique et forestière. Ces discussions et tournées sur le terrain ont largement compté pour forger la méthode de travail adoptée dans ce document, mener aux résultats proposés et choisir la forme de la présentation. Aussi, il m'est très agréable de remercier ceux qui ont contribué à bâtir et utiliser une typologie des stations forestières pour le Massif Central, notamment : A. Brethes, M. Buffet, H. Burtschell, J.-C. Chartron, C. Chauvin Droz Desvillars, T. Curt, B. Daubet, P. Duplat, A. Fonton, A. Godard, A. Guiraud, J.-L. Guitton, N. Hamza, J.-P. Laganne, H.-J. Otto, B. Valadas, H. Wachter.

Michel Buffet (CEMAGREF), Christophe Chauvin Droz Desvillars et Pierre Duplat (Département des Recherches Techniques de l'Office National des Forêts) ont accepté la tâche ingrate de relire le manuscrit. Ils y ont apporté des modifications substantielles, et ont notablement amélioré la présentation et l'architecture du document. Cependant, le contenu scientifique et les propositions émises restent de la seule responsabilité de l'auteur.

Gilles Agrech (CEMAGREF de Clermont-Ferrand) a réalisé les cartes et croquis techniques présentés dans ce volume.

Enfin, last but not least, Christiane Duchamp, de Mende, a mis au service de ce document son talent et sa malice dans les illustrations de la couverture et des têtes de chapitre.

Qu'ils recoivent ici le témoignage de mon amicale reconnaissance.

AVANT-PROPOS

Le choix des essences sur une base écologique présenté dans ce document se réalise par une démarche organisée en trois étapes: on commence par une phase descriptive, où l'on observe certains paramètres du milieu ; puis, à partir de ces observations, on construit des bilans, notamment nutritifs et de réserve en eau des sols ; et connaissant ces bilans, on peut raisonner le choix des essences sur une base écologique.

Ces étapes sont présentées succinctement dans ce qui suit :

● Première étape : Description du milieu

La description concerne cinq types d'observations :

- le secteur écologique
- la roche
- le matériau
- le sol
- les corrections topographiques

Une première partie présente les variables à observer dans chacune de ces rubriques, et une codification est proposée. Il s'agit des chapitres "Découpage en secteurs écologiques" et "Typologie des stations".

● Deuxième étape : évaluation de deux bilans

Ces deux bilans sont :

- la réserve en eau
- le niveau trophique

La construction effective de ces bilans est présentée dans le chapitre "Réserve en eau et niveau trophique".

● Troisième étape : le choix des essences

Ce choix est fondé sur :

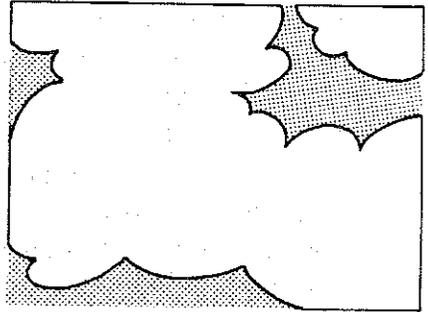
- le secteur climatique et l'étage de végétation
- le niveau trophique et la réserve en eau

Le choix des essences sur une base écologique à partir des données climatiques, de la réserve en eau et du niveau trophique est présenté dans le chapitre "Autoécologie des principales essences".

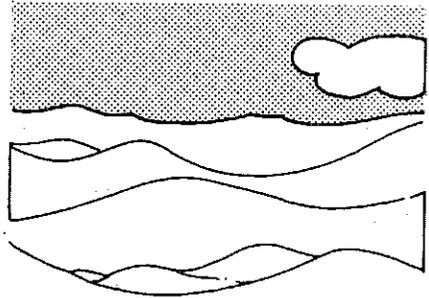
PLAN

1. - PRESENTATION DE LA DEMARCHE	9
1.1 - Catalogue de stations forestières	10
1.2 - Principes de l'étude finalisée du milieu	11
1.3 - Evaluation des bilans	12
1.4 - Description analytique des stations	14
2 - DECOUPAGE EN SECTEURS ECOLOGIQUES	17
2.1 - Découpage climatique	18
2.1.1 - Précipitations	18
2.1.2 - Températures	22
2.1.3 - Autres facteurs climatiques	22
2.2 - Découpage géologique	22
2.3 - Découpage en secteurs écologiques	23
2.3.1 - Découpage proposé	23
2.3.2 - Liens avec le découpage I.F.N.	25
3 - TYPOLOGIE DES STATIONS	31
3.1 - Principes	32
3.2 - Etude des matériaux	33
3.2.1 - Cas des granites	33
3.2.2 - Cas des Roches métamorphiques	35
3.2.3 - Cas des autres roches	39
3.3 - Etude des sols	41
3.3.1 - Caractères retenus	41
3.3.2 - Types de sols	41
3.3.3 - Types d'humus	43
3.4 - Corrections topographiques	43
3.5 - Exemple	44

4 - RESERVE EN EAU ET NIVEAU TROPHIQUE	45
4.1 - Réserve en eau	46
4.1.1 - Estimation quantitative	46
4.1.2 - Estimation qualitative	47
4.2 - Niveau trophique	51
5 - AUTOECOLOGIE DES PRINCIPALES ESSENCES	55
5.1 - Classification des essences	56
5.2 - Tableau climatologique	59
5.3 - Tableau morphopédologique	60
5.4 - Guide pour le choix des essences	60
5.4.1 - Reboisements d'altitude	61
5.4.2 - Forêts de l'étage montagnard	62
5.4.3 - Enrichissement en feuillus précieux	63
5.4.4 - Peuplements feuillus	63
5.4.5 - Sols à faibles réserves en eau	64
ANNEXES	65
I Tableaux des codes	66
II Clés	72
III Caractérisation écologique des régions IFN	80
IV Compléments dendrologiques	83
V Carte des principales essences autochtones	91
VI Vocabulaire	95
BIBLIOGRAPHIE	97



1..... **Présentation de la démarche**



1 - PRESENTATION DE LA DEMARCHE

1.1 - Catalogue de stations forestières

L'étude du milieu est classiquement abordée en forêt par la confection d'un catalogue de stations forestières, dont l'élaboration a peu à peu été codifiée au fur et à mesure des réalisations depuis les premiers travaux réalisés à l'INRA, notamment le catalogue des plateaux calcaires de Lorraine par BECKER, TIMBAL & LE TACON en 1979.

Cette codification peut se résumer par la succession de cinq étapes :

- réalisation d'une préétude, dont l'objectif est de circonscrire le domaine d'étude pertinent écologiquement, et de percevoir les principaux gradients écologiques,
- confection d'un plan d'échantillonnage et d'un protocole de relevés,
- réalisation d'une ou plusieurs campagnes de terrain pour faire les relevés phytocécologiques complets,
- traitement informatique des relevés, afin de parvenir à une partition des relevés (les types de station)
- interprétation des types précédemment définis et description des types de station.

En fait, l'objectif d'un catalogue de stations est de fournir au forestier une description du milieu qui, couplée avec une connaissance de la sylviculture et du matériel génétique, lui permettra de prendre la meilleure décision en terme d'aménagement forestier ou de travaux sylvicoles.

Cela suppose que, face à un problème donné, le rôle du milieu soit clairement identifié.

Or, dans la multitude des problèmes techniques à résoudre, cela n'est pas systématiquement le cas. Ainsi, les rôles respectifs du milieu, de la génétique, du traitement ne sont pas clairs en ce qui concerne la qualité :

- le concept de qualité n'est pas défini de façon univoque : s'agit-il de la qualité externe, interne ? S'agit-il de résistance mécanique, d'aspect du bois, de facilité d'usinage ?

- on ne connaît pas la part respective du milieu, de la génétique et de la sylviculture dans l'explication des différents aspects de la qualité.

En revanche, pour le choix des essences lors d'une régénération, le rôle du milieu est clairement connu et sa connaissance peut rendre de grands services au gestionnaire.

La loi de Eichhorn nous indique en effet que c'est le milieu qui contrôle, sous certaines conditions de traitement, la croissance des peuplements forestiers.

Aussi, avons-nous choisi de finaliser l'étude du milieu dans la direction où son rôle dans l'évolution des peuplements forestiers est connu, et où sa connaissance peut rendre de grands services aux gestionnaires : le choix des essences.

1.2 - Principes de l'étude finalisée du milieu

La croissance des peuplements forestiers est contrôlée principalement par trois bilans :

- un bilan de chaleur
- un bilan d'eau
- un bilan d'éléments nutritifs (Ca, P, K, Mg, N)

Il est donc important que toute description finalisée du milieu, quelle que soit la technique employée, présente ces trois bilans.

Parmi ces trois bilans, le premier (chaleur) se raisonne sur une échelle régionale car il est notablement corrélé avec la longueur de la saison de végétation, alors que les deux derniers (eau et nutrition) se raisonnent sur une échelle locale, voisine de l'hectare.

Ces trois bilans sont l'articulation entre les études écologiques (stations forestières) et dendrologiques (choix des essences, autoécologie).

Etant donné leur importance cruciale, il est souhaitable que tout catalogue de stations forestières les présente, outre la description d'associations phytosociologiques, de groupes phytoécologiques, de types de sol ou de tous autres éléments écologiques. Cette présentation peut notamment se réaliser au niveau de la fiche descriptive du type de station. Ce qui importe pour le forestier, ce n'est pas le mode de construction de ces bilans, mais leur diagnostic et leur utilisation.

Ainsi, la démarche que nous préconisons pour l'étude finalisée du milieu s'articule-t-elle en trois étapes :

- 1 - Observation de certains éléments diagnostiques**
- 2 - Construction des trois bilans**
- 3 - Raisonnement du choix des essences.**

Il est important de noter la filiation de ces étapes :

- le choix des essences se réalise à partir des trois bilans
- les bilans se construisent à partir des observations.

La présentation de l'ensemble de la démarche sur les terrains cristallins et cristallophylliens du Massif Central est présentée dans ce qui suit, afin de faciliter la réalisation des bilans à partir de catalogues existants, ou de les estimer directement en l'absence de catalogue.

1.3 - Evaluation des bilans

Observons que, parmi les trois bilans de chaleur, d'eau et d'éléments nutritifs, seuls ces deux derniers peuvent être évalués à l'échelle ponctuelle. Le bilan de chaleur ne peut se réaliser que régionalement, notamment par manque de données microclimatiques.

L'hypothèse que nous faisons pour le Massif Central, et qui est à la base de ce travail, est alors la suivante :

- la réserve en eau des sols est essentiellement contenue dans les formations superficielles
- le niveau trophique des sols est essentiellement dépendant du processus pédogénétique, donc du type d'humus et du type de sol.

De plus, il apparaît que la genèse des matériaux, ou des formations superficielles, est dans la majeure partie des cas (mais pas exclusivement) liée aux processus morphogénétiques périglaciaires du Würm. Très souvent, ces matériaux sont d'origine polycyclique, mais l'empreinte la plus récente du Würm reste la plus déterminante pour la compréhension de leur aspect actuel, notamment vis à vis de la texture, qui conditionne la réserve en eau.

Ces matériaux d'origine würmienne ont ensuite évolué à l'holocène par pédogénèse.

Aussi, de même que la compréhension des processus pédogénétiques permet une description et une évaluation sûre des propriétés chimiques d'un sol, de même, la compréhension des processus morphogénétiques permet une description et une évaluation sûre des propriétés physiques des formations superficielles.

L'ensemble des propriétés physiques des formations superficielles et chimiques des sols constitue le diagnostic écologique de la station forestière, en vue du choix des essences.

Les différentes disciplines scientifiques à utiliser pour la construction des bilans régionaux ou locaux sont donc résumées dans le tableau ci-après.

Il est possible que l'ensemble de ces propriétés, ou seulement une partie, se traduise par la végétation, dont l'étude se révèle alors très utile. C'est selon ce dernier

Bilan	Sciences à utiliser	Éléments diagnostics
Chaleur	Climatologie	Étage de végétation Exposition
	Climatologie	Précipitations Exposition
Eau	Géomorphologie	Profondeur du matériau Texture du matériau Charge en cailloux
	Géologie	Altération de la roche
Nutrition	Pédologie	Nature de l'humus Type de sol
	Géologie	Nature de la roche mère

principe qu'ont été réalisés la quasi totalité des catalogues publiés en France à ce jour, essentiellement à partir d'études phyto-écologiques.

Cependant, l'interprétation correcte de l'étude du tapis végétal ne peut se réaliser que si l'on connaît par ailleurs le diagnostic écologique, qui seul permet d'asseoir avec rigueur la valeur indicatrice des espèces végétales région par région.

C'est à cette première étape, à savoir fixer le diagnostic écologique, que nous nous attachons dans ce qui suit.

Par commodité, afin d'éviter dès le départ de mêler dans une étude commune des roches aussi différentes que les granites et les calcaires, par exemple, il est souhaitable de travailler sur des substrats géologiquement homogènes. C'est pourquoi le diagnostic écologique est articulée en deux niveaux :

- **un niveau de découpage régional** en "secteurs écologiques", centrés sur le climat et les roches, qui permet le bilan de chaleur par secteur et oriente les observations pour les bilans d'eau et d'éléments nutritifs ;
- **un niveau de diagnostic ponctuel**, centré essentiellement sur les matériaux et les sols, en vue de l'estimation des niveaux trophiques et des réserves en eau (mais pas exclusivement), qui rejoint la notion de station forestière au sens classique du terme.

La station est alors caractérisée par cette double information : secteur écologique et diagnostic ponctuel, qui permettent de raisonner correctement l'évaluation des trois bilans, et par conséquent le choix des essences sur une base écologique. Le diagnostic ponctuel repose sur l'observation des roches, matériaux et sols.

1.4 - Description analytique des stations

Afin d'en automatiser et faciliter la reconnaissance, chaque station peut être décrite par un code qui reprend les éléments diagnostiques observés sur le terrain nécessaires à l'évaluation des trois bilans.

La codification de ces éléments diagnostiques sera présentée au fur et à mesure de l'étude selon le schéma suivant, où chaque lettre représente un code chiffré :

Codes	Domaines décrits
abc	Secteur écologique
d	Roche
efgh	Matériau
ijk	Sol
lm	Corrections topographiques

Selon la décomposition suivante :

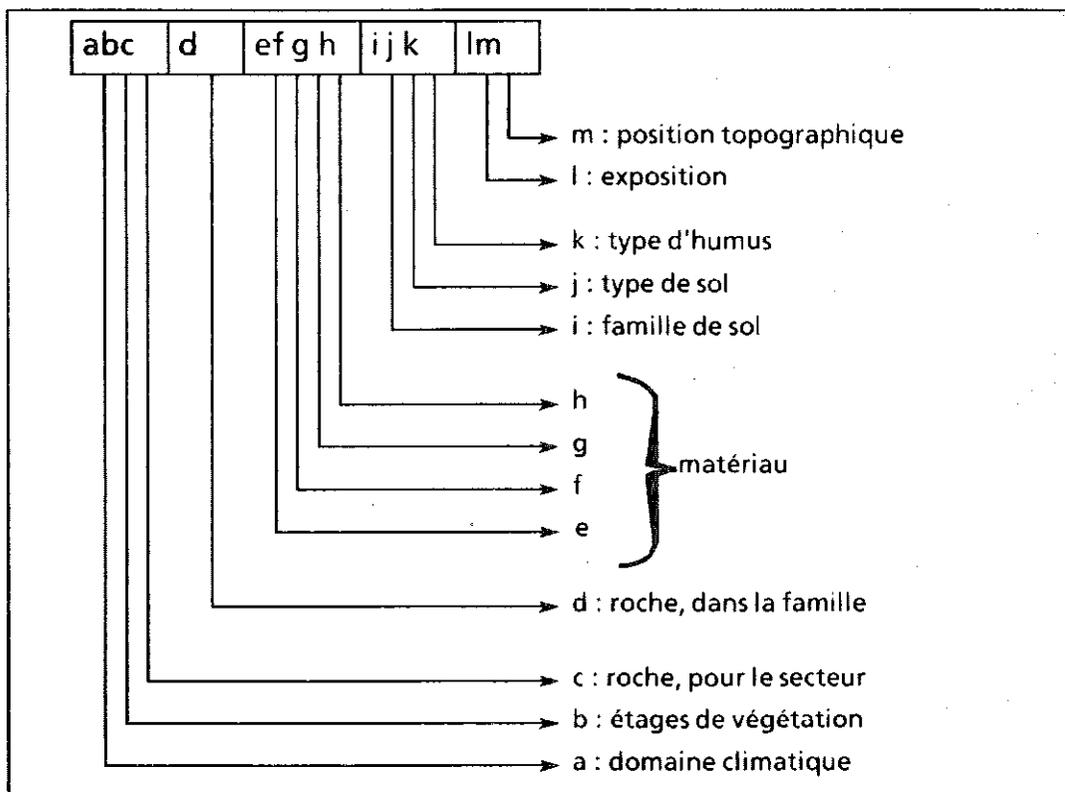
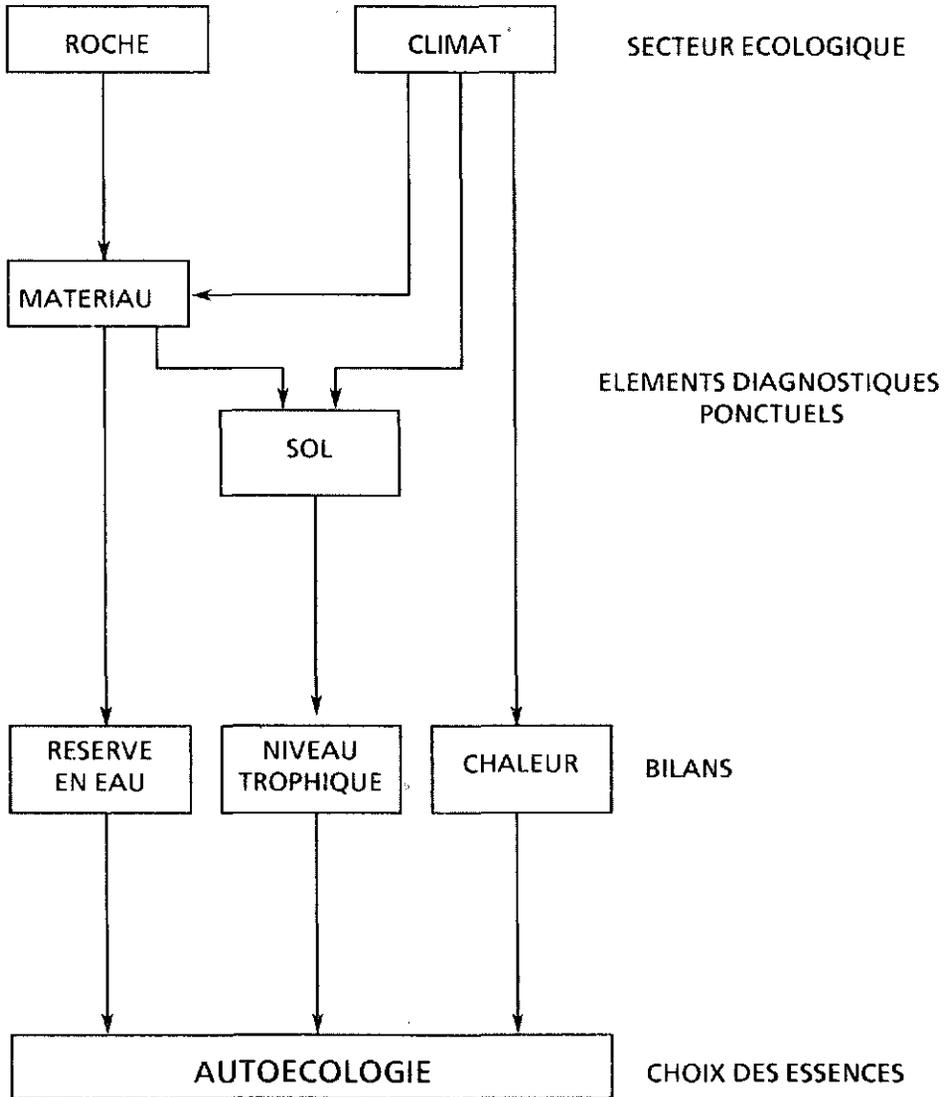
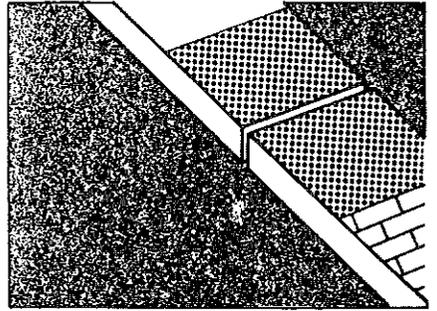


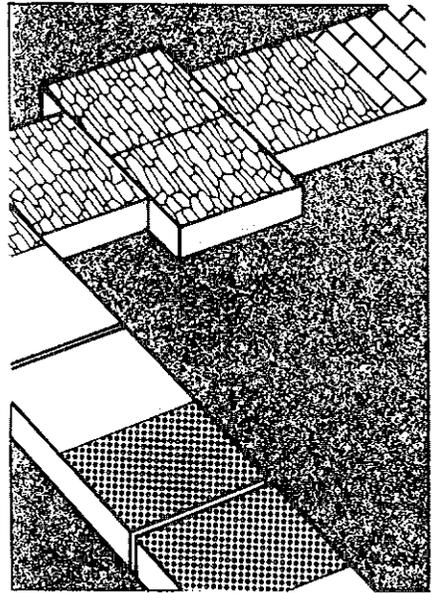
Schéma du raisonnement

Présentation des différents niveaux





2.....*Découpage en secteurs écologiques*



2 - DECOUPAGE EN SECTEURS ECOLOGIQUES

Un secteur écologique est une région homogène tant sur le plan climatique que géologique.

2.1 - Découpage climatique

Le découpage climatique est réalisé selon deux critères :

- **les précipitations** : lame d'eau annuelle et répartition dans l'année, ce qui délimite les influences climatiques
- **les températures**, qui délimitent les étages de végétation.

2.1.1 - Précipitations

La base de l'étude des précipitations est le tableau des lames d'eau mensuelles moyennes sur la période de référence 1951 - 1980 station par station.

Deux aspects peuvent être étudiés :

- un aspect quantitatif à partir des lames d'eau mensuelles brutes
- un aspect qualitatif à partir de la répartition mensuelle dans l'année des lames d'eau. Cette dernière étude débouche sur les régimes : continental, méditerranéen, etc.

L'étude la plus riche est de loin celle des régimes.

La démarche suivante a été réalisée pour son étude :

- constitution du tableau des coefficients d'Angot, qui sont, mois par mois, le rapport entre les précipitations mensuelles observées et celles théoriques si elles étaient également réparties dans l'année
- classification ascendante hiérarchique de ce tableau, afin de trouver les régimes observés (à chaque classe correspond un régime)
- cartographie de ces régimes, afin de garantir la légitimité géographique des classes obtenues uniquement par un algorithme de calcul.

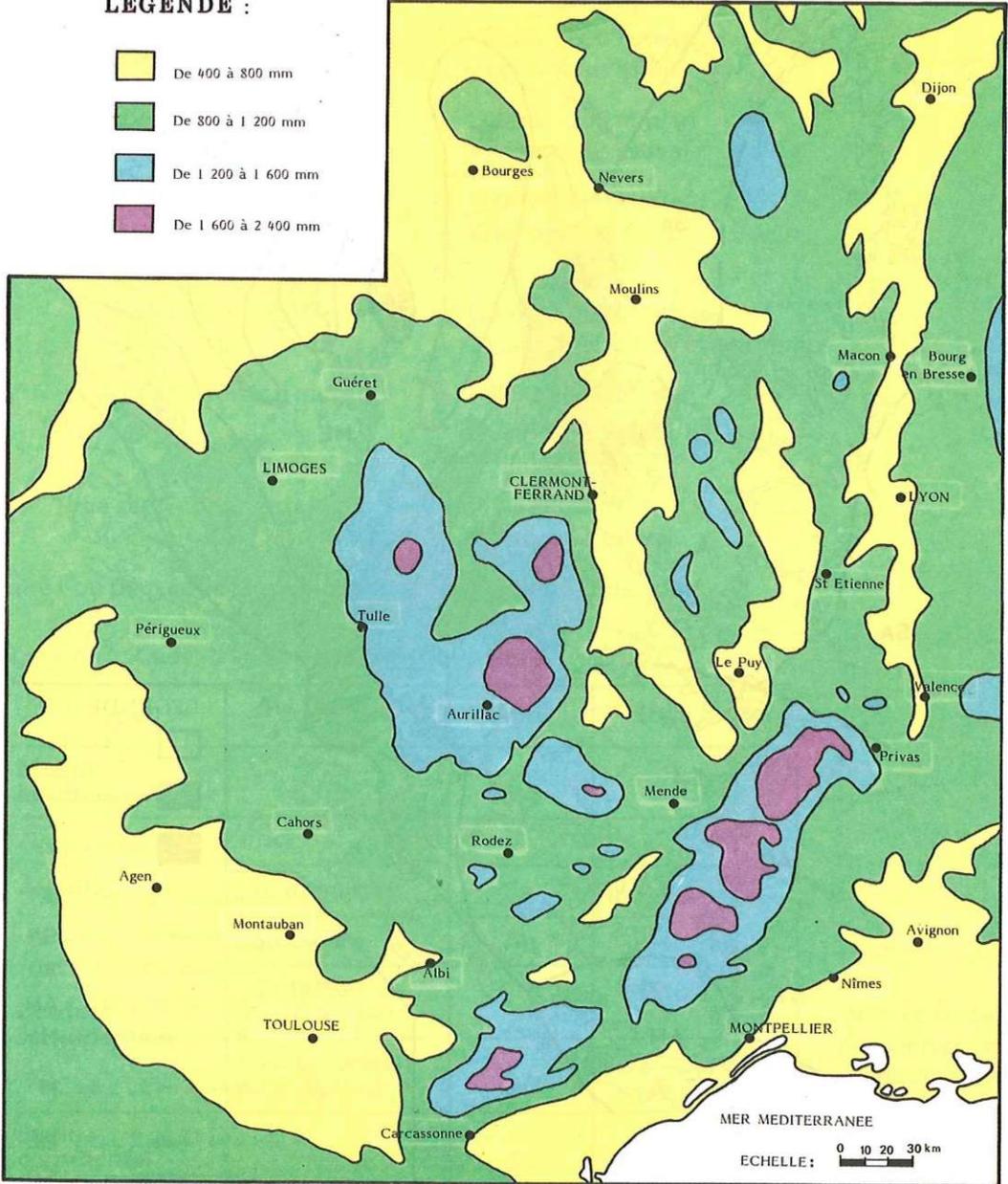
PRECIPITATIONS DANS LE MASSIF CENTRAL



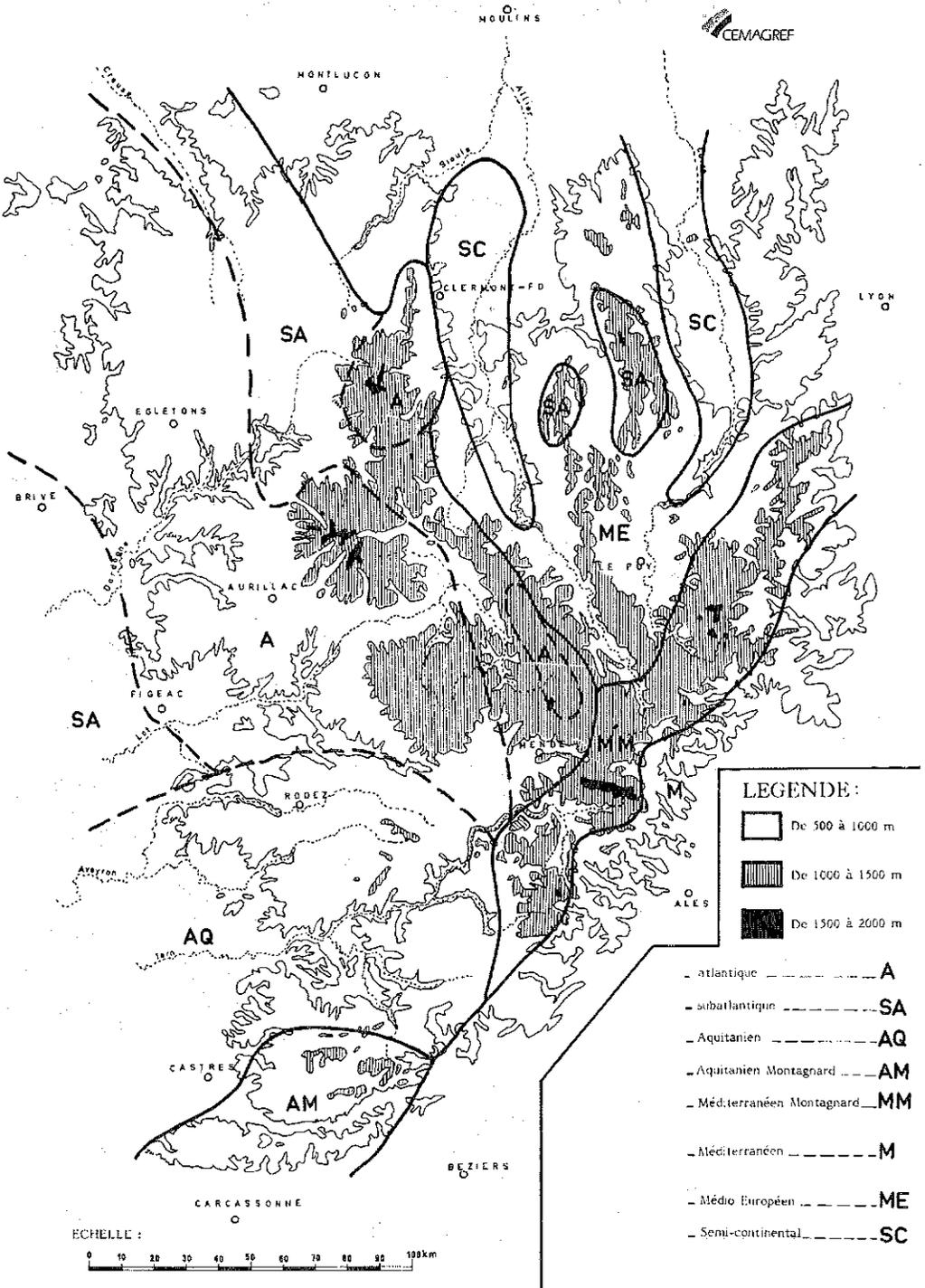
D'après la carte de la météorologie nationale

LEGENDE :

- De 400 à 800 mm
- De 800 à 1 200 mm
- De 1 200 à 1 600 mm
- De 1 600 à 2 400 mm



CARTE DES REGIMES CLIMATIQUES DU MASSIF CENTRAL



Quatre grands types de répartition des précipitations, que l'on peut ensuite diviser en sept types principaux, peuvent être reconnus en fonction des lames d'eau et de leur répartition dans l'année :

- Type médioeuropéen :**
 - + 800 à 950 mm/an
 - + également répartis

- Type atlantique**
 - strict :**
 - + 1 200 à 1 600 mm/an
 - + léger surplus estival

 - subatlantique :**
 - + 1 000 à 1 200 mm/an
 - + léger surplus estival

 - aquitaniens :**
 - + 1 000 à 1 400 mm/an
 - + léger déficit estival

- Type sud-oriental**
 - aquitaniens montagnards :**
 - + 1 000 à 1 400 mm/an
 - + surplus d'automne et printemps

 - méditerranéen montgn. :**
 - + 1 000 à 1 600 mm/an
 - + fort surplus automnal
 - + déficit estival

- Type semi-continental :**
 - + 550 à 800 mm/an
 - + fort surplus estival

que l'on peut coder et regrouper dans le tableau ci-dessous.

Tableau I : Code - a - : Secteur climatique

Type	Sous-type	Abrv	Code	
Médio-européen		Me	1	a
Atlantique	strict	A	2	
	subatlantique	Sa	3	
	aquitaniens	Aq	4	
Bordure sud-orientale	aquitaniens montagnards	Am	5	
	méditerranéen montagnard	Mm	6	
Semi-continental		Sc	7	

NB : Le Secteur méditerranéen, extérieur au Massif Central, a été oté de ce tableau.

2.1.2 - Températures

Dans le Massif Central, il existe peu de variations régionales significatives des températures ramenées au niveau de la mer.

Aussi, le principal facteur de variation sera-t-il l'altitude.

Les températures agissent comme facteur limitant pour la longueur de la saison de végétation, et permettent de découper l'espace en étages de végétation, de la façon suivante :

Tableau II : Code - b - : Etages de végétation

Etage	Sous-étage	Série	Code	
Collinéen		Chênaies	1	b
Montagnard	inférieur	Chênaies-hêtraies	2	
	moyen	Hêtraies-sapinières	3	
	supérieur	Hêtraies-(pessières)	4	
Subalpin		Chaumes	5	

2.1.3 - Autres facteurs climatiques

Les autres facteurs climatiques, nombreux et importants, sont soit :

- non quantifiables : ex : brouillards
- quantifiables mais non mesurés : ex : humidité
- d'ordre stationnel : ex : gelées

donc, pour l'une ou plusieurs de ces raisons, non pris en compte dans cette étude.

Cependant, parmi l'ensemble de ces facteurs que l'on ne peut estimer que qualitativement, il faut souligner l'importance du vent, qui parfois à des altitudes très basses (ex: environ 1000 m en Montagne Noire), peut empêcher toute croissance des peuplements en crête.

2.2 - Découpage géologique

La typologie des roches adoptée ici, bien qu'elle prenne évidemment sa source dans des classifications de type géologique, est adaptée par son échelle de finesse aux principaux types d'altérites rencontrés ensuite. C'est ainsi qu'à chaque famille géologique individualisée ci-dessous correspondra une famille de matériaux.

Dans cette optique, les différentes roches rencontrées peuvent être classées de la façon suivante :

Tableau III : Code - c - : Roches au niveau du secteur

Roches	Code	
Granites	1	c
Roches métamorphiques	2	
Basaltes	3	
Autres roches volcaniques	4	
Grès et schistes primaires	5	
Calcaires	6	
Marnes, argiles et sables	7	

Seuls sont traités dans ce document les granites et roches métamorphiques.

L'ensemble de ces roches peuvent se reconnaître directement sur le terrain d'après la clé en début d'annexe II.

2.3 - Découpage en Secteurs Ecologiques

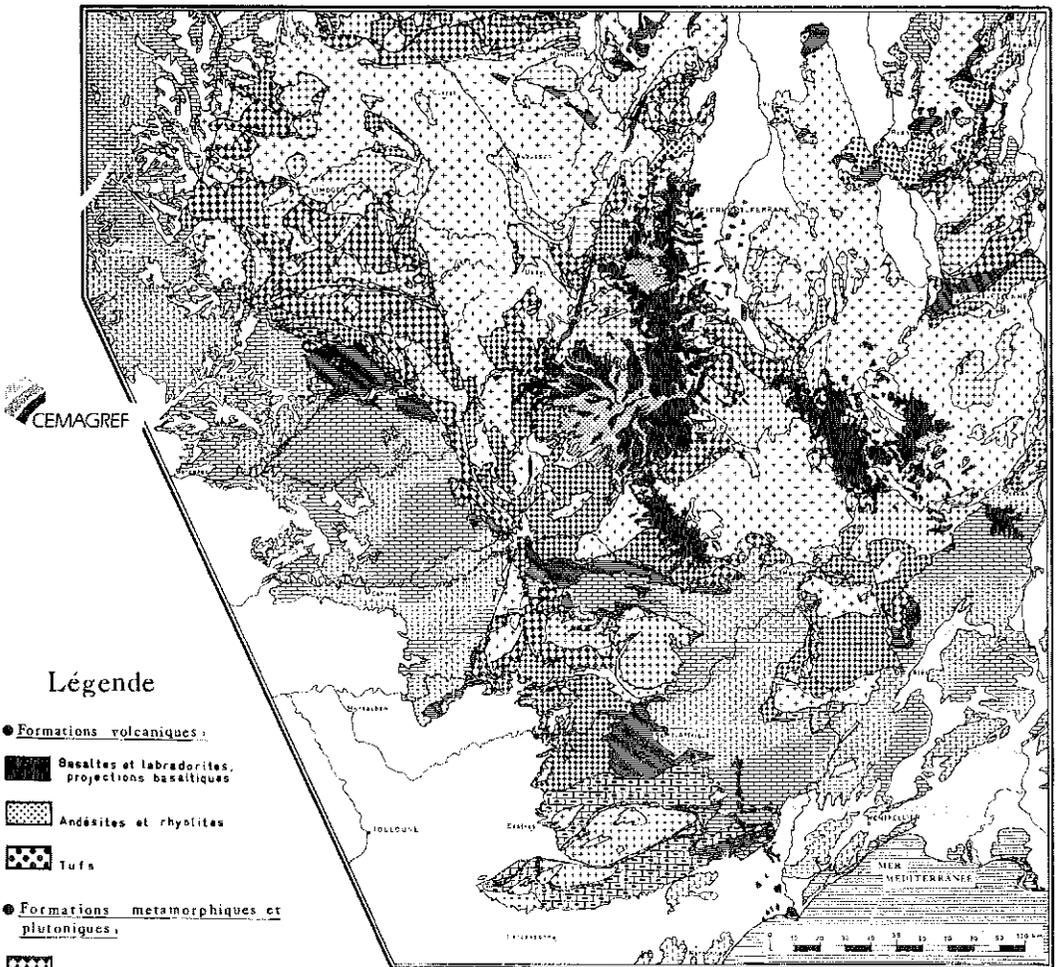
2.3.1 - Découpage proposé

Suite aux différents éléments précédents, l'ensemble du Massif Central peut être découpé en secteurs écologiques, qui peuvent être précisés par une codification à trois chiffres.

Ainsi, dans le code "abc"

- a représente le secteur climatique
- b l'étage de végétation
- c la roche au niveau du secteur
- abc le secteur écologique.

Le secteur écologique est donc parfaitement déterminé comme une région homogène vis à vis des trois critères a, b et c préalablement définis. Le croisement d'une carte des étages de végétation, des régimes pluviométrique et géologique permet théoriquement la visualisation d'une carte des secteurs écologiques. Cependant, ce croisement est impossible à l'échelle du 1/500 000^{ième}, les limites étant trop précises. Aussi, aucune carte de synthèse n'est présentée ici, ce découpage devant se réaliser régionalement au 1/50 000^{ième}. Un exemple a été donné pour la Margeride lozérienne (Franc, 1987).



CARTE GEOLOGIQUE DU MASSIF CENTRAL

2.3.2 - Liens avec le découpage I.F.N.

Les régions IFN proposent un découpage plus grossier, mais qui ne contredit pas cette approche. Aussi, afin de réaliser le lien entre le découpage classique en régions I.F.N. et celui que nous proposons, il est nécessaire de caractériser les régions IFN vis-à-vis de ces critères. Cette caractérisation est présentée en annexe.

Ainsi, par exemple, le secteur IFN "Hautes Cévennes ardéchoises" est caractérisé par :

- climat montagnard méditerranéen: code 6
- étage collinéen à montagnard moyen: codes 1 à 3
- roches granitiques et métamorphiques : codes 1 & 2

Un découpage plus fin que celui proposé par l'IFN pourra prendre en compte cette diversité, et partager cette région IFN en six secteurs homogènes :

- 611 : collinéen granitique
- 612 : collinéen métamorphique
- 621 : montagnard inférieur granitique
- 622 : montagnard inférieur métamorphique
- 631 : montagnard moyen granitique
- 632 : montagnard moyen métamorphique

ces six secteurs étant observés sur le terrain.

Inversement, il peut être intéressant de regrouper plusieurs régions IFN, comme par exemple, l'ensemble des secteurs 621 des différentes régions IFN du Massif Central, soit :

- 07 Vallée de l'Eyrieux
- 07 Bordure montagne de l'Eyrieux
- 07 Région des Sucs
- 07 Côteaux Nord-Vivarais
- 07 Hautes Cévennes

- 42 Mont Pilat
- 48 Hautes Cévennes
- 07 Lugdarès & Mazan
- 43 Chaîne des Boutières

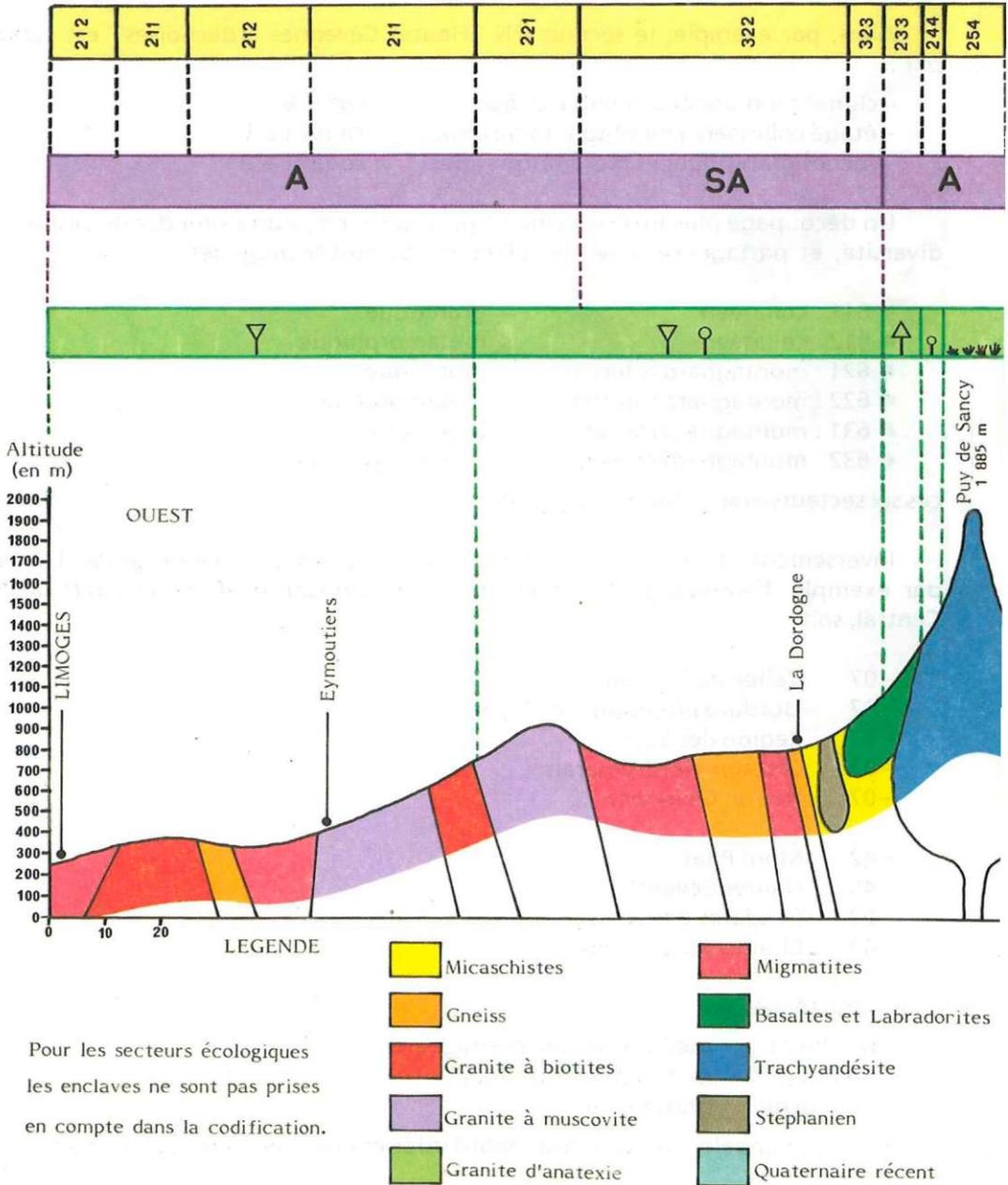
tous caractérisés par :

- un climat : méditerranéen montagnard
- un étage : montagnard inférieur
- une roche : granitique,

que l'on peut appeler "étage montagnard inférieur des Cévennes granitiques".

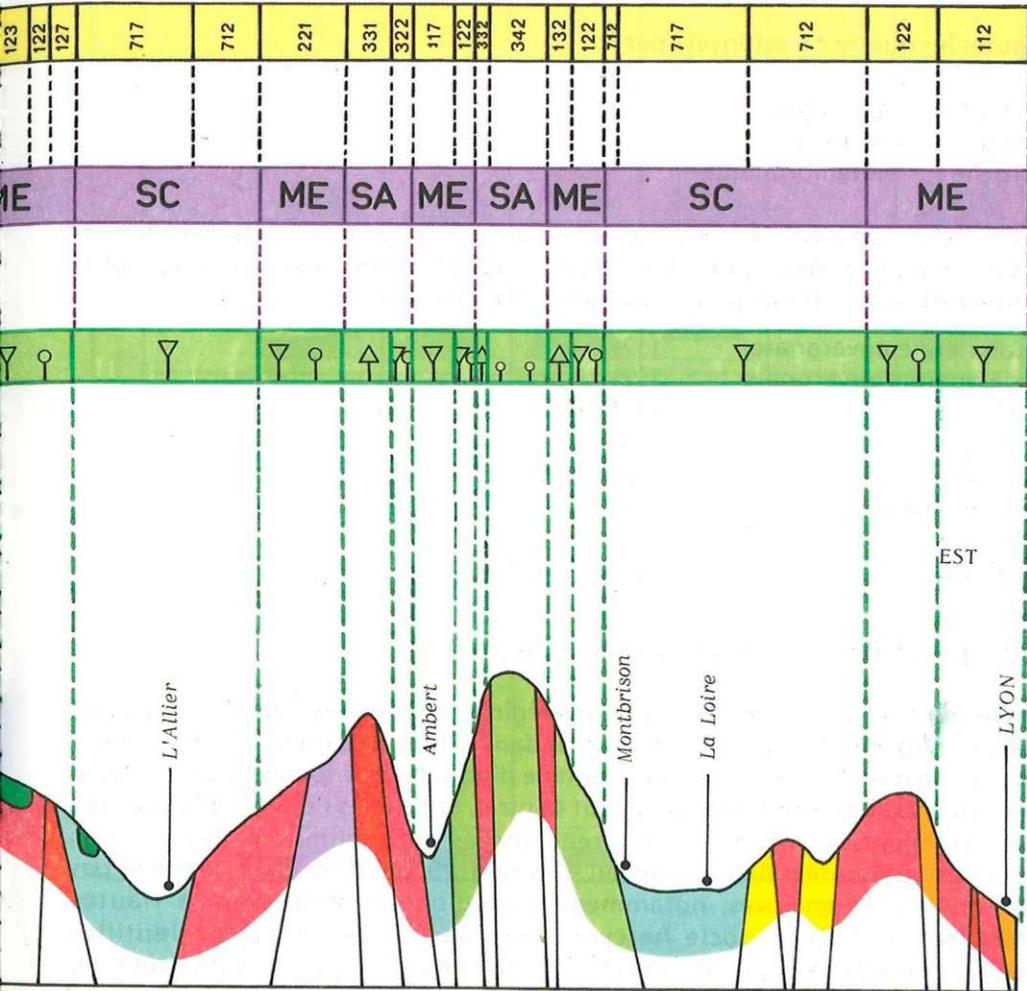
EXEMPLE D EN SECTEURS

TRANSECT OUEST-EST DE



DECOUPAGE GEOLOGIQUES

AGES A LYON



AGE DE VEGETATION

- ▽ Chênaies
- Chênaies-Hêtraies
- △ Hêtraies-sapinières
- ▽ Hêtraies d'altitude
- ↘ Pelouses

COUPE SCHEMATIQUE DES AFFLEUREMENTS
(Le tracé des limites des roches n'est qu'indicatif).

REGIME CLIMATIQUE

- | | | | |
|-----------|---------------|-----------|------------------|
| A | Atlantique | ME | Médio Européen |
| SA | Subatlantique | SC | Semi continental |

De même, par exemple, les régions IFN entières suivantes :

- Bordure limousine (15)
- Basse chataîgneraie auvergnate (15)
- Chataîgneraie limousine (19)
- Chataîgneraie limousine (87)

qui sont toutes les quatre caractérisées par :

- un climat : atlantique
- un étage : collinéen
- une roche : métamorphique

donc, codées "212", peuvent être regroupées en un secteur unique : "étage collinéen du Limousin métamorphique", probablement le plus vaste du Massif Central, car il faut en outre y adjoindre des secteurs des régions IFN suivantes :

Basse chataîgneraie auvergnate	(12)
Haute chataîgneraie auvergnate	(12)
Basse Marche	(23) + (87)
Xaintrie	(46)
Plateau limousin	(87) + (19)
Plateau de Millevaches	(19) + (23)
Aubrac	(12)
Bordure Aubrac	(12) + (48)
Artense	(15) + (63)

qui ne sont cependant pas couvertes en totalité par ce secteur.

Toutes les combinaisons possibles entre les régimes pluviométriques, les étages de végétation et les roches ne sont pas rencontrées dans le Massif Central : le climat semi-continental, par exemple, est dû à un phénomène d'abri de type foehn et ne se trouve que dans les dépressions intérieures du Massif Central, donc dans l'étage collinéen. Les principales combinaisons effectivement rencontrées, qui délimitent des secteurs écologiques, sont présentées dans le tableau suivant p. 29, qui cependant ne prend pas en compte toutes les enclaves, notamment géologiques : ainsi, dans le Hautes Combrailles (région IFN), le socle hercynien est parfois recouvert de lentilles hectométriques ou kilométriques de sédiments argileux oligocènes. La roche retenue pour ce secteur est cependant granite ou roches métamorphiques, sans tenir compte de ces enclaves.

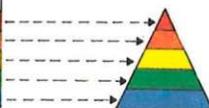
A titre d'exemple (p. 26-27), un transect de Limoges à Lyon à travers le Massif Central nord est présenté avec les éléments analytiques du découpage en secteurs écologiques (roches, étages de végétation, régimes pluviométriques) et la codification des différents secteurs. Les enclaves de faible importance n'ont pas été prises en compte.

TABLEAU SYNTHETIQUE DES SECTEURS ECOLOGIQUES

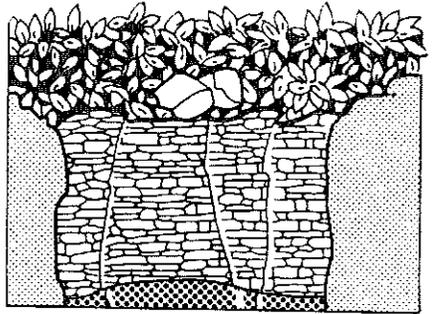
Roche mère \ Climat		Roches granitiques	Roches métamorphiques	Basaltes	Autres roches volcaniques	Grès et schistes primaires	Calcaires	Marnes, argiles et sables
		1	2	3	4	5	6	7
Atlantique	Médio-européen 1							
	strict 2							
	subatlantique 3							
	aquitaniens 4							
Bordure Sud-orientale	aquitaniens montagnards 5							
	méditerranéens montagnards 6							
Semi-continental 7								

ETAGE DE VEGETATION

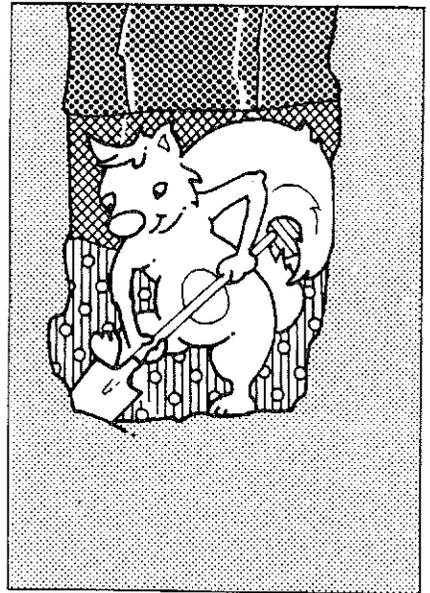
Etage	sous-étage	Série	Code
Subalpin		chaumes	5
	supérieur	Hêtraies-pessières	4
Montagnard	moyen	Hêtraies-sapinières	3
	inférieur	Chênaies-hêtraies	2
Collinéen		Chênaie	1



N.B. : Seules sont traitées les roches granitiques et métamorphiques (1 et 2) dans ce document.



3 **Typologie des stations**



3 - TYPOLOGIE DES STATIONS

3.1 - Principes

La caractérisation des stations est réalisée, au sein de chaque secteur écologique, par une estimation qualitative de la réserve en eau et du niveau trophique. Le fait de caractériser les stations par les deux bilans (eau et éléments nutritifs) qui servent également à estimer les potentialités forestières permet de greffer très facilement un choix d'essences sur une description du milieu. Comme cela a été annoncé dans la première partie, le bilan en eau s'estime à partir de la description des matériaux (issus d'altérations et de remaniements passés, il s'agit d'éléments hérités), et le bilan en éléments nutritifs à partir de la description des sols (évolution et pédogénèse actuelle, il s'agit d'éléments actifs). La compréhension des matériaux hérités fait appel à la géomorphologie, la compréhension des sols actuels fait appel à la pédologie. Les matériaux hérités, parfois appelés formations superficielles, jouent le rôle de roche-mère des sols actuels, dont ils constituent l'horizon C. La compréhension de cette réalité de terrain, essentielle pour la suite du document, est résumée dans le tableau ci-dessous :

Bilan	Diagnostic	Fonctionnement	Discipline
Eau	Matériau	Ancien	Géomorphologie
Nutrition	Sol	Actuel	Pédologie

La roche géologique, roche mère des matériaux, est sous-jacente à ce tableau.

Cependant, certains paramètres importants pour limiter la croissance des peuplements forestiers ne rentrent pas dans ce schéma. Il s'agit surtout du vent et de l'hydromorphie, dont l'importance doit être évaluée en dehors du schéma proposé.

En dehors de ces contraintes particulières, la station est assimilée à un diagnostic de niveau trophique et de réserve en eau et caractérisée par le triptyque :

- roche
- matériau
- sol.

Aussi, l'altération des différentes roches est-t-elle étudiée dans le Massif Central, en se limitant aux roches cristallines et cristallophylliennes dans ce document.

L'altération de la roche conduit à un matériau, appelé également formation superficielle par les géomorphologues et roche-mère par les pédologues. Mais ces trois noms désignent le même objet. Il faut bien garder présent à l'esprit que ces

matériaux se sont souvent formés sur des laps de temps très long, et sous des conditions climatiques différentes des conditions actuelles, souvent plus froides.

Depuis la fin de la dernière glaciation, ces matériaux ont évolué par pédogénèse, sous l'action du monde vivant suite à la recolonisation végétale consécutive au réchauffement climatique.

3.2 - Etude des matériaux

Les matériaux sont créés au dépens de la roche. Aussi leur nature est évidemment sous la dépendance de la nature des roches qui les ont générés. C'est en grande partie la justification de l'importance du découpage géologique dans la construction des secteurs écologiques proposée dans le paragraphe précédent.

3.2.1 - Cas des granites ($c = 1$)

Tant vis-à-vis de la texture des formations meubles que de la richesse en bases des minéraux altérés, on peut reconnaître trois types de granite, donc trois types de roches dans la famille des granites. Ces roches sont codées en d . La reconnaissance de ces types de granites est difficile, voire impossible sur le terrain. Il faut faire appel à la carte géologique, qui les distingue systématiquement, au moins dans la notice. Ces granites correspondent à une richesse croissante (de $d = 1$ à $d = 3$) en éléments ferromagnésiens altérables, et sont codés comme suit :

	leucogranite	1	d
Roche	gran. monzonitique	2	
	granodiorite	3	

L'altération des granites a connu deux phases :

- arénisation par hydrolyse ménagée sous climat tempéré fini-tertiaire
- reprise des arènes par cryoclastie sous climat périglaciaire quaternaire et formation de convois limoneux à blocs qui recouvrent les versants.

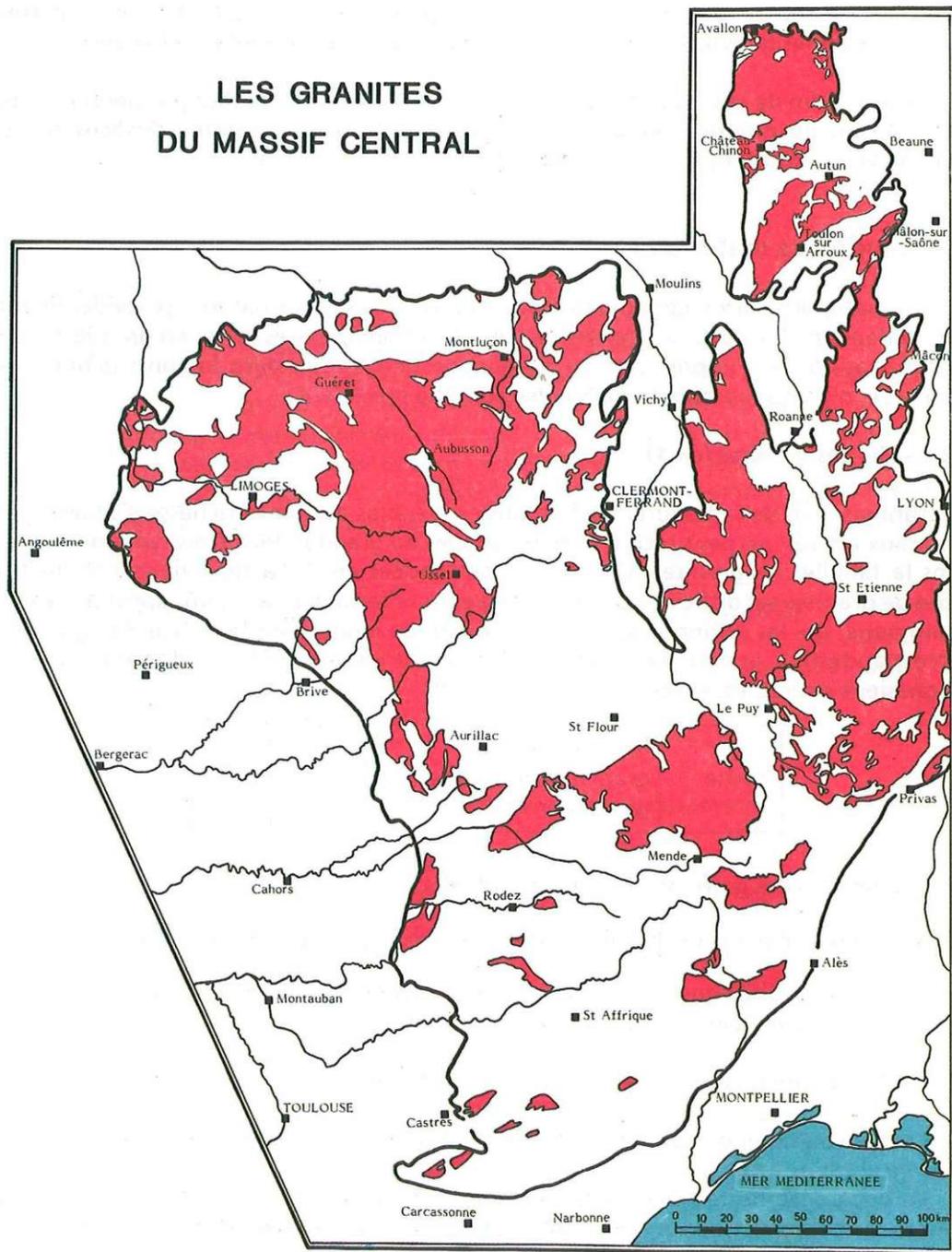
L'arène est de texture sableuse, parfois graveleuse.

Les convois limoneux sont de texture sablo-limoneuse à limono-sableuse.

La différence de texture de ces deux formations rend indispensable leur reconnaissance et diagnostic pour une estimation correcte des réserves en eau des sols.

Tant l'arène que les convois limoneux à blocs peuvent avoir été évacués par érosion, et le profil type :

LES GRANITES DU MASSIF CENTRAL



D'après la carte du B.R.G.M.

LEGENDE :

- Granites
- limite du Massif-Central



- granite sain
 - granite arénisé
 - convoi limoneux à blocs
- peut être tronqué.

Finalement, la caractérisation du matériau (e & f) portera sur l'épaisseur de ces deux formations diagnostiques, soit :

Tableau IV : Codes - d - e - f - : cas des granites (c = 1)

Elément	Description	Code	
Roche	leucogranite	1	d
	gran.monzonitique	2	
	granodiorite	3	
Arène	absente	0	e
	superficielle	1	
	profonde	2	
Convoi limoneux	absent	0	f
	épaisseur < 30 cm	1	
	épaisseur < 60 cm	2	
	épaisseur < 100 cm	3	
	épaisseur > 100 cm	4	

Ainsi, le type 222 signifie : granite monzonitique profondément arénisé recouvert d'un convoi limoneux à bloc d'épaisseur moyenne.

3.2.2 - Cas des roches métamorphiques (c = 2)

Les roches métamorphiques sont d'anciennes roches sédimentaires, transformées par recristallisation de nouveaux minéraux du fait d'une élévation puissante de température et de pression.

Dans le Massif Central, ces anciennes séries sédimentaires sont d'origine pélitique (argiles) ou gréseuse, et datent du début de l'Ere Primaire (Ordovicien et Silurien).

La classification des roches métamorphiques se réalise donc en fonction :

- de la série sédimentaire d'origine
- de l'intensité du métamorphisme.

La gradation de l'intensité du métamorphisme est la suivante : schistes - micaschistes - gneiss - migmatites - granites.

En fait, dès le début du métamorphisme, les traces de la sédimentation originelle s'estompent et le litage disparaît. La structure des roches, et les lignes de faiblesse qui guideront ultérieurement l'altération, sont liées à la schistosité. La schistosité est un feuilletage des roches acquis sous l'effet d'une forte contrainte mécanique et thermique. Une coupure importante est le début de l'anatexie dans les migmatites : la fusion partielle des minéraux détruit toute trace de schistosité, et l'on passe insensiblement d'une altération en plaquettes, caractéristique des micaschistes, à une altération en boules, caractéristique des roches éruptives, notamment des granites.

Aussi, en vue de l'étude de l'altération, on est amené à distinguer cinq types de roches dans la famille des roches métamorphiques, codées comme suit (code -d-) :

Roche	schiste	1	d
	micaschiste à biotite	2	
	micaschiste quartzeux	3	
	gneiss	4	
	migmatite	5	

Ces différentes roches se reconnaissent sur le terrain par une clé faisant appel aux minéraux que l'on peut reconnaître à l'oeil nu. Ces minéraux se présentent dans les roches métamorphiques sous forme de cristaux, et sont le mica, le feldspath et le quartz. Une clé pratique de reconnaissance des minéraux et des roches est présentée en annexe.

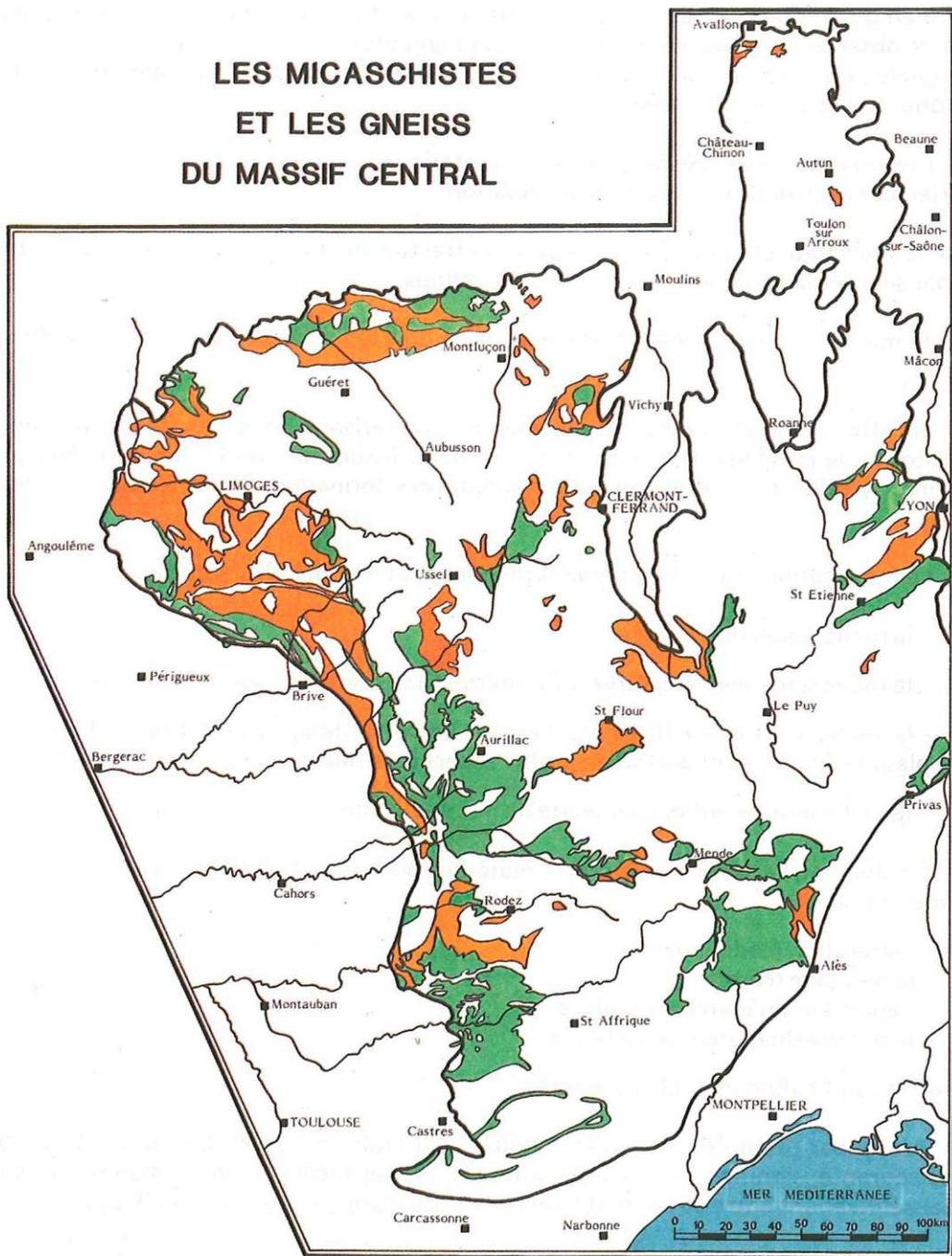
Les roches métamorphiques ont également subi deux phases d'altération qui se sont succédées dans le temps :

- phase d'argilisation sous climat chaud fini-tertiaire, dont il reste peu de traces,
- délitage par cryoclastie.

Contrairement aux granites qui, très souvent, restent couverts de manteaux d'arène, les roches métamorphiques ont quasi systématiquement perdu leur couverture tertiaire argileuse, et seule subsiste en cas d'altération un manteau plus ou moins épais de matériaux d'origine cryoclastique. La texture de ces matériaux est variable, mais dépend en partie de la roche mère selon un gradient qui suit approximativement l'intensité du métamorphisme, selon le tableau suivant :

Roche	Texture
Schistes	argilo-limoneuse
Micaschiste à biotite	limono-argileuse
Micaschiste quartzeux	limoneuse
Gneiss	limono-sableuse
Migmatites	sablo-limoneuse

LES MICASCHISTES ET LES GNEISS DU MASSIF CENTRAL



D'après la carte du B.R.G.M.

LEGENDE :

- Limite du Massif-Central
- Micaschistes
- Gneiss et schistes cristallins indifférenciés



Bien que n'étant pas automatique, cette liaison est largement dominante dans les profils observés pour les micaschistes et les migmatites. Ce n'est cependant pas le cas sur gneiss, où la texture du matériau peut être très variable, bien qu'une dominante limono-sableuse semble se dégager.

L'estimation de la réserve en eau des matériaux sur roches métamorphiques peut s'effectuer à partir de deux types d'information :

- si le matériau est épais, l'estimation s'effectue de façon classique à partir de l'épaisseur, de la texture et de la teneur en cailloux
- si le matériau est peu épais, cette estimation doit tenir compte de l'altération de la roche.

En effet, les roches métamorphiques se caractérisant dans leur faciès par une schistosité, le pendage de la schistosité et de la fissuration des roches peut être un élément crucial du bilan d'eau si le manteau des formations superficielles est peu épais.

La fracturation des roches métamorphiques peut prendre plusieurs aspects :

- la roche saine, non altérée,
- la roche seulement fracturée, où l'altération se présente sous forme de fissures,
- la roche fracturée délitée, où l'espace entre les fissures se délite en blocs ou plaquettes, donnant parfois au profil l'aspect d'un mur en pierres sèches,
- la roche altérée enfin, recouverte de matériaux fins.

Finalement, la caractérisation du matériau portera, outre sur le type de roches (code -d-), sur :

- l'altération (code -e-),
- le pendage (code -f-),
- l'épaisseur du matériau (code -g-),
- la texture du matériau (code -h-)

selon la codification du tableau ci-après.

Ainsi, par exemple, la station "2-3032" (d-efgh ; d = 2, e = 3, f = 0, g = 3, h = 2), très courante, signifie : micaschistes à biotite altérés recouverts d'un matériau d'une épaisseur variant entre 60 cm et 100 cm de texture dominante limono-argileuse.

La figure suivante présente un exemple de codification du matériau le long d'une chaîne de stations sur un versant micaschisteux. Cet exemple est inspiré des Hautes Cévennes.

Tableau V : Codes d-e-f-g-h : cas des roches métamorphiques (c = 2)

Elément	Description	Code	
Roche	schiste	1	d
	micaschiste à biotite	2	
	micaschiste quartzeux	3	
	gneiss	4	
	migmatite	5	
Altération	non altéré	0	e
	fracturé	1	
	fracturé-délimité	2	
	altéré	3	
Pendage	non observable	0	f
	conforme	1	
	inverse	2	
Matériau Epaisseur	absent	0	g
	épaisseur < 30 cm	1	
	épaisseur < 60 cm	2	
	épaisseur < 100 cm	3	
	épaisseur > 100 cm variable	4 5	
Matériau Texture	argilo-limoneuse	1	h
	limono-argileuse	2	
	limoneuse	3	
	limono-sableuse	4	
	sablo-limoneuse	5	

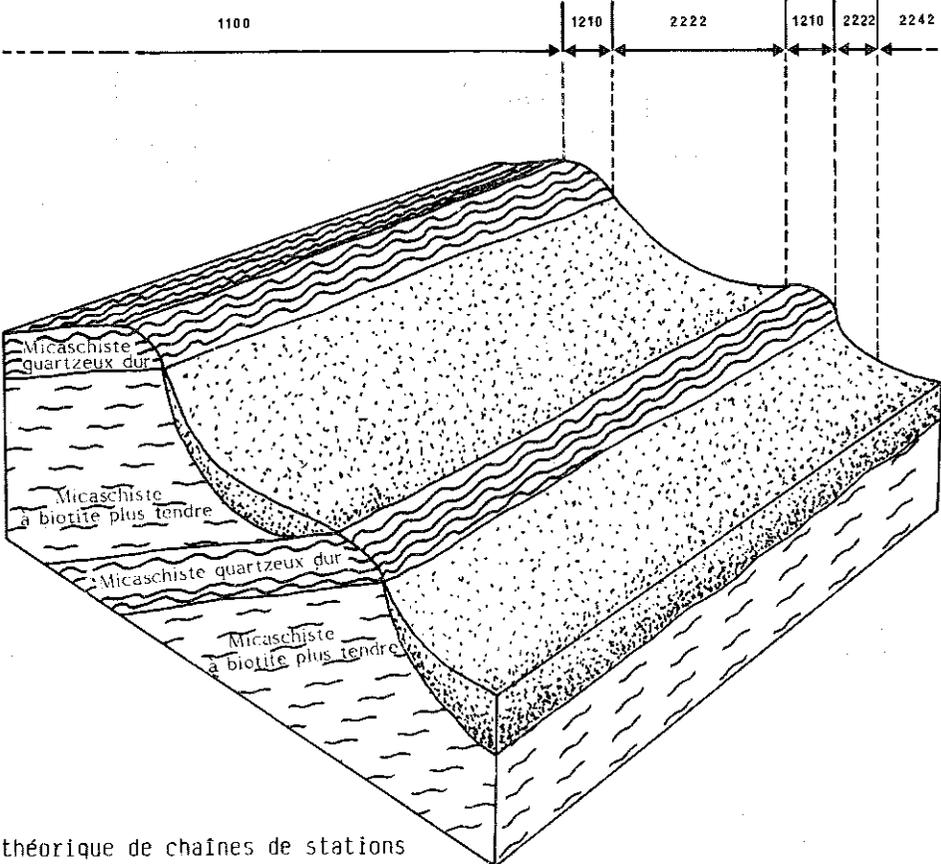
3.2.3 - Cas des autres roches (c = 3 à 7)

Les autres roches distinguées vis à vis de la logique d'altération et des matériaux sont :

- les basaltes
- les autres roches volcaniques
- les grès et schistes primaires
- les calcaires (dont les marnes et dolomies)
- les argiles et sables

et ne sont pas traitées dans le présent document.

Profils sur micaschistes : un exemple



Exemple théorique de chaînes de stations sur micaschistes - Description de matériau

3.3 - Etude des sols

3.3.1 - Présentation et caractères retenus

La terminologie utilisée est celle proposée par Ph. DUCHAUFOR dans son précis de pédologie et présentée de façon synthétique dans "Atlas écologique des sols du Monde".

Les sols sont, dans leur grande majorité, le fruit de l'évolution des matériaux sous des conditions climatiques tempérées depuis la fin des dernières glaciations. Le réchauffement climatique a permis la reconquête végétale, et le cycle d'évolution pédogénétique des formations superficielles d'origine froide a pu être amorcé et se poursuit de nos jours.

L'essentiel des sols sur substrat acide non hydromorphe sont de type brun ou podzolisés. Ils se répartissent quant à la fertilité (disponibilité en éléments nutritifs) sur un gradient dont les pôles sont le sol brun eutrophe d'une part et le podzol d'autre part. L'immense majorité des sols rencontrés est de type brun acide ou brun ocreux.

Les caractères retenus pour la description des stations sont ceux permettant de se positionner sur ce gradient trophique. L'estimation qualitative du niveau trophique d'un sol est présentée dans le paragraphe 4.2, et les observations retenues pour la caractérisation des stations sont :

- le type de sol
- le type d'humus

Le type de sol sur le terrain se diagnostique par la reconnaissance des différents horizons et le type d'humus.

3.3.2 - Types de sols

La classification adoptée est la classification proposée par Ph. Duchaufour. Les types de sol sont décrits par un caractère à deux chiffres : le premier, code -i-, indiquant la famille du sol, le second, code -j- précisant le type de sol dans la famille.

Dans la plupart des cas, le type de sol peut être obtenu à partir des observations simples suivantes :

- le développement du profil (ensemble des horizons), qui traduit en général le degré d'évolution du sol,
- le type d'humus.

Famille	Code	i
Lithosols	0	
Rankers	1	
Andosols	2	
Sols calcimagnésiques	3	
Sols brunifiés	4	
Sols podzolisés	5	

Type de sol	Code	ij
Lithosol	00	
<u>Rankers</u>		
Ranker d'érosion	11	
Ranker cryptopodzolique	12	
<u>Andosols</u>		
Andosol humifère	21	
Andosol différencié	22	
<u>Sols calcimagnésiques</u>		
Sol humo-calcaire	31	
Rendzine	32	
Rendzine brunifiée	33	
Sol brun calcique	34	
<u>Sols brunifiés</u>		
Sol brun eutrophe	41	
Sol brun mésotrophe	42	
Sol brun lessivé	46	
Sol brun acide	44	
Sol brun ocreux	45	
<u>Sols podzolisés</u>		
Sol ocre podzolique	51	
Sol podzolique	52	
Podzol humo-ferrugineux	53	

Une clé de reconnaissance des sols sur roches acides, cristallines ou cristallophylliennes (familles de sols 4 & 5) est proposée en annexe.

3.3.3 - Types d'humus

Dans une première approche schématique, la codification suivante peut être retenue :

Type d'humus	Code	
Mull eutrophe	1	k
Mull mésotrophe	2	
Mull acide	3	
Mull moder	4	
Moder	5	
Moder mor	6	
Mor	7	

La clé de détermination se situe en annexe.

3.4 - Corrections topographiques

Le diagnostic précédent ne décrivait que l'état du profil.

Une correction est nécessaire pour tenir compte des échanges entre profils, par exemple sur une pente. Ces échanges sont liés à la topographie.

Deux descripteurs de la topographie sont retenus :

- l'exposition
- la position sur la pente

codés comme suit :

Exposition (en quadrants)

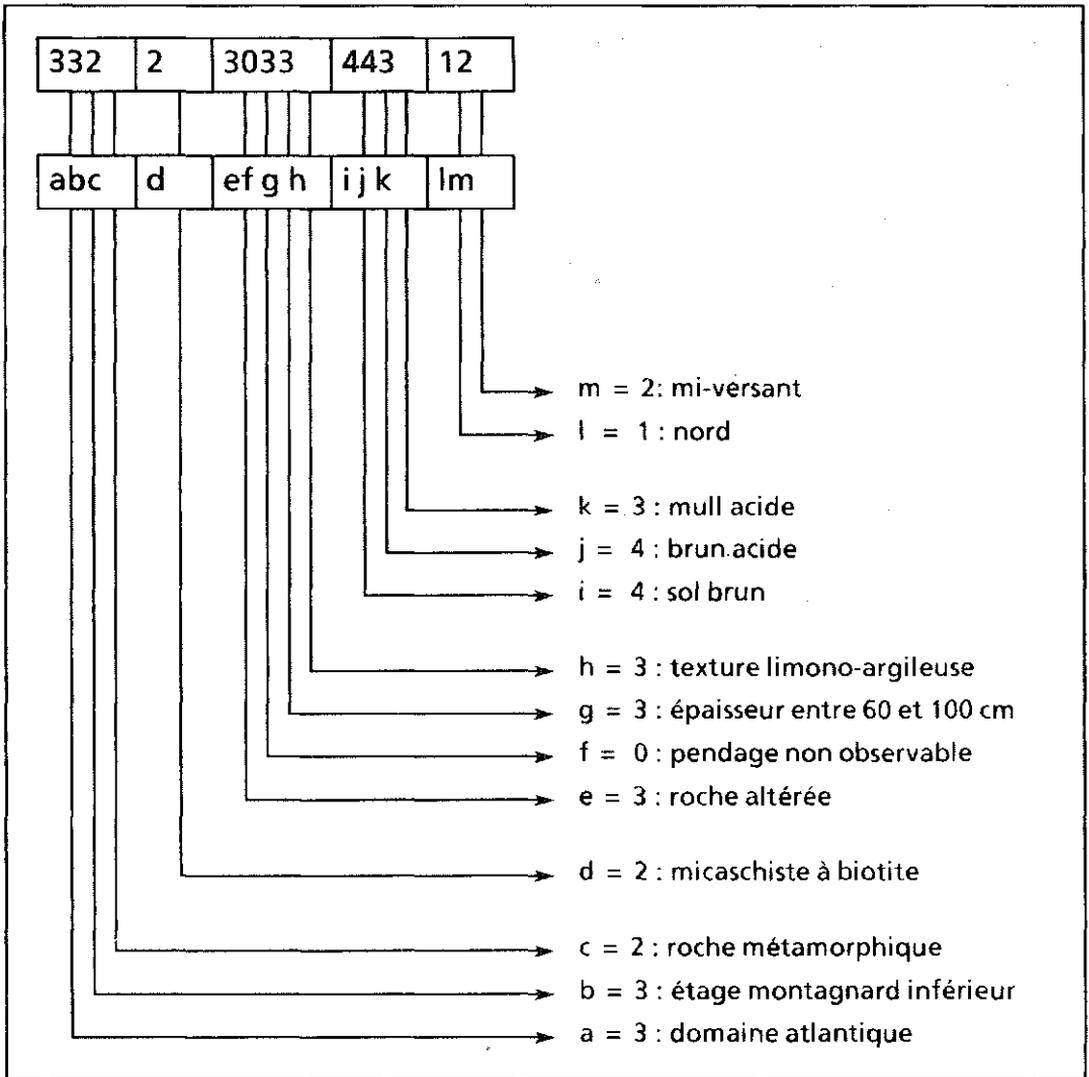
Exposition	Domaine	Code	
Nord	NO à NE	1	l
Est	NE à SE	2	
Sud	SE à SO	3	
Ouest	SO à NO	4	

Position sur la pente

Position topographique	Code	
Plateau	0	m
Haut de versant	1	
Mi-versant	2	
Bas de versant	3	

3.5 - Exemple

Ainsi, la station "332-2-3033-443-12" se décrit comme suit :



Remarque : ici, il faut reconnaître que la multiplication des codes peut paraître rébarbative, et une remarque s'impose : en aucun cas, il ne faut mémoriser l'ensemble des codes et échanger l'information sur le milieu sous forme de successions de chaînes de 13 chiffres ! Cette présentation a été choisie pour clarifier et normaliser la description du milieu finalisée vers le choix des essences : les principales informations nécessaires pour estimer le niveau trophique, la réserve en eau et les facteurs limitants climatiques sont dans la codification proposée.

TEXTURE					
	1	2	3	4	5
0	E	E	E	E	E

4..... Réserve en eau et niveau trophique

1	E	E	E	D	D
2	D	D	C	C	C
3	C	B	B	B	A
4	A	A	A	A	A



4 - RESERVE EN EAU ET NIVEAU TROPHIQUE

Le diagnostic de réserve en eau et de niveau trophique permet de faire le lien entre les stations forestières (description du milieu) et le choix des essences (application sylvicole). C'est le point le plus important de la démarche présentée dans ce document, car c'est vers l'estimation correcte de ces deux bilans que l'ensemble du processus a été finalisé.

Il faut donc traduire en ces termes les renseignements écologiques obtenus au chapitre précédent.

4.1 - Réserve en eau

Pour un sol donné, la réserve en eau (R.U.) peut être estimée quantitativement à partir de l'épaisseur, de la charge en cailloux et de la texture de la fraction fine de chacune des couches homogènes qui s'y superposent. Cependant, vis à vis des connaissances que l'on possède sur l'autécologie des différentes essences, on peut se contenter d'une description plus grossière, par classes, qualitative, de la réserve en eau. Les deux estimations sont présentées ci-après.

4.1.1 - Estimation quantitative

Pour estimer quantitativement la réserve en eau, on peut effectuer séquentiellement les opérations suivantes :

- décomposer les formations meubles en horizons de texture homogène
- estimer quantitativement la réserve en eau pour chaque horizon en fonction de :
 - l'épaisseur
 - la texture de la fraction fine
 - la teneur en cailloux
- faire la somme pour les différents horizons
- effectuer la correction topographique.

Par horizon, l'estimation de la réserve en eau des formations superficielles est réalisée de la façon suivante :

1 - Soit h la texture de l'horizon

2 - On lui affecte une réserve en eau théorique $R(h)$ exprimée en mm de réserve par cm de sol, selon le tableau suivant :

Texture	R.U. en mm/cm
Sableuse	0,7
Sablo-limoneuse	1,0
Sablo-argileuse	1,4
Limono-sableuse	1,4
Limono-sablo-argileuse	1,6
Limono-limoneuse	1,4
Limoneuse fine	1,8
Limono-argileuse	2,0
Limono-argilo-sableuse	1,8
Argileuse	1,8
Argilo-sableuse	1,7

3 - On estime la profondeur réelle, soit P, de la formation superficielle

4 - On estime la teneur en cailloux, soit Tc

5 - On calcule la profondeur utile, soit PU : $PU = P.(1-Tc)$

6 - On calcule la réserve en eau, soit R.U. par :

$$R.U. = R(h).PU$$

$$= R(h).P. (1-Tc)$$

Exemple : Texture limono-argilo-sableuse

Profondeur de 90 cm

Teneur en cailloux de 30 %, soit Tc = 0,3

$$R(h) = 1,8 \text{ mm/cm}$$

$$P = 90 \text{ cm}$$

$$Tc = 0,3$$

$$1-Tc = 0,7$$

$$PU = 90.0,7 \text{ cm} = 63 \text{ cm}$$

$$R.U. = 1,8.63 \text{ mm} = 113,4 \text{ mm arrondis à } 110 \text{ mm.}$$

4.1.2 - Estimation qualitative

De façon plus qualitative, la réserve en eau peut être estimée qualitativement selon une échelle :

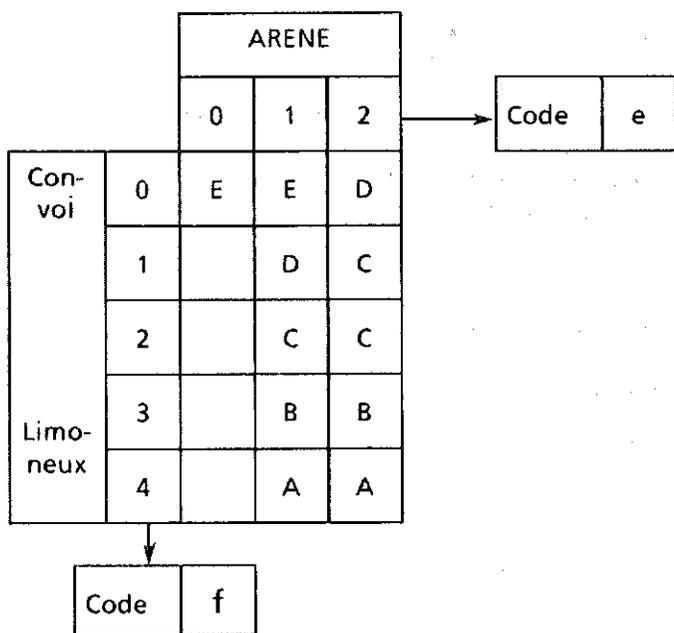
Réserve	Extrêmes	Notation
Nulle ou très faible	< 30 cm	E
Faible	30 à 60 mm	D
Moyenne	60 à 100 mm	C
Forte	100 à 150 mm	B
Abondante	> 150 mm	A

La réserve en eau est essentiellement contenue dans les formations meubles, donc dans les matériaux, qu'ils soient repris ou non par pédogénèse. Aussi, la typologie proposée de ces matériaux se comprend à la lumière de cette estimation qualitative de la réserve en eau.

Celle-ci peut être déterminée à partir des éléments diagnostiques e, f, g et h comme cela est présenté dans ce qui suit.

● **Cas des roches granitiques (c = 1)**

La réserve utile est fonction de l'épaisseur de l'arène (code -e-) et du convoi limoneux (code -f-).



● **Cas des roches métamorphiques (c = 2)**

Le raisonnement est alors légèrement plus complexe. La réserve en eau des sols a une double origine :

- le piégeage des éléments fins dans les fissures de la roche altérée
- les formations superficielles.

Ces deux éléments peuvent être estimés séparément et ajoutés pour obtenir la réserve utile totale de la façon suivante:

- une première estimation de la réserve en eau du matériau est réalisée à partir de la profondeur et de la texture des formations superficielles;
- cette estimation est complétée éventuellement par les éléments fins accumulés dans les fissures de la roche altérée.

La réserve utile des formations superficielles en fonction de leur épaisseur (code-g-) et de leur texture (code -h-) est donnée dans le tableau suivant :

		TEXTURE						
		1	2	3	4	5		
Epais- seur	0	E	E	E	E	E	Code	h
	1	D	D	E	E	E		
	2	C	C	C	D	D		
	3	A	B	B	B	C		
	4	A	A	A	A	A		

↓

Code	g
------	---

		ALTERATION ET PENDAGE									
		0		1		2		3			
		1	2	1	2	1	2	1	2		
Maté- riau	E	E	E	E	D	E	D	D	D	Code	e
	D	D	D	D	D	D	C	D	C		
	C	C	C	C	C	C	B	C	B		
	B	B	B	B	A	A	A	A	A		
	A	A	A	A	A	A	A	A	A		

↓

R.U. des formations superficielles	
------------------------------------	--

et le complément apporté par l'altération de la roche mère dans le tableau ci-dessus, qui utilise comme entrée en ligne la réserve utile des formations superficielles (tableau précédent) et en colonnes l'altération de la roche (code -e-) et le pendage de la roche (code -f-).

Ces résultats peuvent être présentés sous forme d'une clé de reconnaissance qualitative de la réserve en eau, comme suit :

Clé pour la réserve en eau

1 - Granites

2 - Roche non altérée	Asylvatique
2 - Roche altérée	
3 - Arène absente	E
3 - Arène présente	
4 - Convoi limoneux absent	
5 - Arène superficielle	E
5 - Arène bien développée	D
4 - Convoi limoneux \leq 30 cm	
6 - Arène superficielle	D
6 - Arène bien développée	C
4 - Convoi limoneux \leq 60 cm	C
4 - Convoi limoneux \leq 100 cm	B
4 - Convoi limoneux \geq 100 cm	A

1 - Roche métamorphique

7 - Matériau absent	
8 - Roche non altérée	Asylvatique
8 - Roche fracturée ou délitée	
9 - Pendage conforme	E
9 - Pendage inverse	D
8 - Roche altérée	D
7 - Matériau à réserve faible	
10 - Roche non altérée ou fracturée	D
10 - Roche délitée ou altérée	
11 - Pendage conforme	D
11 - Pendage inverse	C
7 - Matériau à réserve moyenne	
12 - Roche non altérée ou fracturée	C
12 - Roche délitée ou altérée	B
7 - Matériau à réserve forte	
13 - Roche non altérée	B
13 - Roche fracturée	
14 - Pendage conforme	B
14 - Pendage inverse	A
13 - roche délitée ou altérée	A
7 - Matériau à réserve abondante	A

4.2 - Niveau trophique

Contrairement à la réserve en eau, le niveau trophique ne peut se chiffrer sur le terrain, et il faut rester là sur un plan purement qualitatif. Il serait possible d'estimer les réserves minérales, par des mesures sur des échantillons de sol en laboratoire, mais non les réserves organo-minérales assimilables, qui, elles, représentent la fertilité d'un sol. Plusieurs grandeurs, dont le taux de saturation S/T, le rapport C/N, le pH du sol, tendent à estimer la disponibilité en réserves assimilables.

Les principaux éléments dont il est nécessaire d'estimer la disponibilité sont :

- l'azote : N
- le calcaire : Ca
- le phosphore : P
- le potassium : K
- le magnésium : Mg

Ils proviennent de deux sources :

- l'altération de la roche mère
- la décomposition de la matière organique

sauf l'azote qui provient uniquement de la décomposition de la matière organique.

Ces éléments assimilables se trouvent sous forme ionique simple ou composée dans les complexes argilo-humiques et les solutions du sol. L'estimation du niveau trophique d'un sol se fera donc par l'observation :

- de la source des minéraux :
 - altération de la roche
 - décomposition de la M.O.
- de leur disponibilité :
 - complexe argilo-humique.

● L'altération de la roche est toujours une hydrolyse ménagée. La quantité d'éléments minéraux libérés par unité de temps est fonction de l'altérabilité des minéraux de la roche, selon le gradient décroissant d'altérabilité :

- plagioclase calcique
- amphibole
- olivine
- pyroxène
- biotite
- plagioclase sodique
- orthose
- muscovite
- quartz.

L'estimation qualitative de libération par hydrolyse d'éléments minéraux sera donc fonction de la nature de la roche, donc du couple de code -c- & -d-. Cependant, il faut noter que pour les roches acides qui nous intéressent ici (granites et roches métamorphiques du Massif Central), ce critère n'est pas discriminant : quasiment tous les granites du Massif Central, y compris les leucogranites, sont relativement riches en éléments ferromagnésiens, et les nuances des roches ne se retrouvent pas dans la pédogénèse. En revanche, dans d'autres massifs comme par exemple les Vosges, il n'en n'est pas ainsi et le type de pédogénèse est fortement lié à la roche.

● **La décomposition de la matière organique** est liée à l'activité biologique des sols, elle même exprimée par le type d'humus. Le paramètre quantitatif qui permet de la mesurer est le rapport C/N, et le paramètre qualitatif le type d'humus, soit le code -k-. Duchaufour rappelle cependant que le rapport C/N à lui seul est insuffisant pour caractériser l'activité biologique des humus, et qu'une classification biochimique est indispensable. Relativement indépendante de la roche sur granites et roches métamorphiques dans le Massif Central (hormis les arènes sableuses brutes et les lithosols sur micaschistes non altérés affleurants), cette décomposition est essentiellement sous la dépendance des paramètres climatiques : température, précipitations, position topographique, vent,...

● **Le complexe argilo-humique** : son étude est indispensable pour caractériser la fertilité d'un sol. Ses qualités sont résumées quantitativement par le rapport S/T, exprimé en %, qui est le taux de saturation. Ce rapport exprime le rapport entre les sites du complexe occupés par des ions assimilables (S) et le nombre total de sites (T). Elles peuvent être estimées qualitativement par la connaissance du type de pédogénèse (brunification, podzolisation, etc.), soit le type de sol, codifié par le doublet -ij-.

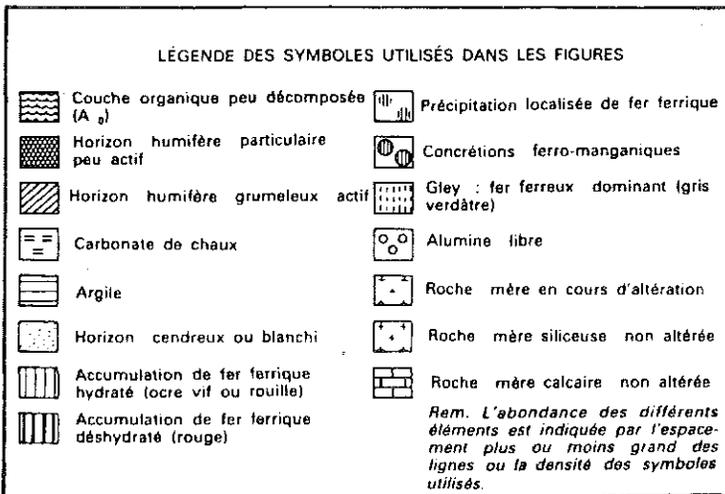
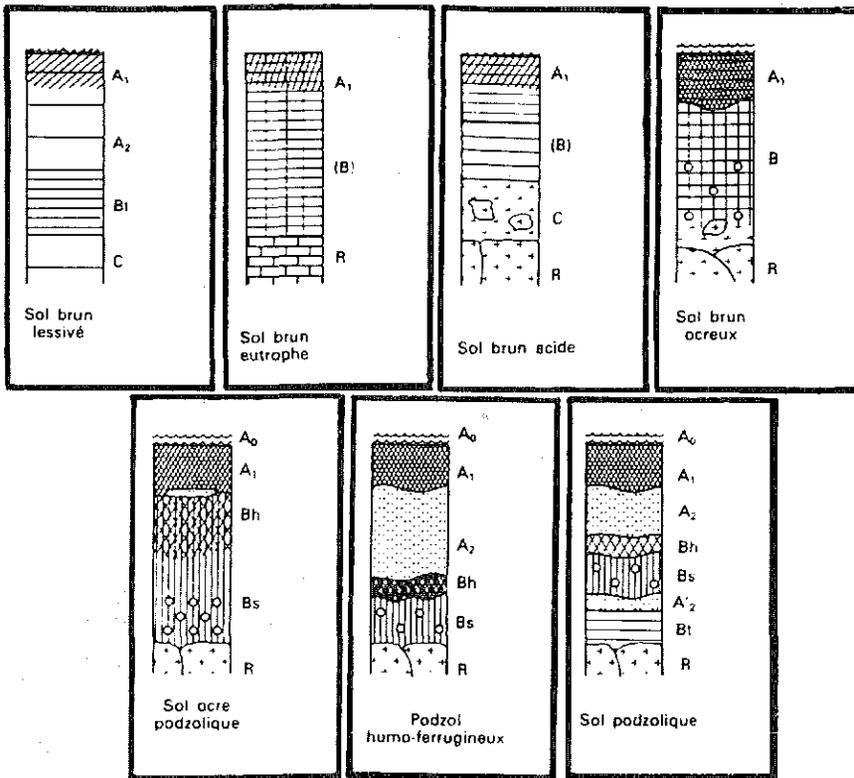
Vis-à-vis des connaissances assez rudimentaires que l'on a en autécologie forestière, on peut finalement décrire grossièrement le niveau trophique par quatre classes : eutrophe, mésotrophe, oligotrophe et hyperoligotrophe. Les caractéristiques biochimiques de ces niveau sont présentées dans le tableau ci-après :

Niveau trophique	C/N	S/T	pH	codes ijk
Eutrophe	< 15	> 75%	5,5 à 7	411
Mésotrophe	< 20	25 à 75%	4,5 à 6	422
Oligotrophe	< 20	< 25%	4 à 5	443, 454 433, 434
	20 à 30	< 10%	< 4,5	515
Hyperoligotrophe	> 25	< 5%	< 4	116 526, 537

Le tableau suivant permet de relier le niveau trophique aux éléments diagnostiques du type de sol : type de sol et type d'humus :

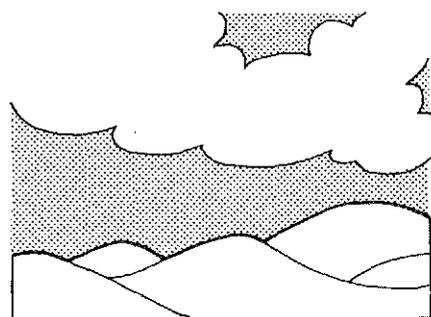
Sol	Humus	Niveau trophique
Brun eutrophe	Mull eutrophe	Eutrophe
Brun mésotrophe	Mull mésotrophe	Mésotrophe
Brun acide	Mull acide Mull moder	Oligotrophe Oligotrophe
Brun lessivé	Mull acide Mull moder Moder	Oligotrophe Oligotrophe Oligotrophe
Brun ocreux	Mull moder	Oligotrophe
Ocre podzolique	Moder	Oligotrophe
Podzolique Podzol Ranker	Moder-mor Mor Moder-mor	Hyperoligotrophe Hyperoligotrophe Hyperoligotrophe

Il semblerait que l'expression du niveau trophique des sols par les plantes soit liée à la forme de l'azote assimilable par les racines : les plantes neutrophiles s'alimenteraient en partie à partir de l'azote sous forme nitrique, libéré par la minéralisation primaire de l'humus, alors que les espèces acidiphiles se contenteraient de la forme ammoniacale, libérée par la minéralisation secondaire, ou humification. Les espèces neutrophiles s'alimenteraient également à partir de la forme ammoniacale de l'azote. Le rapport C/N en A_1 et dans l'humus est également un bon indicateur de la forme de l'azote assimilable.



TYPES DE SOLS d'après DUCHAUFOUR

in DELPECQ et AL. «Vocabulaire»



5... Autoécologie des principales essences



5 - AUTOÉCOLOGIE DES PRINCIPALES ESSENCES

5.1 - Classification des essences

Les essences sont classées dans ce qui suit en fonction de la connaissance de leur comportement autoécologique. Cette connaissance est essentiellement empirique, fruit de l'observation des forestiers plus que d'observations scientifiques.

La fiabilité d'une telle caractérisation autoécologique des essences peut alors dépendre d'une classification en trois catégories :

- les essences habituelles dont le comportement est globalement connu dans le Massif Central (exemple : hêtre, épicéa, douglas, sapin pectiné, ...), bien qu'il faille reconnaître qu'il y a encore débat sur les limites de telles essences (douglas en altitude, niveau trophique pour le merisier de belle qualité, etc.);
- les essences nouvelles pour lesquelles quelques références existent sans que l'on ait le recul suffisant pour garantir, sur un plan écologique, la réussite sur de grandes surfaces (exemple : sapin noble, ...);
- les essences totalement inconnues dans le Massif Central, pour lesquelles toute information devrait s'appuyer sur une expérimentation à installer, le cas échéant (exemple : Cryptoméria du Japon), et qui ne sont pas reprises ici.

Les indications qui suivent sont fournies :

- pour le Massif Central,
- dans un objectif de production quantitativement importante et-ou qualitativement bonne.

Les limites proposées, fondées sur un objectif sylvicole à connotation économique, pourront être plus restrictives que les limites biologiques, souvent plus souples.

Ainsi, par exemple, l'érable sycomore, dont la limite altitudinale proposée est l'étage montagnard moyen, a une amplitude écologique bien plus vaste : il participe naturellement aux hêtraies d'altitude de limite de végétation forestière dans les Vosges (Montagnard supérieur), colonise spontanément par endroits l'étage subalpin des Alpes où il est utilisé en reboisement pour lutter contre le décollement du manteau neigeux, est utilisé en reboisement par les forestiers de Forêt Noire pour reconstituer les pessières d'altitude détruites par le dépérissement, etc.

Cependant, dans ces secteurs d'altitudes, ni le port, ni la taille, ni la qualité du bois ne permettent une utilisation commerciale du bois d'érable sycomore : son rôle

est essentiellement biologique. Ainsi, les limites proposées sont plus restrictives que les limites biologiques.

Les résultats sont présentés sous forme de deux tableaux :

– un tableau climatologique, qui reprend les éléments diagnostiques "domaine climatique" [code -a-] et étage de végétation [code -b-] afin de tenir compte des facteurs limitants climatiques pour le choix des essences. Chaque case, à l'intersection d'un domaine climatique et d'un étage de végétation, comprend la liste des essences que l'on peut introduire au vu des conditions climatiques. C'est la liste 1.

– un tableau morpho-pédologique, qui présente en fonction du diagnostic de réserves en eau et de niveau trophique, la liste des essences pour lesquelles les conditions observées sont le facteur limitant. Afin d'éviter les redondances, nous n'avons pas répété les essences lorsque les facteurs étaient plus favorables. Sinon, le pin sylvestre, par exemple, aurait été présent dans toutes les cases du tableau.

Ainsi, pour obtenir la liste des essences qu'il est possible d'introduire au vu des conditions morpho-pédologiques, il faut adjoindre aux essences correspondant à la case du diagnostic toutes celles présentant des exigences moindres, c'est à dire des cases situées à la fois plus à gauche et plus haut dans le tableau.

L'honnêteté pousse cependant à reconnaître les limites d'exactitude de tels tableaux, qu'il faut prendre plus comme guide et garde fou que comme règle impérative : ils représentent un compromis entre la nécessité de devoir répondre à une question concrète (peut on ou non produire du merisier dans l'étage montagnard moyen ?) et la prudence qui demanderait d'étayer la réponse à une telle question par un réseau de références expérimentales adéquates. Ce réseau n'est pas constitué, et ne peut l'être raisonnablement dans un proche avenir. Il fallait donc parfois trancher sur des seuls critères empiriques, ce que nous avons fait.

La principale imprécision des tableaux proposés ci-après provient en fait des liens fonctionnels qui unissent ces deux tableaux, alors qu'ils sont présentés comme indépendants : la rigueur eût commandé de présenter un tableau morpho-pédologique par secteur écologique, alors que nous en proposons un pour le Massif Central.

Par exemple, dans le tableau morphopédologique, seule la réserve en eau des matériaux est considérée comme critère. En fait, il est clair que l'estimation de la disponibilité en eau au niveau racinaire dépend de :

- l'abondance des précipitations
- la répartition annuelle des précipitations
- la réserve en eau utile du matériau

- l'exposition
- la position topographique.

La réserve en eau des matériaux est un bilan qui évolue dans le temps entre :

- les entrées : précipitations, condensation, apports par écoulements hypodermiques, remontées capillaires
- les sorties : l'évapotranspiration, l'écoulement superficiel, le drainage

où interviennent donc :

le climat, le sol, la végétation, la topographie

donc, localement, l'ensemble des paramètres analysés pour définir des secteurs écologiques et des stations forestières.

Or, dans notre tableau morpho-pédologique, seule la réserve en eau du matériau est utilisée. Car il s'agit de la composante essentielle, avec les précipitations, du diagnostic du bilan d'eau.

C'est-à-dire que, une fois le diagnostic écologique réalisé en suivant les indications du chapitre sur la réserve en eau des matériaux, l'utilisateur doit penser à compléter l'estimation de disponibilité en eau par :

- le secteur écologique
- l'exposition
- la position topographique

Ces compléments pourront, dans certains cas, amener à modifier la classe de réserve en eau estimée à partir du seul matériau.

Un autre exemple où il peut sembler nécessaire de relativiser les tableaux est fourni par l'érable sycomore : s'il est choisi comme essence objectif dans l'étage montagnard, un sol brun eutrophe sera en général indispensable ; s'il est installé dans l'étage collinéen atlantique, il pourra se contenter d'un sol brun mésotrophe.

Les tableaux présentés ci-dessous, avec la conscience des limites exposées précédemment, représentent une bonne sécurité pour le choix des essences sur une base écologique.

5.2 - Tableau climatologique

		REGIONS CLIMATIQUES		
		ME + SC	A + SA + AQ + AM + MM	Md
Subalpin			Epicéa commun Pin à crochets Sapin noble (Pinus monticola) (Pinus contorta)	
Monta- gnard	M S	Epicéa commun Mélèze d'Europe	Epicéa commun Mélèze d'Europe Sapin noble	
	M. M	Pin sylvestre Mélèze d'Europe Epicéa commun Sapin pectiné Hêtre	Sapin pectiné Douglas Mélèze d'Europe Mélèze du Japon Epicéa de Sitka Erable sycomore Merisier	Pin sylvestre Sapin de Nordmann Pin noir Autriche Pin laricio Corse Hêtre
	M I	Pin sylvestre Hêtre Erable plane Erable sycomore Frêne commun Merisier	Douglas Mélèze du Japon Mélèze d'Europe Epicéa de Sitka Sapin pectiné Hêtre Merisier Erable plane Erable sycomore Frêne commun	Pin sylvestre Cèdre de l'Atlas Pin laricio Corse Pin noir Autriche
Collinéen		Chêne rouvre Chêne pédonculé Chêne rouge Frêne commun Erable plane Pin sylvestre Pin laricio Corse Cèdre de l'Atlas	Douglas Chêne rouvre Chêne rouge Chêne pédonculé Merisier Erable plane Erable sycomore Frêne commun Pin sylvestre Pin laricio Corse Cèdre de l'Atlas	Chêne Pubescent Cèdre de l'Atlas Pin laricio Corse Pin noir Autriche

5.3. Tableau morphopédologique

		RESERVES EN EAU		
		Faibles (E, D)	Moyennes (C)	Fortes (A, B)
Niveau Tro- phique	Hyper.	Pin sylvestre Pin à crochets	Epicéa commun	
	Oligo.	Pin noir d'Autriche Pin laricio Sorbier des oiseleurs	Chêne rouge Chêne sessile Sapin pectiné Sapin de Nordmann Sapin noble Douglas	Epicéa de Sitka Mélèze d'Europe Mélèze du Japon
	Mésos.		Hêtre Chêne pédonculé	Erable sycomore Erable plane
	Eutr.			Merisier Frêne commun

5.4 - Guide pour le choix des essences

Au vu de ces deux tableaux, le choix des essences en fonction des conditions écologiques est alors simple. Nous le présentons sur l' exemple concret présenté au paragraphe 3.5 :

Station : 322-2-304-42-12

D'où : Secteur 322 :

Région climatique : SA

Etage de végétation : Montagnard inférieur

D'où la liste 1 des essences possibles selon des critères climatiques :

Douglas
Mélèze du Japon
Mélèze d'Europe
Epicéa de Sitka
Sapin pectiné
Hêtre
Merisier
Erable plane
Erable sycomore
Frêne commun

Matériau 304 : Réserve en eau très bonne : A
Sol 42 : Niveau trophique: Oligotrophe

Il n'y a pas de facteur limitant par rapport à la réserve en eau, mais par rapport au niveau trophique, ce qui nous amène à éliminer les feuillus précieux.

Il reste donc comme essences possibles :

Douglas
Mélèze du Japon
Mélèze d'Europe
Epicéa de Sitka
Sapin pectiné
Hêtre

Le choix entre ces différentes essences, entre un peuplement pur ou mélangé, etc. se fera ensuite sur des critères autres que stationnels.

Sur cette base, les choix d'essences sur une base écologique se ramènera à quelques types qui sont présentés ci-après :

5.4.1 - Reboisements d'altitude

Il s'agit des surfaces forestières situées dans l'étage montagnard supérieur, et parfois la base du subalpin, entre 1 350 et 1 450 m. Les facteurs limitants essentiels sont la faiblesse de la durée de la saison de végétation et le vent en site exposé (crêtes).

Les essences à retenir sont :

- *Picea exelsa* (épicéa commun)
- *Pinus montana* (pin à crochet)
- *Pinus contorta*
- *Abies procera* (sapin noble)

ainsi que :

- *Pinus monticola*
- *Abies balsamea*
- *Abies lasiocarpa*

Ces trois dernières espèces sont moins connues dans les reboisements, mais se comportent de façon remarquable dans l'arboretum du col des Trois Sœurs, et mériteraient pour cette raison d'être développées.

5.4.2 - Forêts de l'étage montagnard

Il s'agit là du cœur des massifs forestiers du Massif Central, situé entre 850 et 1350 m environ, avec un développement optimal entre 1 000 et 1 200 m.

Les principales essences que l'on peut retenir dans l'ensemble de l'étage montagnard sont les suivantes :

- *Fagus sylvatica* (hêtre)
- *Abies alba* (sapin pectiné)
- *Picea exelsa* (épicéa commun)
- *Larix decidua* (mélèze d'Europe)

et, comme essences restreintes dans l'étage montagnard inférieur des secteurs soumis à un climat de type atlantique :

- *Pseudotsuga menziesii* (douglas)
- *Picea sitchensis* (épicéa de Sitka)
- *Larix leptolepis* (mélèze du Japon)
- *Larix eurolepis* (mélèze hybride)

Le choix entre ces différentes espèces, notamment entre peuplement pur et peuplement mélangé, est alors sylvicole, et ne repose pas sur une analyse écologique du milieu.

5.4.3 - Enrichissement en feuillus précieux

L'enrichissement des massifs forestiers actuels en peuplements de feuillus précieux peut se révéler l'une des actions prioritaires d'utilisation des stations forestières. Il faut cependant bien garder à l'esprit que ces essences ont des exigences écologiques bien plus strictes que les peuplements résineux.

Les quatre principales essences dites "feuillus précieux" sont :

- *Acer pseudoplatanus* (érable sycomore)
- *Acer platanoides* (érable plane)
- *Prunus avium* (merisier)
- *Fraxinus excelsior* (frêne commun).

Les facteurs limitants pour leur installation sont d'ordre climatique et édaphique, avec comme ordre croissant d'exigence :

Érable sycomore, érable plane, merisier, frêne commun.

L'érable sycomore peut se contenter de sols bruns mésotrophes et croître dans l'étage montagnard inférieur, voire moyen, alors que le frêne exige des sols bruns eutrophes et devrait être cantonné, pour la production de grumes de qualité, à l'étage collinéen, voire par endroits montagnard inférieur.

D'autres feuillus pourraient être développés :

- *Sorbus torminalis* (alisier torminal)
- *Sorbus domestica* (sorbier domestique)
- *Pirus comunitis* (poirier sauvage)
- *Tilia cordata* (tilleul à petites feuilles) : connu pour son adaptation aux dépressions argilo-marneuses de l'étage collinéen sous influence continentale. Est donc bien adapté aux bassins d'effondrement semi-continentaux : Limagne, Forez, Brivadois, etc.

Tilia platyphyllos (tilleul à grandes feuilles), dont l'écologie est moins bien connue dans le Massif Central.

5.4.4 - Peuplements feuillus

Les seuls feuillus sociaux du Massif Central qui peuvent constituer des peuplements sont les chênes et le hêtre. Les chênes sont à éliminer au dessus de 400 à 500 m à cause des risques de gélivure. Le hêtre n'est à conserver dans un objectif de production de grumes feuillues de qualité que sur sols mésotrophes avec bonnes réserves en eau. Sur des stations de moindre qualité, le bois est nerveux.

5.4.5 - Sols à faibles réserves en eau

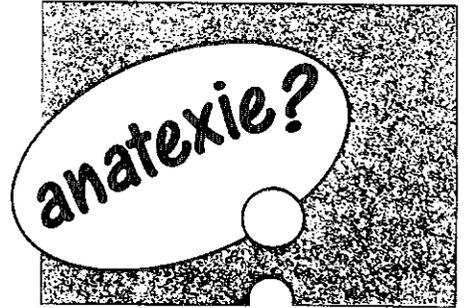
Il s'agit essentiellement des arènes sableuses non remaniées sur granites, migmatites et gneiss, ainsi que des sols superficiels sur micaschistes. Le facteur limitant est alors la réserve en eau des sols.

Dans l'étage colinéen ou montagnard inférieur, on peut proposer :

- Pinus sylvestris (pin sylvestre)
- Pinus nigra var. laricio (pin laricio)

Dans l'étage montagnard moyen et au delà :

- Pinus montana (pin à crochet)
- Pinus contorta.



Annexes

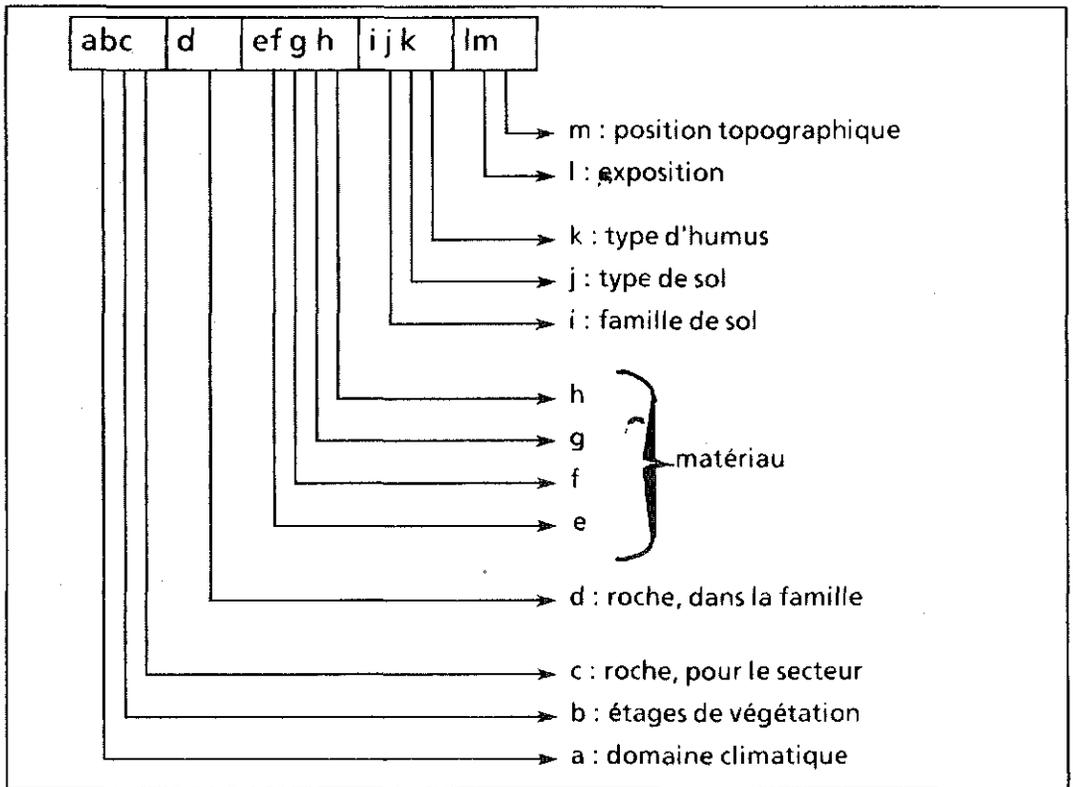


ANNEXES

ANNEXE I : Tableaux des codes

Codes	Domaines décrits
abc	Secteur écologique
d	Roche
efgh	Matériau
ijk	Sol
lm	Corrections topographiques

Selon la décomposition suivante :



Type	Sous-type	Abrv	Code	
Médio-européen		Me	1	a
Atlantique	strict	A	2	
	subatlantique	Sa	3	
	aquitaniens	Aq	4	
Bordure sud-orientale	aquitaniens montagnards	Am	5	
	méditerranéen montagnard	Mm	6	
Semi-continentale		Sc	7	

Etage	Sous-étage	Série	Code	
Collinéen		Chênaies	1	b
Montagnard	inférieur	Chênaies-hêtraies	2	
	moyen	Hêtraies-sapinières	3	
	supérieur	Hêtraies-(pessières)	4	
Subalpin		Chaumes	5	

Roches	Code	c
Granites	1	
Roches métamorphiques	2	
Basaltes	3	
Autres roches volcaniques	4	
Grès et schistes primaires	5	
Calcaires	6	
Marnes, argiles et sables	7	

Elément	Description	Code	
Roche	leucogranite	1	d
	gran.monzonitique	2	
	granodiorite	3	
Arène	absente	0	e
	superficielle	1	
	profonde	2	
Convoi limoneux	absent	0	f
	épaisseur < 30 cm	1	
	épaisseur < 60 cm	2	
	épaisseur < 100 cm	3	
	épaisseur > 100 cm	4	

Elément	Description	Code	
Roche	schiste	1	d
	micaschiste à biotite	2	
	micaschiste quartzeux	3	
	gneiss	4	
	migmatite	5	
Altération	non altéré	0	e
	fracturé	1	
	fracturé-délimité	2	
	altéré	3	
Pendage	non observable	0	f
	conforme	1	
	inverse	2	
Matériau Epaisseur	absent	0	g
	épaisseur < 30 cm	1	
	épaisseur < 60 cm	2	
	épaisseur < 100 cm	3	
	épaisseur > 100 cm variable	4 5	
Matériau Texture	argilo-limoneuse	1	h
	limono-argileuse	2	
	limoneuse	3	
	limono-sableuse	4	
	sablo-limoneuse	5	

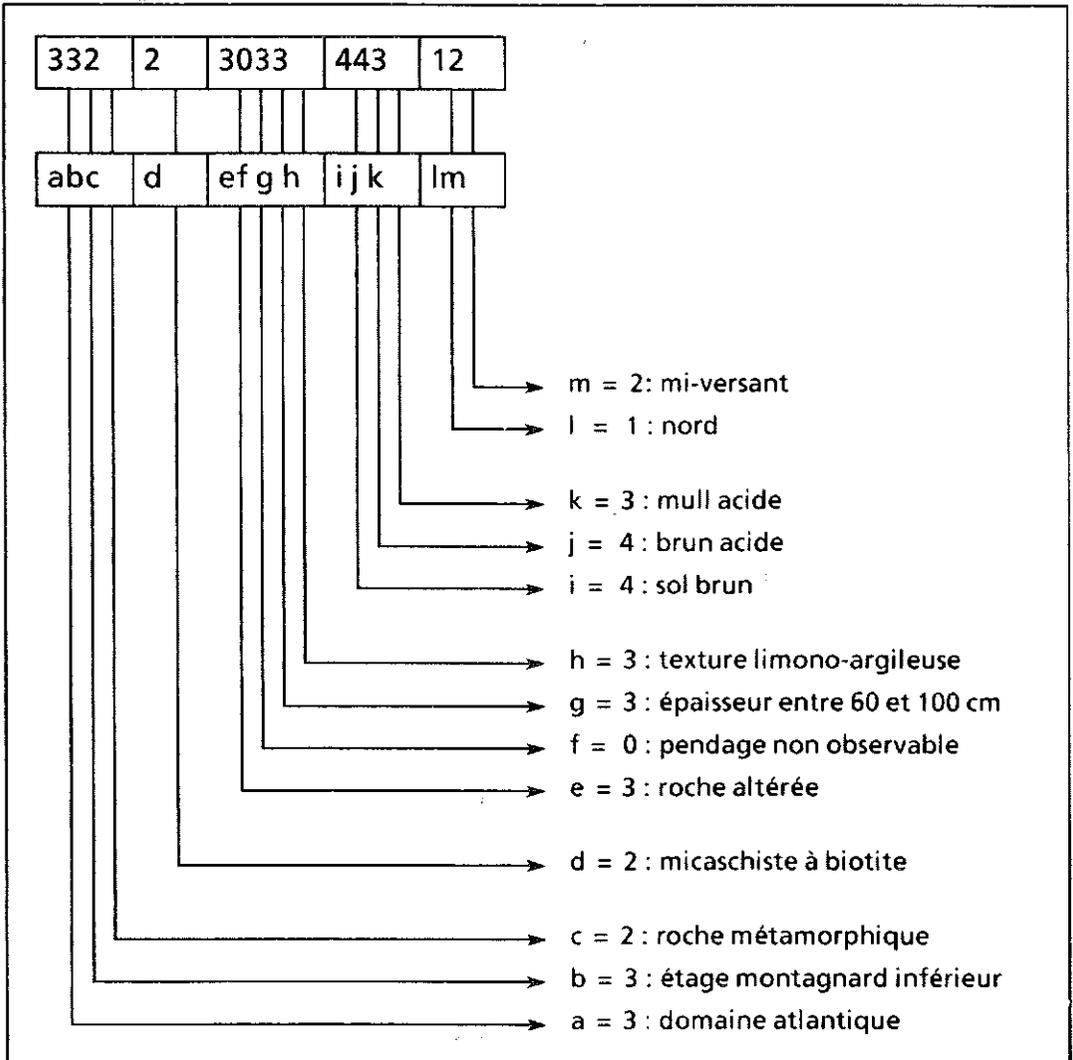
Famille	Code
Lithosols	0
Rankers	1
Andosols	2
Sols calcimagnésiques	3
Sols brunifiés	4
Sols podzolisés	5

Type de sol	Code
Lithosol	00
<u>Rankers</u>	
Ranker d'érosion	11
Ranker cryptopodzolique	12
<u>Andosols</u>	
Andosol humifère	21
Andosol différencié	22
<u>Sols calcimagnésiques</u>	
Sol humo-calcaire	31
Rendzine	32
Rendzine brunifiée	33
Sol brun calcaire	34
<u>Sols brunifiés</u>	
Sol brun eutrophe	41
Sol brun mésotrophe	42
Sol brun lessivé	46
Sol brun acide	44
Sol brun ocreux	45
<u>Sols podzolisés</u>	
Sol ocre podzolique	51
Sol podzolique	52
Podzol humo-ferrugineux	53

Type d'humus	Code
Mull eutrophe	1
Mull mésotrophe	2
Mull acide	3
Mull moder	4
Moder	5
Moder mor	6
Mor	7

Exposition	Domaine	Code	
Nord	NO à NE	1	
Est	NE à SE	2	
Sud	SE à SO	3	
Ouest	SO à NO	4	

Position topographique	Code	
Plateau	0	m
Haut de versant	1	
Mi-versant	2	
Bas de versant	3	



ANNEXE II : CLES

Clé de détermination des principales familles de roche

1 - Disposée en strates

Contenant des fossiles

Pas de cristaux visibles à l'oeil nu ou cristaux tous semblables

2 - Faisant effervescence à l'acide Calcaires

2 - Ne faisant pas effervescence
à l'acide

Raye le verre Grès

1 - Non disposée en strates

Ne contenant pas de fossiles

Constituée totalement ou en partie de cristaux

3 - Cristaux disposés en lits minces
et parallèles (feuilletés) Roche métamorphique

3 - Cristaux non disposés en lits minces

4 - Formée entièrement de cristaux ayant
à peu près la même dimension Granite

4 - Formée de cristaux englobés dans une pâte vitreuse

5 - Pâte sombre

Gros cristaux d'olivine, de pyroxène
ou de feldspath Basalte

5 - Pâte claire, parfois des cristaux de feldspath

6 - Avec mica Trachyte

6 - Sans mica Andésite

Clé de reconnaissance des minéraux

1 - Minéraux clairs

- 2 - Gris, vitreux, aspect de gros sel
Pas de face qui réfléchisse la lumière
Raye fortement le verre Quartz

- 2 - Blanchâtre, rosé, verdâtre
Des faces qui réfléchissent la lumière
Raye faiblement le verre Feldspath

- 2 - Blanc brillant
Clivable en fines lamelles transparentes Mica blanc

1 - Minéraux noirs

- 3 - Clivables en fines lamelles noirâtres Mica noir

- 3 - Non clivable en fines lamelles
Aspect en baguette
Parfois vert foncé Amphibole

- 3 - Non clivable en fines lamelles
Non à l'aspect de baguette
Forme plutôt trapue
Parfois vert foncé Pyroxène

1 - Minéraux rouges

- 4 - Rouge grenat
Aspect globuleux
Contour polygonal Grenat

Clé de détermination des roches

1 - Cristaux disposés en lits minces et parallèles (feuilletés)

- 2 - Feuilletés très fins et semblables, souvent soyeuse
Pas de cristaux de quartz visibles à l'œil nu Schiste
- 2 - Feuilletés plus ou moins fins, riches en mica noir ou blanc
Grains de quartz visibles à l'œil nu
Pas de cristaux de feldspath
visibles à l'œil nu Micaschiste
- 2 - Lits alternativement sombres et clairs
Cristaux de feldspath visibles
à l'œil nu Gneiss

1 - Cristaux non disposés en lits minces jointifs Granite

Clé des types d'humus

Les types d'humus se diagnostiquent selon les trois horizons organiques L, F et H :

- L : litière : couche de feuilles ou d'aiguilles peu modifiées, reconnaissables à l'œil nu,
- F : fragmentation : 10 à 70 % de débris végétaux fragmentés identifiables à l'œil nu,
- H : humine : plus de 70 % de débris végétaux décomposés, non identifiables.

1 - Présence d'un horizon H

- 2 - Transition entre H et A nette Mor
- 2 - Transition peu nette et graduelle Moder

1 - Absence d'un horizon H

- 3 - Présence d'un horizon F bien développé Mull-moder
- 3 - Horizon F absent ou faiblement développé
 - 4 - Horizon F faiblement développé Mull acide
 - 4 - Absence d'horizon F
 - 5 - Litière épaisse et développée Mull mésotrophe
 - 5 - Litière peu épaisse Mull eutrophe

Clé des types de sol (roches acides)

1 - Absence d'un horizon Bh

- | | |
|--|-----------------|
| 2 - Présence d'un horizon d'accumulation Bt | Brun lessivé |
| 2 - Absence d'un horizon d'accumulation Bt | |
| 3 - Humus type mull eutrophe | Brun eutrophe |
| 3 - Humus type mull mésotrophe | Brun mésotrophe |
| 3 - Humus type mull acide | Brun acide |
| 3 - Humus type mull-moder à moder Horizon (B) de teinte ocre vif et de structure floconneuse | Brun ocreux |

1 - Présence d'un horizon Bh

- | | |
|--|-----------------|
| 2 - Horizon A2 absent ou lenticulaire
Horizon Bh brunâtre | Ocre podzolique |
| 2 - Horizon A2 bien développé | |
| 3 - Horizon A2 non cendieux
Horizon Bh peu différencié | Podzolique |
| 3 - Horizon A2 cendieux
Horizon Bh noir | Podzol |

Dans cette clé, les types d'horizon retenus pour le diagnostic sont les suivants :

A : Horizons organo-minéraux

A1 : Horizon humifère

A2 : Horizon appauvri

B : Horizons minéraux

(B) : Horizon d'altération en place

Bh : Horizon d'accumulation de la matière organique

Bt : Horizon d'accumulation d'argile

Bfe : Horizon d'accumulation de fer

C : Roche mère du sol, ou matériau parental, meuble

R : Roche géologique, cohérente.

Clé pour la réserve en eau

1 - Granites

2 - Roche non altérée	Asylvatique
2 - Roche altérée	
3 - Arène absente	E
3 - Arène présente	
4 - Convoi limoneux absent	
5 - Arène superficielle	E
5 - Arène bien développée	D
4 - Convoi limoneux ≤ 30 cm	
6 - Arène superficielle	D
6 - Arène bien développée	C
4 - Convoi limoneux ≤ 60 cm	C
4 - Convoi limoneux ≤ 100 cm	B
4 - Convoi limoneux ≥ 100 cm	A

1 - Roche métamorphique

7 - Matériau absent	
8 - Roche non altérée	Asylvatique
8 - Roche fracturée ou délitée	
9 - Pendage conforme	E
9 - Pendage inverse	D
8 - Roche altérée	D
7 - Matériau à réserve faible	
10 - Roche non altérée ou fracturée	D
10 - Roche délitée ou altérée	
11 - Pendage conforme	D
11 - Pendage inverse	C
7 - Matériau à réserve moyenne	
12 - Roche non altérée ou fracturée	C
12 - Roche délitée ou altérée	B
7 - Matériau à réserve forte	
13 - Roche non altérée	B
13 - Roche fracturée	
14 - Pendage conforme	B
14 - Pendage inverse	A
13 - Roche délitée ou altérée	A
7 - Matériau à réserve abondante	A

Indication pour le niveau trophique

Sol	Humus	Niveau trophique
Brun eutrophe	Mull eutrophe	Eutrophe
Brun mésotrophe	Mull mésotrophe	Mésotrophe
Brun acide	Mull acide Mull moder	Oligotrophe Oligotrophe
Brun lessivé	Mull acide Mull moder Moder	Oligotrophe Oligotrophe Oligotrophe
Brun ocreux	Mull moder	Oligotrophe
Ocre podzolique	Moder	Oligotrophe
Podzolique Podzol Ranker	Moder-mor Mor Moder-mor	Hyperoligotrophe Hyperoligotrophe Hyperoligotrophe

Tableau climatologique

		REGIONS CLIMATIQUES		
		ME + SC	A + SA + AQ + AM + MM	Md
Subalpin			Epicéa commun Pin à crochets Sapin noble (Pinus monticola) (Pinus contorta)	
Montagnard	M S	Epicéa commun Mélèze d'Europe	Epicéa commun Mélèze d'Europe Sapin noble	
	M. M	Pin sylvestre Mélèze d'Europe Epicéa commun Sapin pectiné Hêtre	Sapin pectiné Douglas Mélèze d'Europe Mélèze du Japon Epicéa de Sitka Erable sycomore Merisier	Pin sylvestre Sapin de Nordmann Pin noir Autriche Pin laricio Corse Hêtre
	M I	Pin sylvestre Hêtre Erable plane Erable sycomore Frêne commun Merisier	Douglas Mélèze du Japon Mélèze d'Europe Epicéa de Sitka Sapin pectiné Hêtre Merisier Erable plane Erable sycomore Frêne commun	Pin sylvestre Cèdre de l'Atlas Pin laricio Corse Pin noir Autriche
Collinéen		Chêne rouvre Chêne pédonculé Chêne rouge Frêne commun Erable plane Pin sylvestre Pin laricio Corse Cèdre de l'Atlas	Douglas Chêne rouvre Chêne rouge Chêne pédonculé Merisier Erable plane Erable sycomore Frêne commun Pin sylvestre Pin laricio Corse Cèdre de l'Atlas	Chêne Pubescent Cèdre de l'Atlas Pin laricio Corse Pin noir Autriche

Tableau morphopédologique

		RESERVES EN EAU		
		Faibles (E, D)	Moyennes (C)	Fortes (A, B)
Niveau Tro- phique	Hyper.	Pin sylvestre Pin à crochets	Epicéa commun	
	Oligo.	Pin noir d'Autriche Pin laricio Sorbier des oiseleurs	Chêne rouge Chêne sessile Sapin pectiné Sapin de Nordmann Sapin noble Douglas	Epicéa de Sitka Mélèze d'Europe Mélèze du Japon
	Mésos.		Hêtre Chêne pédonculé	Erable sycomore Erable plane
	Eutr.			Merisier Frêne commun

ANNEXE III

CARACTERISATION ECOLOGIQUE DES REGIONS IFN

DT	REGION IFN	CL	ROCHE	ETAGE
15	Aubrac volcanique	A	Bs	Mm à Ms
15	Cantal Cézallier	A	Bs + Ad	C à Sa
63	Mts Dore & Cézallier	A	Bs + Ad	Mi à Sa
48	Aubrac	A	Bs + Gr	Mi à Ms
48	Bordure Aubrac	A	Bs + Mm	C à Mi
15	Bassin d'Aurillac	A	Ca	C
15	Hte chataîgneraie auv.	A	Gr	C
23	Chataîgneraie limousine	A	Gr	C
23	Plateau limousin	A	Gr	C à Mi
63	Mts Dome	A	Gr + Bs + Ad + Pz	Mi à Sa
12	Bss chataîgneraie auv.	A	Gr + Mm	C
23	Basse Marche	A	Gr + Mm	C
46	Xaintrie	A	Gr + Mm	C
87	Basse Marche	A	Gr + Mm	C
87	Plateau limousin	A	Gr + Mm	C
12	Hte chataîgneraie auv.	A	Gr + Mm	C à Mi
19	Plateau de Millevaches	A	Gr + Mm	C à Mi
19	Plateau limousin	A	Gr + Mm	C à Mi
23	Plateau de Millevaches	A	Gr + Mm	C à Mi
12	Aubrac	A	Gr + Mm + Bs	Mi à Ms
19	Bassin de Brive	A	Gs	C
15	Bordure limousine	A	Mm	C
15	Bss chataîgneraie auv	A	Mm	C
19	Chataîgneraie limousine	A	Mm	C
87	Chataîgneraie limousine	A	Mm	C
12	Bordure Aubrac	A	Mm	C à Mi
15	Artense	A	Mm	C à Mi
63	Artense	A	Mm	Mi
87	Plateau de Millevaches	A	Gr	C
43	Cézallier	A	Mm + Bs	Mi
81	Monts de Lacaune	Am	Gr + Mm	C à Mm
81	Montagne Noire	Am	Gr + Mm	Md à Mm
12	Monts de Lacaune	Am	Mm	C à Mm

12	Grands Causses	Aq	Ca	C à Mi
48	Causses	Aq	Ca	C à Mm
12	Ségala	Aq	Gr + Mm	C à Mi
12	Lézézou	Aq	Gr + Mm	C à Mm
12	Camarès	Aq	Gs	C à Mi
81	Ségala & Grésigne	A	Mm	C
07	Basses Cévennes	Md	Gr + Mm	Md
48	Basses Cévennes	Md	Mm	Md
15	Planèze de St Flour	Me	Bs	Mi à Ms
43	Velay occidental	Me	Bs + Pz	Mi à Ms
42	Forez continental	Me	Gr	C à Mm
43	Plateau granitique	Me	Gr	Mi
63	Forez continental	Me	Gr	Mi à Ms
03	Combraille	Me	Gr + Mm	C
42	Mts du Lyonnais	Me	Gr + Mm	C
63	Basse Combraille	Me	Gr + Mm	C
42	Bassin Stéphanois	Me	Gs + Mm	C
15	Bassin de Massiac	Me	Mm	C
43	Brivadois	Me	Mm + At	C
63	Brivadois	Me	Mm + At	C
42	Charolais	Me	Mm + Gs	C
43	Mezenc-Meygal	Mm	Bs + Ad	Mi à Sa
07	Vallée de l'Eyrieux	Mm	Gr	C à Mi
07	Bordure mont. de l'Eyrieux	Mm	Gr	C à Mm
07	Région des Sucs	Mm	Gr + Bs + Ad	C à Sa
07	Côteaux du Nord Vivarais	Mm	Gr + Mm	C à Mi
07	Hautes Cévennes	Mm	Gr + Mm	C à Mm
42	Mt Pilat	Mm	Gr + Mm	C à Ms
48	Hautes Cévennes	Mm	Gr + Mm	C à Sa
07	Lugdarès & Mazan	Mm	Gr + Mm	Mi à Ms
43	Chaîne des Boutières	Mm	Gr + Mm	Mi à Ms
42	Vivarais septentrional	Mm	Mm	C
07	Chaîne des Boutières	Mm	Mm	C à Mm
23	Marche de Combrailles	Sa	Gr	C
42	Mts du Beaujolais	Sa	Gr	C à Mi
03	Montagne bourbonnaise	Sa	Gr	C à Mm
42	Forez	Sa	Gr	C à Sa
63	Chaîne du Forez	Sa	Gr	C à Sa
63	Moyenne Combraille	Sa	Gr + Mm	C
63	Haute Combraille	Sa	Gr + Mm	C à Mm
63	Livradois	Sa	Gr + Mm	C à Mm
15	Margeride	Sa	Gr + Mm	C à Ms

43	Margeride	Sa	Gr + Mm	C à Ms
48	Margeride	Sa	Gr + Mm	C à Sa
43	Massif de la Chaise Dieu	Sa	Mm	C à Mm
42	Plaine de Roanne	Sc	Aq	C
42	Plaine du Forez	Sc	At	C
43	Limagne	Sc	At	C
43	Vallée de la Loire	Sc	At	C
63	Limagne	Sc	At	C

N.B. : Dans cette énumération, seules les roches importantes en surface dans le secteur considéré sont indiquées : ainsi, il existe des lentilles de dépôts oligocènes en Margeride, dans les Combrailles, etc. qui n'ont pas été notées ici.

La signification des abréviations est la suivante :

DT : Département

CL climat : A : Atlantique
 Am : Aquitaniens montagnard
 Aq : Aquitaniens
 Md : Méditerranéen
 Me : Médioeuropéen
 Mm : Méditerranéen montagnard
 Sa : Subatlantique
 Sc : Semi-continental

Roches Ad : Trachy-andésites
 Aq : Alluvions quaternaires
 At : Sédiments tertiaires
 Bs : Basaltes
 Ca : Calcaires
 Gr : granites
 Gs : grès
 Mm : roches métamorphiques
 Pz : pouzzolanes

Etages C : Collinéen
 Mi : montagnard inférieur
 Mm : montagnard moyen
 Ms : montagnard supérieur
 Sa : subalpin
 Md : étage collinéen des régions sous climat méditerranéen.

ANNEXE IV

COMPLEMENTS DENDROLOGIQUES

Les fiches suivantes, bâties toutes sur le même modèle, présentent de façon succincte les principales essences peu connues dans le Massif Central, mais qui mériteraient une introduction plus développée, pour l'une des deux raisons suivantes :

- soit elles permettent des reboisements sur des stations difficiles à mettre en valeur avec la panoplie des essences classiques (exemple : sapin noble, *Pinus monticola*);
- soit elles possèdent des caractéristiques de croissance ou de qualité non représentées dans les essences utilisées habituellement (exemple : *Thuja plicata*, *Cryptomeria japonica*).

Espèce	: <i>Abies grandis</i>
Nom français	: Sapin de Vancouver
Nom américain	: Grand Fir

Aire naturelle

Amérique du Nord, partie ouest,

Côte Pacifique, depuis la Colombie Britannique jusqu'au nord de la Californie. Egalement dans les Montagnes rocheuses dans l'Idaho et le Montana. Les renseignements suivants sont fournis pour la partie maritime de son aire.

Caractéristiques climatiques de l'aire naturelle

Température moyenne	: 5,5 à 10°C
Altitude	: 0 à 1 500 m
Saison de végétation	: 100 à 140 jours
Précipitations	: 600 à 1 500 mm dont 80 % en neige

Exigences édaphiques et topographiques (aire naturelle)

Peu sensible à la nature du substrat. Présente une croissance convenable sur les sols profonds et alluviaux.

Associations végétales

Est associé avec *Pseudotsuga menziesii*, *Larix occidentalis*, *Tsuga heterophylla*, *Picea sitchensis*.

Possibilités d'introduction

Arbre de grande taille à croissance rapide. Largement introduit en Europe en plaines maritimes. La qualité de son bois léger et tendre semble le faire délaisser. Est sensible à la pourriture du cœur.

Références dans le Massif Central

Nombreuses quant à la croissance (Arboretum de l'Hort de Dieu : 54 m à 80 ans).

Espèce	: <i>Abies procera</i>
Nom français	: Sapin noble
Nom américain	: Noble Fir, red Fir, white Fir

Aire naturelle

Amérique du Nord, partie ouest

Essentiellement dans l'étage montagnard de la chaîne des Cascades depuis le nord du Washington jusqu'au nord de la Californie, mais possède également une répartition sporadique en dehors de cette limite.

Caractéristiques climatiques de l'aire naturelle

Température de janvier	: - 8° à 2°C
Température de juillet	: 14° à 17°C
Altitude	: 800 à 1 800 m
Précipitations	: 1 700 à 2 600 mm

Climat hyperhumide à saison de végétation courte et fraîche et précipitations annuelles fortes, mais surtout hivernales sous forme de neige.

Exigences édaphiques et topographiques (aire naturelle)

Est présent sur de nombreux types de sol si les précipitations sont suffisantes, tant sur roches sédimentaires que volcaniques ou métamorphiques.

Associations végétales

Espèce disséminée, car essence secondaire dans des peuplements de *Pseudotsuga menziesii*, *Tsuga heterophylla*, *Abies amabilis*, *Pinus monticola* au nord, et *Abies lowiana* et *Pinus lambertiana* au sud.

Possibilités d'introduction

Essence de lumière qui peut être plantée en plein découvert. Arbre de grande taille pouvant atteindre 60 m de haut, au démarrage lent, peu attaqué.

Références dans le Massif Central

- Au col du Guéry, une placette a une croissance analogue à celle des épicéas voisins.
- A l'arboretum de Royat, la parcelle est hétérogène.

Espèce	: <i>Picea Engelmannii</i>
Nom français	: Épinette des montagnes
Nom américain	: Engelmann Spruce

Aire naturelle

Amérique du Nord, partie ouest
Forêts d'altitude des Montagnes Rocheuses depuis le nord de la Californie jusqu'à la Colombie Britannique et l'Alberta

Caractéristiques climatiques de l'aire naturelle

Température de janvier	: - 12° à - 7°C
Température de juillet	: 7° à 16°C
Température moyenne	: 10°C
Altitude	: de 750 à 1 800 m, jusqu'à 3 000 m
Saison de végétation	: 30 à 60 jours
Précipitations	: 625 à 1 150 mm

Exigences édaphiques et topographiques (aire naturelle)

Sols superficiels et volcaniques

Associations végétales

Forme des peuplements mélangés avec *Abies lasiocarpa*, et, en versant sud surtout, avec le tremble, le douglas et des pins.

Possibilités d'introduction

Arbre de grande taille 45 à 48 m de haut, longévif, sensible aux chablis et au Dendroctone.

Références dans le Massif Central

La placette de l'Arboretum de Royat est composée d'arbres sains d'une vingtaine de mètres de haut, bien élagués.

Espèce	: <i>Picea sitchensis</i>
Nom français	: Epicea de Sitka
Nom américain	: Sitka spruce

Aire naturelle

Amérique du Nord, partie ouest

Bande étroite de 50 km de large le long de l'océan Pacifique depuis le nord de l'Alaska jusqu'au nord de la Californie

Caractéristiques climatiques de l'aire naturelle

Température de janvier	: -6° à 0°C
Température de juillet	: 13° à 17°C
Altitude	: 0 à 500 m
Précipitations	: 1500 mm à 3800 mm/an

Exigences édaphiques et topographiques (aire naturelle)

Sols à pH acide à très acide (4 à 5,7), mor épais, sols alluviaux et sableux

Associations végétales

Est associé le plus couramment avec *Tsuga heterophylla* et *Pinus banksiana* sur tourbes et dunes sableuses. En montagne, est couramment accompagné de *Abies amabilis*, *A. procera*, *Pinus monticola*.

Possibilités d'introduction

Le plus grand des épicea américains (jusqu'à 85 m de haut dans son aire naturelle). Couramment introduit en Europe, notamment en Ecosse, et largement cultivé en zones maritimes. Montre de grandes possibilités d'adaptation. Est malheureusement souvent cantonné aux bas-fonds mouilleux en montagne, alors qu'il pourrait plus largement être utilisé en montagnes océaniques.

Références dans le Massif Central

Très nombreuses.

Espèce	: <i>Pinus monticola</i>
Nom français	: pin argenté
Nom américain	: Western white pine

Aire naturelle

Amérique du Nord, partie ouest.

Aire morcelée en quatre éléments principaux :

- Chaînes côtières depuis la Colombie Britannique au Puget Sound
- Chaîne des Cascades
- Sierra Nevada en Californie
- Rocheuses intérieures, de la Colombie Britannique à l'Idaho

Caractéristiques climatiques de l'aire naturelle

Température annuelle	: 4 à 10 °C
Température minimale	: - 38 °C
Température de juillet	: 16 à 22 °C
Altitude	: 0 à 4 000 m
Précipitations	: 700 mm à 1 500 mm
Saison de végétation	: courte et fraîche
Température moyenne	: 14 à 19 °C
Nombre de jours hors gel	: 60 à 160.

Essentiellement climat pacifique et son extension orientale dans les Rocheuses. Caractérisé par la prédominance des précipitations hivernales.

Altitudes selon les régions :

- Chaînes côtières
 - Côte de la Colombie britannique : 0 à 1 000 m
 - Ile de Vancouver : 0 à 1 600 m
 - Mts Olympiques : 0 à 700 m
- Chaîne des Cascades
 - Washington nord : 0 à 1 200 m
 - Washington sud, versant ouest : 800 à 2 400 m
 - Washington sud, versant est : 450 à 1 900 m
 - Oregon nord : 1 200 à 2 400 m
 - Oregon sud : 2 000 à 3 000 m
- Sierra Nevada, Californie nord : 2 400 à 3 000 m
Californie sud : 3 000 à 4 000 m
- Rocheuses intérieures
 - Colombie Britannique nord : à 1 400 m
sud : 400 à 1 800 m
 - Idaho : 800 à 2 400 m

Exigences édaphiques et topographiques (aire naturelle)

Indifférent à la nature géologique du substrat et au type de sol; Pour une bonne croissance, assez exigeant en réserve en eau du sol; étant donnée la diversité climatique et la taille de son aire de répartition, les stations où l'on rencontre *P. monticola* sont diverses d'une région à l'autre. Préfère notamment les endroits frais (fonds de vallées, etc.) dans les Rocheuses intérieures.

Associations végétales

Par l'étendue de son aire, participe à la composition de nombreuses associations végétales. Là où il est dominant, est le plus souvent associé à *Pseudotsuga menziesii*, *Tsuga heterophylla*, *Abies grandis*, *Thuja plicata*, *Picea engelmannii*, *Larix occidentalis*, *Pinus contorta*, *Pinus ponderosa*, *Abies lasiocarpa*, etc.

Possibilités d'introduction

Peut atteindre 60 m de haut dans son aire naturelle mais de taille souvent plus modeste; est une espèce importante de l'ouest américain. A été peu introduit en Europe, mais mériterait d'être essayé dans l'étage montagnard supérieur avec le pin à crochet, le sapin noble et l'épicéa commun. Son bois est léger, tendre et peu résistant, très comparable à celui du pin weymouth dont il est proche taxonomiquement.

Références dans le Massif Central

A l'arboretum Curie, à Charpal, présente la meilleure croissance après *Abies procera*. Est également l'une des espèces révélées par l'arboretum du Col des Trois Soeurs.

Espèce : *Cryptomeria japonica*
Nom français : Cryptomeria, Cryptomère
Nom japonais : Sugi

Aire naturelle

Japon et Chine, dans les montagnes subtropicales et tempérées chaudes.

Caractéristiques climatiques de l'aire naturelle

Altitude : 0 à 1 800 m

Climat humide à fortes précipitations et forte humidité atmosphérique. Résiste aux gelées.

Possibilités d'introduction

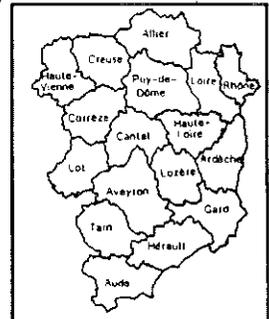
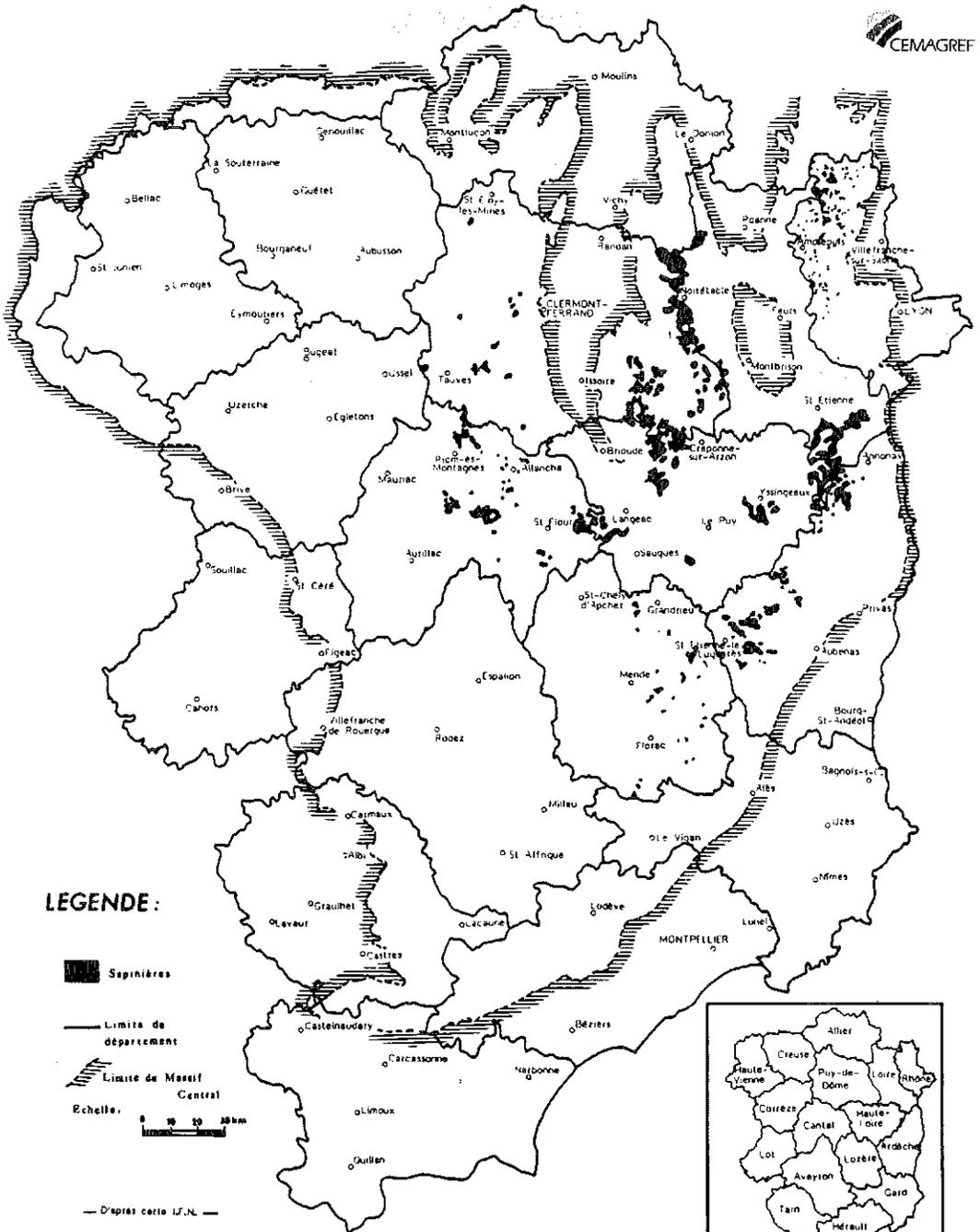
Arbre de grande taille (60 m) à croissance rapide. Est la principale essence forestière du Japon où son bois est très apprécié.

Références dans le Massif Central

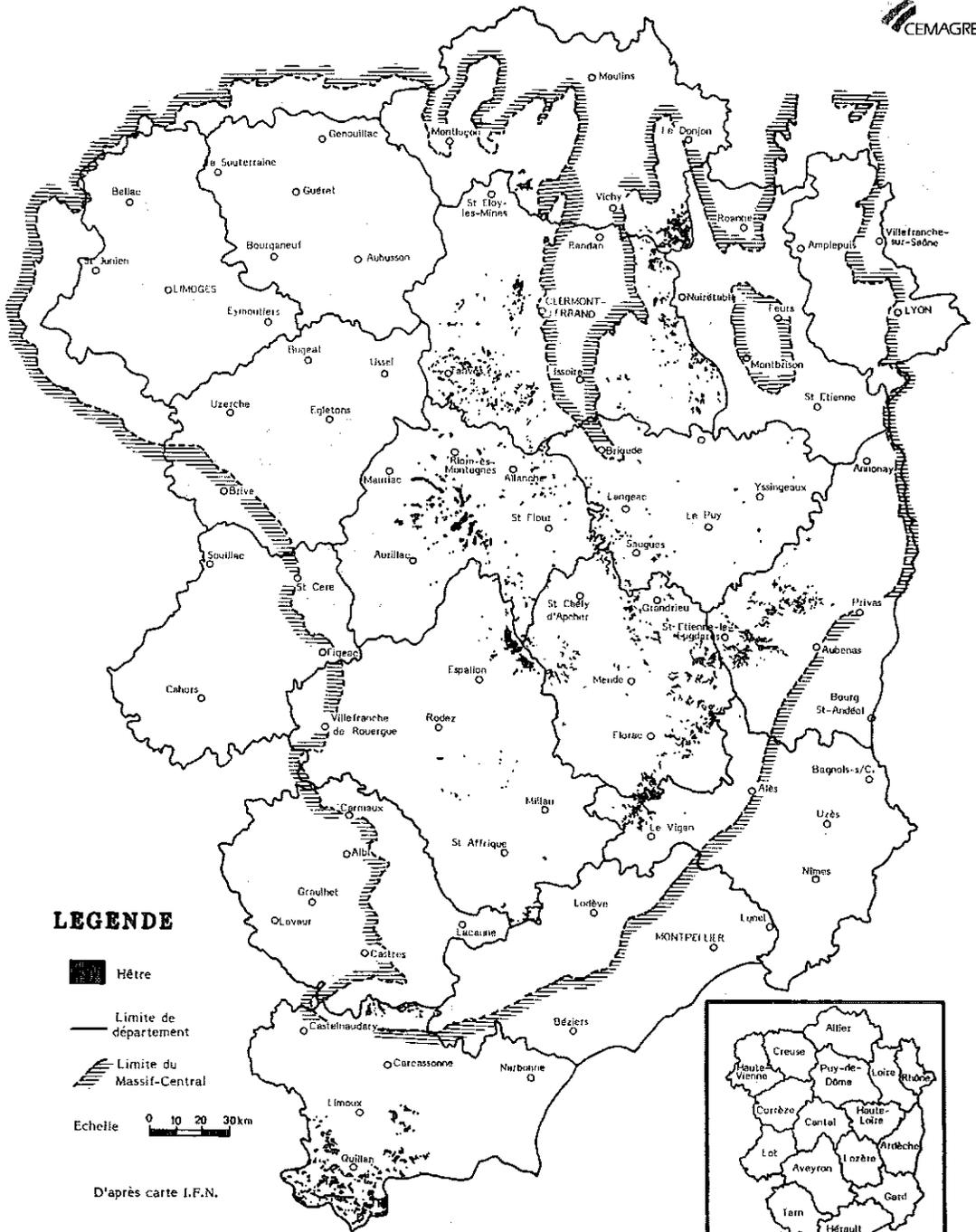
- Plantations dans le Puy de Dôme (1985) ayant résisté aux gelées.

ANNEXE V

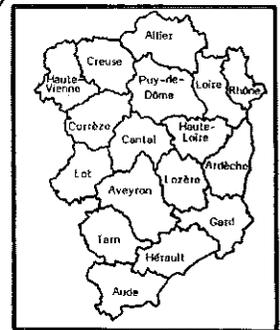
CARTE DES PRINCIPALES ESSENCES DU MASSIF CENTRAL

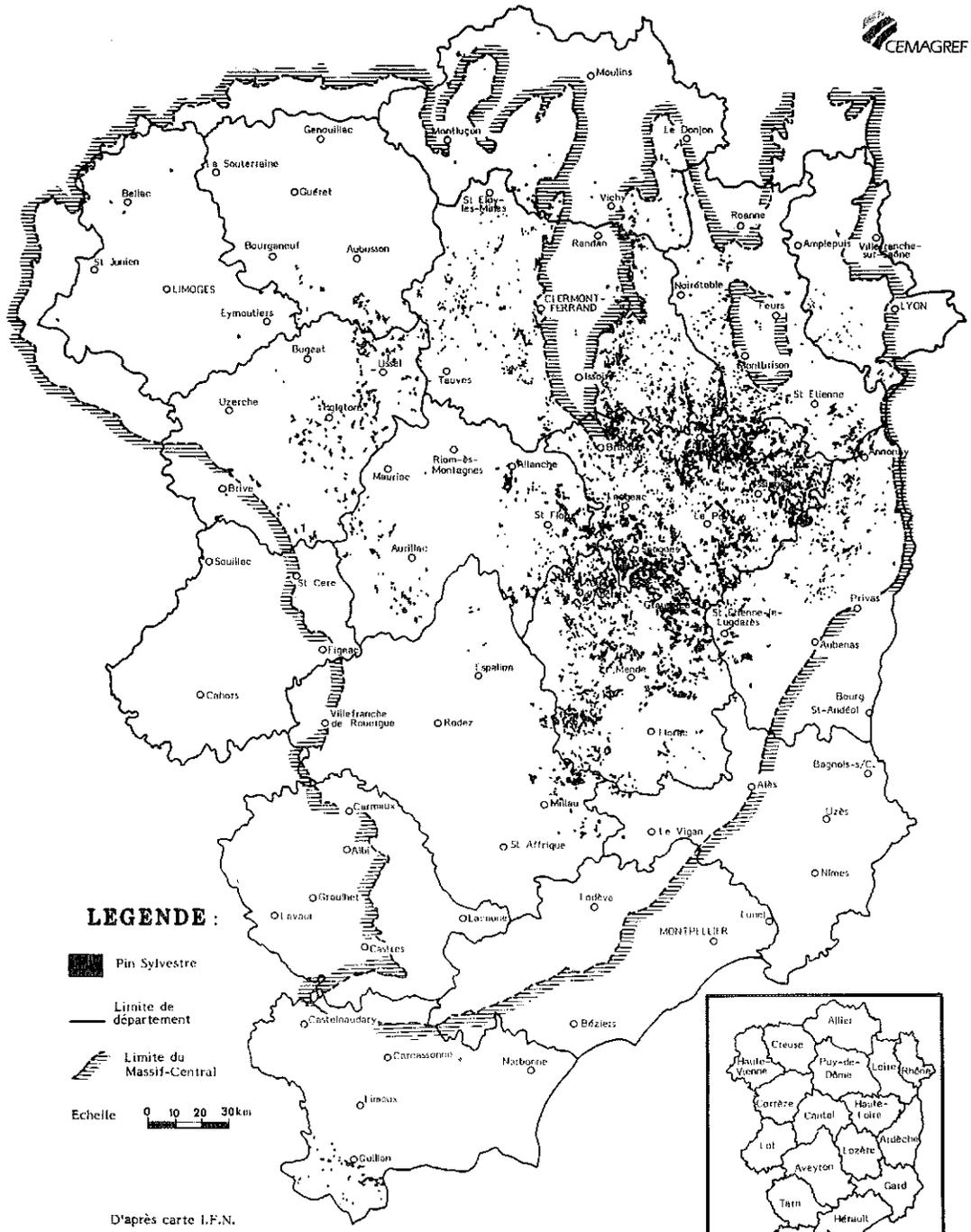


PRINCIPALES SAPINIÈRES DU MASSIF CENTRAL



PRINCIPAUX PEUPELEMENTS DE HETRE DOMINANT DU MASSIF CENTRAL





PRINCIPAUX PEUPEMENTS

ANNEXE VI

VOCABULAIRE

NB : Afin que les quelques termes techniques contenus dans ce document puissent être compris et maîtrisés, il nous a semblé utile de joindre un dictionnaire. La précision et la clarté des définitions étant le facteur essentiel de son efficacité, il était dès lors plus simple et juste de reproduire les définitions de :

- A. FOUCAULT et J.-F. RAOULT : Dictionnaire de géologie, Masson, 2ième Ed., 1984.
- J. LOZET & C. MATHIEU, Dictionnaire de Science du sol, éditions Lavoisier, 1986.

Les définitions ainsi reproduites sont indiquées respectivement par une " [G]" et un "[P]"

Anatexie [G] : Processus par lequel des roches du métamorphisme général, soumises à des températures de plus en plus fortes, subissent une fusion partielle, donnant des migmatites, puis une fusion totale ou presque, donnant un magma, dont la cristallisation donnera un granite d'anatexie.

Arène [G] : sable grossier résultant de l'altération sur place des roches granitiques et métamorphiques riches en quartz et feldspaths.

Convoi limoneux : formation meuble de texture dominante limoneuse recouvrant par places l'arène

Gneiss [G] : Roche métamorphique du métamorphisme général, le plus souvent à grain moyen ou grossier, à foliation souvent nette, caractérisée par des lits généralement de teintes sombres, riches en minéraux ferromagnésiens (micas, amphiboles, ...) alternant avec des lits clairs de quartz et de feldspaths, ces derniers nombreux et visibles à l'oeil nu (différence d'avec les micaschistes).

Granite [G] : Roche magmatique plutonique très commune, grenue, de teinte claire, dont les minéraux essentiels sont constitués pour 80 % de : quartz, feldspath et plagioclase.

Granite d'anatexie : Voir "anatexie"

Matériau : couche de formations meubles, pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur, issue de l'altération des roches. Perméable aux racines. A ne pas confondre avec le sol.

Métamorphisme [G] : Transformation d'une roche à l'état solide du fait d'une élévation de température et/ou de pression, avec cristallisation de nouveaux minéraux et acquisition de textures et structures particulières, sous l'influence de conditions physiques et/ou chimiques différentes de celles ayant présidé à la formation de la roche originelle.

Micaschiste [G] : Roche métamorphique à grain généralement moyen, à schistosité et foliation marquées, riche en lamelles de mica visibles à l'oeil nu, d'où un débit facile en plaquettes.

Pendage [G] : Angle entre une surface (souvent une couche sédimentaire) et un plan horizontal. Le pendage n'est pas l'angle entre une surface et la surface topographique, bien que l'usage ait consacré :

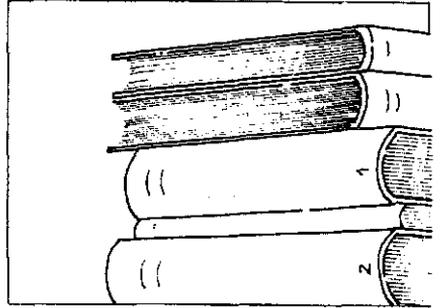
Pendage conforme : se dit du pendage lorsque les couches sont plus ou moins parallèles à la surface topographique.

Pendage inverse : se dit du pendage lorsque les couches sont plus ou moins perpendiculaires à la surface topographique.

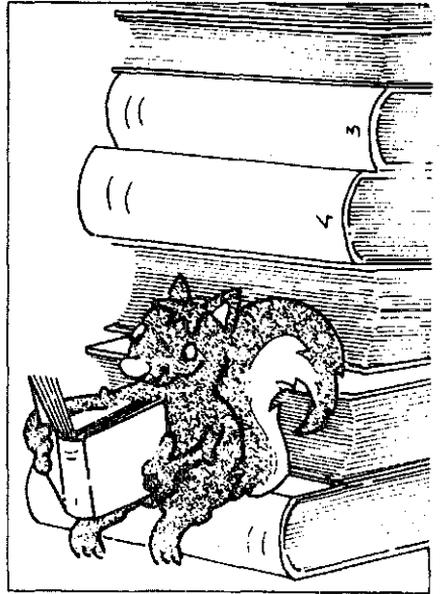
Réserve utile : quantité d'eau dans le sol facilement utilisable par les plantes.

Sol [P] : Produit de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent.

Solifluxion : Ecoulement lent d'un matériau sous forme de boue, en masse, en particulier sous climat froid et sur sous-sol gelé.



Bibliographie



BIBLIOGRAPHIE

GEOLOGIE

Aubouin J., Brousse R. & Lehman J.P. Précis de géologie. Tome 1 : Pétrologie. Tome 2 : Paléontologie et stratigraphie. Tome 3 : Tectonique, Tectonophysique et morphologie. Deuxième édition. Dunod, 1975.

Didier J. & Lameyre M. Les roches granitiques du Massif Central, in Symposium Jean Jung, Plein Air Services Ed. Clermont Fd, 1971

Foucault A. & Raoult J.-F. : Dictionnaire de géologie. 2ème édition. Masson, 1984

GEOMORPHOLOGIE

Birot P. : Les processus d'érosion à la surface des continents. Masson, 1981

Etlicher B. : Les massifs du Forez, du Pilat et du Vivarais. Régionalisation et dynamique des héritages glaciaires et périglaciaires en moyenne montagne cristalline. Université de Saint-Etienne, Centre d'études foréziennes, 1986.

Godard A. : Pays et paysages du granite. Presses Universitaires de France, 1977.

Tricart J. : L'épiderme de la Terre. Esquisse d'une géographie appliquée. Masson Editeurs, 1962.

Tricart J. & Cailleux A. : Traité de géomorphologie. Vol. I : Introduction à la géomorphologie climatique. Vol. II : Le modelé des régions périglaciaires. Vol. III : Le modelé glaciaire et nival. SEDES, Paris, 1967

Valadas B. : Les Hautes Terres du Massif Central Français. 2 volumes. Thèse de l'Université de Paris I, 1984.

PEDOLOGIE

Aubert G. : Etude des sols et classification, introduction de l'approche morphogénétique. in Livre jubilaire du cinquantenaire, AFES, 1984. pp. 41 à 45.

Bornand M. & Icole M. : Etude des sols dans le paysage. Les relations "pédologie - géomorphologie - géologie du Quaternaire". Apports réciproques. in Livre jubilaire du cinquantenaire, AFES, 1984. pp. 141 à 153.

Duchaufour Ph. : Etude des sols et classification, apport des données écologiques et biogéochimiques. in Livre jubilaire du cinquantenaire, AFES, 1984. pp. 46 à 51.

Duchaufour Ph. : Atlas écologique des sols du monde. Masson, 1976

Duchaufour Ph. : Abrégé de pédologie. Masson, 1984

Duchaufour Ph. & Souchier B. : Précis de pédologie. Tome 1 : Pédogénèse et classification. Deuxième édition, 1979. Tome 2 : Constituants et propriétés du sol, avec Bonneau & Coll., 1979. Masson.

Nys C. : Les sols du Plateau de Millevaches. Bull. A.F.E.S., n°4, pp. 241-253, 1973

Souchier B. : Les podzols et la podzolisation en climats tempérés montagnards. in Livre jubilaire du cinquantenaire, AFES, 1984. pp. 77 à 96.

Warembourg F. : Sur la dynamique des sols dans les Cévennes méridionales siliceuses. Une séquence altitudinale dans le Massif de l'Aigoual. Thèse de spécialité. Université de Montpellier; 1969

BIOGEOGRAPHIE

Ellenberg H. : Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Ulmer Verlag, Stuttgart. 1963

Issatchenko A. G. : Landchafti S.S.S.R. [Paysages d'URSS] (en russe). Izdatelstvo leningradskovo universiteta. Leningrad, 1985

Mayer H. : Wälder Europas. Gustav Fischer Verlag. 1984

Ozenda P. : La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen. Massons Editeurs, 1985

Ozenda P. & Lucas M.J. Esquisse d'une carte de la végétation potentielle de la France à 1-1/500 000. Documents de cartographie écologique, Vol XXX, pp. 49-80. Grenoble, 1987

STATIONS FORESTIERES

Méthodologie

Becker M., Le Tacon F. & Timbal J. : Plateaux calcaires de Lorraine. Typologie de station et potentialités forestières .E.N.G.R.E.F., Nancy, 1980

Brethes A. : La typologie des stations forestières en Haute Normandie. Apports complémentaires du sol et de la végétation. in Colloque Phytosociologiques, XIV : Phytosociologie et Foresterie, Nancy, 1985. CRAMER Ed., Berlin, 1988

Collectif : Forstliche Standortsaufnahme, Arbeitskreis Standortkartierung, 4 te Auflage, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 1980

Delpech R. et Al. Typologie des stations Forestières. Vocabulaire. I.D.F., 1985

Franc A. : Pour une approche génétique des stations forestières, Colloque AFEF, Besançon, 1987

Kremser W. & Otto H.-J. Aus dem Walde, Grundlagen für die langfristige, regionale waldbauliche Planung in den niedersächsischen Landesformen. Mitteilungen aus der Niedersächsischen Landesforstverwaltung, Heft 20, Hannover, 1973.

Rameau J.-C. : Phytosociologie et Foresterie : caractères et problèmes spécifiques, relations avec la typologie forestière. Colloques phytosociologiques, Phytosociologie et Foresterie, Nancy, 1985. Ed: J. Cramer, Berlin, 1988.

Rameau J.-C. : Contribution phytoécologique et dynamique à l'étude des écosystèmes forestiers. Applications aux forêts du nord-est de la France. Thèse d'Etat. Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Franche Comté, Besançon, 1987.

Etudes régionales réalisées dans le Massif Central

Bricault A. : Préétude du Morvan. ENGREF, Centre de Nancy. CEMAGREF, Gpt de Clermont-Fd, 1986.

Curt Th. : Typologie forestière de la bordure sud-ouest du Massif Central. Tome 1: Découpage en Secteurs Ecologiques, Tome II : Eléments pour le choix des essences ; ARENES, Cemagref, Gpt de Clermont-Fd, 1988 & 1989.

Darracq S. : Typologie des stations forestières du Sommail Espinouse. Inventaire Forestier National, Echelon de Montpellier, 1988.

Franc A. : Typologie forestière de Margeride lozérienne. CEMAGREF, Groupement de Clermont-Ferrand, 1987.

Franc A. : Typologie forestière du Livradois Forez. Indications pour le choix des essences. Cemagref, Groupement de Clermont-Ferrand, 1988.

Javellaud J. & Al. : Catalogue des stations forestières de la Chataigneraie Limousine. C.R.P.F. Limousin , 1985

SYLVICULTURE ET DENDROLOGIE

Burschell P. & Huss J. : Grundniss des Waldbaus. Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Gustav Fischer Verlag, 1987.

Debazac E.-F. : Manuel des conifères, 2ième édition. E.N.G.R.E.F. Nancy, 1977.

Fowells H. A. : Sylvics of Forest Trees of the United States. Agriculture Handbook No 271. U.S. Department of Agriculture. Washington D.C., 1965.

Jacamon M. : Guide de dendrologie. Tome I : Résineux. Tome II : Feuillus. E.N.G.R.E.F., Nancy, 1984.

Mayer H. : Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage.3, neue bearbeitete Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1984

Mitscherlich G. : Wald, Wachstum und Umwelt. Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen des Waldwachstums. Band II : Waldklima und Wasseraushalt. Band III : Boden, Luft und Produktion. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 1981.

TABLES DES CARTES ET DES TABLEAUX

	<i>Pages</i>
Carte des Précipitations	19
Carte des régimes climatiques	20
Carte géologique	24
Tableau synthétique des secteurs écologiques	27
Exemple de découpage en secteurs écologiques	28-29
Carte des granites	34
Carte des micaschistes et des gneiss	37
Exemple théorique de chaînes de stations sur micaschistes	40
Types de sols	54
Carte des principaux peuplements de Sapin pectiné	92
Carte des principaux peuplements de Hêtre dominant	93
Carte des principaux peuplements de Pin Sylvestre	94

"Etudes" du CEMAGREF, série Forêt n° 2, **Le Massif Central Cristallin**. Analyse du milieu - Choix des essences - 1989 - Alain Franc - 1^{re} édition, ISBN 2-85362-169-3. Dépôt légal 4^e trimestre 1989 - Coordonateur de la série : Jean-François Lacaze, chef du département - Dessin de couverture : Christiane Duchamp - Impression intérieure : CEMAGREF-DICOVA - Impression couverture : Impressions Modernes, 91320 Wissous - Façonnage : ABR, 91380 Chilly-Mazarin - Edition et diffusion : CEMAGREF-DICOVA BP 22, 92162 Antony Cedex, tél. : 40 96 61 32 et CEMAGREF Clermont-Ferrand, Division Techniques forestières, Domaine de Lалуas, 63200 Riom. Tél. : 73 38 20 52. Prix : 150 F TTC