

DOCUMENTS POUR LA CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

ÉCOLOGIE DE L'AUNE VERT

(*Alnus viridis* Chaix)

par L. RICHARD, Grenoble

Première Partie

FACTEURS CLIMATIQUES

I. — METHODES UTILISEES .....	110
A. — ANALYSE DES DOCUMENTS FOURNIS PAR LES STATIONS CLIMATOLOGIQUES ....	110
B. — ÉTUDE DU MICROCLIMAT PAR UTILISATION DE THERMOHYGROGRAPHES ....	112
C. — RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES .....	112
II. — ÉTUDE CLIMATIQUE GÉNÉRALE .....	114
A. — FACTEURS THERMIQUES .....	114
B. — PRÉCIPITATIONS .....	116
C. — SYNTHÈSE DE FACTEURS CLIMATIQUES .....	122
D. — CONCLUSIONS .....	125
III. — ÉTUDE MICROCLIMATIQUE .....	126
A. — COMPARAISONS QUALITATIVES ENTRE DIVERSES FORMATIONS .....	128
B. — RÉGIME THERMIQUE SOUS LES AUNAIES VERTES .....	130
C. — RÉGIME HYGROMÉTRIQUE SOUS LES AUNAIES VERTES .....	131
D. — CONCLUSIONS .....	131

Deuxième Partie

FACTEURS EDAPHIQUES

I. — METHODES UTILISEES .....	132
A. — OBSERVATIONS DE PROFILS .....	132
B. — ANALYSE D'ÉCHANTILLONS DE SOLS .....	132
C. — ANALYSES FOLIAIRES .....	133
D. — DOCUMENTATION RECUEILLIE AUPRÈS D'AUTRES CHERCHEURS .....	137
II. — CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES .....	137
A. — PROFIL DU SOL SOUS LES AUNAIES VERTES .....	137
B. — TEXTURE .....	138
C. — STRUCTURE .....	142
D. — TENEUR EN EAU DU SOL .....	142
III. — CARACTÈRES CHIMIQUES .....	145
A. — COMPLEXE ABSORBANT .....	145
B. — QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DE L'HUMUS DES AUNAIES VERTES .....	150
C. — LITIÈRE DE L'AUNAIE VERTE .....	151
D. — FACTEURS INTERVENANT DANS LA FORMATION DES SOLS D'AUNAIES .....	154
IV. — CONCLUSIONS .....	156
BIBLIOGRAPHIE .....	156

## CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

Une étude de la répartition de l'Aune vert dans les Alpes (Doc. Carte Végét. Alpes, V, 81-113) a montré que les Aunaies vertes acquièrent un développement maximum, à l'étage subalpin, aux expositions Nord, sur des roches-mères silico-alumineuses, sur des sols humides et bien drainés et en des secteurs fortement enneigés. Ces constatations semblent traduire des exigences écologiques assez strictes qui sont à rapprocher des exigences physiologiques de cet arbuste : besoins en eau élevés en raison d'une transpiration intense par un feuillage abondant. L'analyse des facteurs climatiques et édaphiques qui nous paraissent déterminants fait l'objet de cette nouvelle publication.

**Résumé.** — Les facteurs climatiques favorables aux Aunaies vertes sont déduits des informations fournies par les stations climatiques situées au voisinage et d'une étude comparative entre le microclimat de l'*Alnetum viridis* et celui d'autres associations subalpines et montagnardes. Le développement de l'Aune est facilité par les facteurs qui assurent une alimentation en eau constante, (précipitations abondantes, étés humides, enneigement durable), une diminution de la transpiration (degré hygrométrique élevé, températures estivales basses) et une protection hivernale contre le gel et la déshydratation (enneigement abondant).

Au point de vue édaphique, l'Aune vert recherche les sols sans calcaire actif, bien aérés, humides. La teneur en eau utile est un facteur capital pour l'Aune qui colonise les supports lui offrant beaucoup d'eau disponible, peu retenue, depuis des sols morainiques presque squelettiques mais constamment irrigués jusqu'à des sols colluviaux bien structurés ayant une grande réserve hydrique.

L'abondance de litière, la richesse en azote des feuilles, liée à la présence de nodosités radicales, jouent un rôle essentiel dans la formation d'un humus du type Mull.

**Summary.** — The climatic factors favourable to the populations of green Elders are deduced from informations supplied by the climatic stations situated in the neighbourhood, and from a comparative study between the microclimate of *Alnetum viridis* and that of other subalpine and mountain associations. The development of the Elder is made easy by the factors which assure a constant water alimentation (abundant precipitations, wet summers, a lasting period of snow), a reduction of transpiration (a high hygrometric degree, low summer temperatures) and a winter protection against frost and dehydration (an abundant snowfall).

From the edaphic point of view, the green Elder seeks soils without active limestone, well aired and damp. The content in useful water is a capital factor for the Elder, which colonizes the supports which offer it much available water, little heldback, from the morainic soils almost skeleton-like but constantly irrigated right to the well structured colluvial soils having a large hydrous reserve.

The abundance of the leaf-litter and the richness in azote of the leaves, linked to the presence of nodosities, play an essential role in the formation of a humus of the « mull » type.

**Zusammenfassung.** — Die für die Grünerlenvegetation günstigen Klimafaktoren werden erschlossen aufgrund von Auskünften nahegelegener Klimastationen und aufgrund einer vergleichenden Untersuchung der Mikroklimata des *Alnetum*

*viridis* und anderer montaner und subalpiner Gesellschaften. Die Entwicklung der Erle wird durch solche Faktoren erleichtert, welche eine gleichmässige Wasserversorgung ermöglichen (reichliche Niederschläge, feuchte Sommer, langanhaltende Schneebedeckung), die Transpiration herabsetzen (hohe Luftfeuchtigkeit, tiefe Herbsttemperaturen) und im Winter Schutz vor Frost und Austrocknung gewähren (reichliche Schneebedeckung).

In edaphischer Hinsicht bevorzugt die Erle gut durchlüftete, feuchte, kalkarme Böden. Der Gehalt an verfügbarem Wasser ist ein entscheidender Faktor für die Erle, die solche Standorte besiedelt, welche ihr viel freies, kaum zurückgehaltenes Wasser bieten — von fast skelettartigen, aber ständig berechneten Moränenböden bis zu gut strukturierten Alluvialböden mit grosser Wasserreserve.

Das reichliche Vorhandensein von Streu und der Stickstoffreichtum der Blätter, der von den Wurzelknöllchen abhängt, spielen eine wichtige Rolle bei der Bildung eines mullartigen Humus.

**Riassunto.** — I fattori climatici favorevoli all'alneto verde sono dedotti dai dati forniti dalle stazioni meteorologiche situate nelle adiacenze e da uno studio comparativo fra il microclima dell'*Alnetum viridis* e quello di altre associazioni subalpine e montane. Lo stanziamento dell'ontano è reso più facile dai fattori assicuranti un costante rifornimento d'acqua (abbondanti precipitazioni, estati umide, innevamento prolungato), una diminuzione della traspirazione (elevata umidità atmosferica, basse temperature estive) e una protezione invernale contro il gelo e la disidratazione (innervamento abbondante).

Dal punto di vista edafico l'ontano verde richiede suoli privi di calcare attivo, ben aerati, umidi. Il tenore in acqua disponibile è un fattore fondamentale per questa pianta che colonizza i substrati che gli mettono a disposizione molta acqua, ben drenati, poi dei suoli morenici quasi allo stadio di litosuoli ma costantemente irrigati e infine dei suoli colluviali a buona aggregazione che possiedano una grande riserva idrica.

L'abbondanza della lettiera e la ricchezza in azoto delle foglie (legata alla presenza di noduli radicali) contribuiscono in modo essenziale alla formazione di un humus del tipo mull.

PREMIÈRE PARTIE

FACTEURS CLIMATIQUES

I. — MÉTHODES UTILISÉES

A. — ANALYSE DES INFORMATIONS FOURNIES PAR LES STATIONS CLIMATOLOGIQUES.

1) **Remarques préliminaires.**

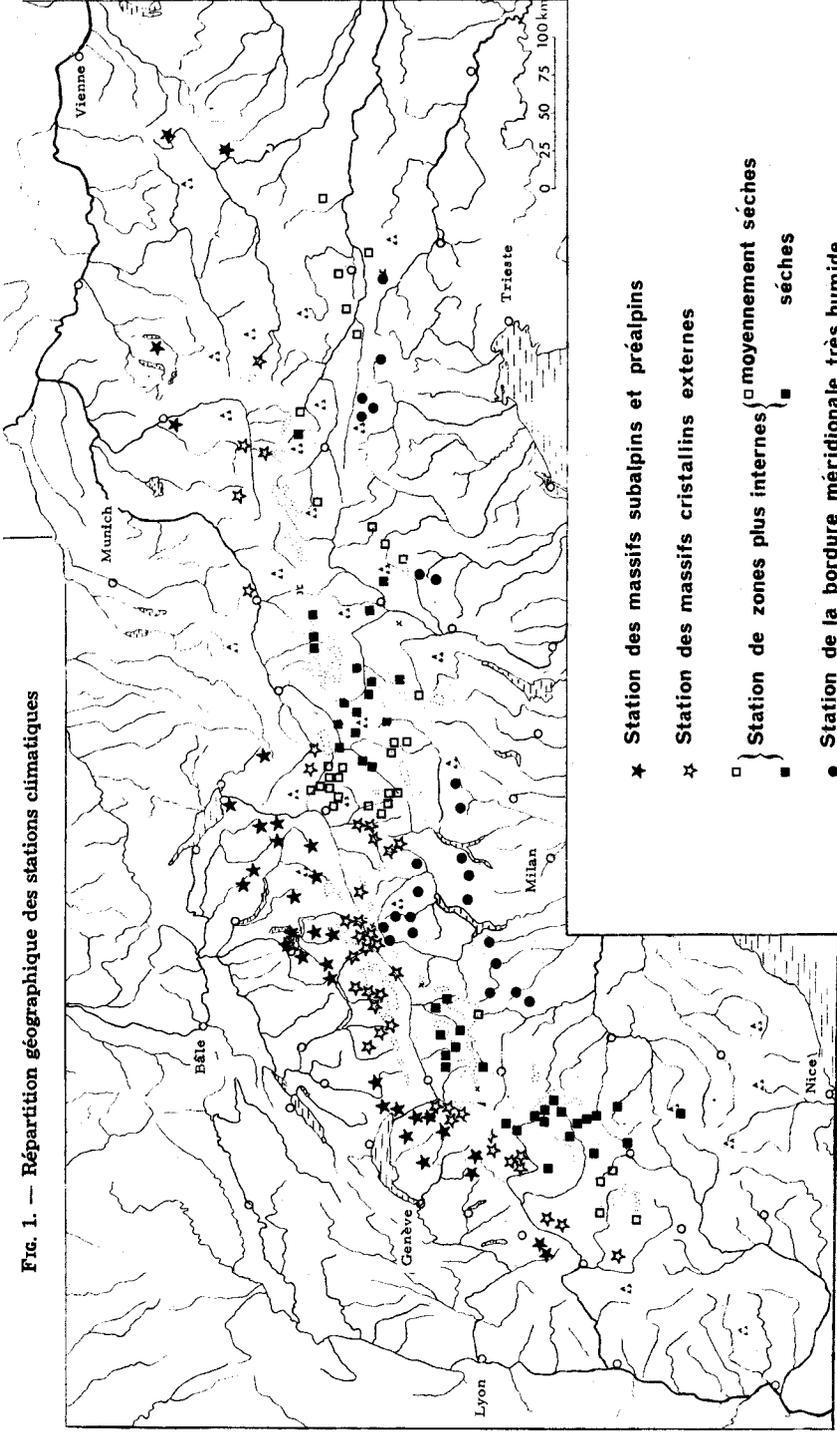
Ces stations ne sont pas situées au cœur même des Aunaies vertes mais à quelques centaines de mètres, dans les cas les plus favorables. Si le total des précipitations recueillies peut être considéré comme valable pour tout leur voisinage, d'autres facteurs, comme la durée d'enneigement, peuvent varier très rapidement avec les changements d'orientation ou de pente.

Les températures sont relevées sous abri; or les végétaux sont soumis, à certaines heures de la journée, à un ensoleillement direct et, la nuit, à un rayonnement intense; les plantes peuvent ainsi subir des amplitudes thermiques bien supérieures à celles qui sont mesurées sous l'abri météorologique. Bien que conscient de leurs insuffisances, nous exploiterons les moyennes de ces stations pour obtenir une première approximation de l'ambiance climatique caractérisant les zones d'Aunaies vertes.

2) **Choix des stations.**

Nous avons retenu 190 stations, des Alpes occidentales aux Alpes orientales. Leur situation est précisée sur la carte n° 1. Dans certaines régions, les postes sont bien étagés en altitude, les uns dans la zone des Aunaies vertes, les autres à leur limite supérieure ou inférieure; ces circonstances favorables permettent de comparer les facteurs climatiques de la zone altitudinale optimale d'une part, à ceux des stations extrêmes d'autre part. Par contre, dans de nombreux autres secteurs, les stations

**Fig. 1. — Répartition géographique des stations climatiques**



## CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

climatiques sont plus rares, souvent une ou deux seulement, ce qui ne permet pas une étude aussi précise.

Les stations ont été classées suivant leur appartenance aux domaines phytogéographiques précédemment définis par P. OZENDA (Doc. Carte Végét. Alpes, IV, p. 175-184 et fig. 39). Pour 136 d'entre elles, pour lesquelles nous possédions des informations complètes, nous avons retenu les caractéristiques suivantes :

- température moyenne annuelle,
- température moyenne du mois le plus froid,
- température moyenne du mois le plus chaud,
- précipitations moyennes annuelles,
- indices climatiques d'aridité de DE MARTONNE et de continentalité hygrique de GAMS.

Les valeurs numériques trouvées seront traduites graphiquement et analysées dans le chapitre suivant.

### B. — ÉTUDE DU MICROCLIMAT PAR UTILISATION DE THERMOHYGROGRAPHES.

Disposant d'un ensemble de six appareils, nous les avons installés simultanément dans diverses associations subalpines (Aunaies vertes, Rhodoraies, Callunaies), montagnardes (Hêtraies) et même collinéennes (Aunaies d'Aune blanc, Chênaies, Frênaies). Six séries de mesures ont été effectuées dans divers massifs des Alpes nord-occidentales, et le tableau n° I précise, pour chaque expérience, l'implantation des appareils et les périodes de mesures. Les appareils sont fixés à 30 cm du sol, sans abri météorologique, le thermomètre bilame ne recevant cependant pas le rayonnement solaire direct.

### C. — RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES.

Certains laboratoires forestiers, comme celui d'IMST (Autriche), ont étudié quelques caractéristiques du microclimat de l'étage subalpin. Leurs responsables de recherches (notamment TURNER et NEUWINGER) nous ont communiqué des résultats relatifs aux durées d'enneigement.

**TABLEAU I**  
**Implantation des thermohygrographes au cours de six séries de mesures microclimatiques**

N°	Lieu	Altitud. en m	Exposit.	Pente en degrés	Formation
<u>1ère Série : Région de Sous Dine (Massif des Bornes) - Juin 1962</u>					
1	Chaîne de Sous Dine	1 800	S	30	Pinède Pin à crochets
2	" "	1 700	N	40	Aunaie dense
3	Vallée de l'Arve	450	Plat		Pelouse
<u>2ème Série : Région des Aravis et Vallée du Fier - Juillet 1963</u>					
4	Vallée inférieure du Fier	500	N	40	Sapinière
5	La Clusaz	1 100	NO	30	Pelouse
6	Le Crêt du Loup	1 800	"	40	Aunaie
7	" "	"	"	"	Lisière Aunaie
8	" "	"	NO O	"	Rhodoraie
9	" "	"	S	45	Lande à Juniperus
<u>3ème Série : Région de Belledonne, Grésivaudan - Août 1963</u>					
10	Le Col de la Coche	2 100	SE	40	Festucetum spadiceae
11	" "	1 900	NO	30	Rhodoraie
12	Bas Col de la Coche	1 800	N	40	Aunaie
13	Bords de l'Isère	280	Plat		Aunaie d'Aune blanc
14	Base talus "Petites Roches"	500	SE	50	Chênaie pubescente
15	Berges ruisseau salin	"	Plat		Frênaie
<u>4ème Série : Région du Parmelan, Annecy - Mai - Juin 1964</u>					
16	La Plaine des Fins	450	Plat		Pelouse
17	Rives du Fier	500	Plat		Aunaie d'Aune blanc
18	Base du Parmelan	1 100	N	30	Aunaie verte
19	" "	1 400	N	40	Aunaie
20	Plateau du Parmelan	1 800	Plat		Fond de lapiaz
21	" "	"	"		Pin à crochets
<u>5ème Série : Basses montagnes autour d'Annecy - Déc. 1964</u>					
22	Base du Mont Veyrier	500	N	20	Aunaie verte
23	Col de la Blonnière	1 000	N	"	" "
24	" "	"	S	45	Chênaie rouvre
25	Base du Mont Veyrier	500	E	40	Chênaie pubescente
26	La Plaine des Fins	450	Plat		Pelouse
<u>6ème Série : Région du Lautaret - Juillet 1962</u>					
27	Col du Lautaret	2 100	S	10	Festucetum spadiceae
28	Col de la Madeleine	1 800	N	30	Aunaie verte

## II. — ÉTUDE CLIMATIQUE GÉNÉRALE

### A. — FACTEURS THERMIQUES.

La température joue un rôle essentiel, en montagne, dans la répartition des espèces végétales (voir P. OZENDA, 1955). PAVARI et DE PHILIPPIS ont même établi une classification des formations forestières italiennes en fonction des deux facteurs suivants : la température moyenne annuelle et la température moyenne du mois le plus froid.

Adoptant le même canevas, nous y avons porté les moyennes thermiques des stations climatiques citées précédemment (fig. 2). Les points correspondants aux zones d'Aunaies vertes forment un essaim assez compact dont l'observation conduit aux remarques suivantes :

1°) Les moyennes thermiques annuelles sont basses, comprises entre 1° et 5°.

2°) Les moyennes du mois le plus froid vont de 0 à -5°; elles sont plus faibles dans le domaine intra-alpin que dans les zones périphériques.

3°) Par rapport au canevas de PAVARI, les Aunaies vertes s'implantent dans les secteurs les plus froids du Subalpin et du Montagnard, d'où elles envoient parfois des traînées vers les zones fraîches du Montagnard inférieur.

4°) Ces basses moyennes thermiques agissent indirectement :

— en hiver et au printemps, en maintenant un enneigement tardif favorable à une bonne alimentation en eau du sol. Les températures hivernales très basses des Alpes internes orientales ont d'ailleurs un rôle compensateur vis-à-vis de la faiblesse relative des précipitations;

— en été, en freinant l'évaporation foliaire et en empêchant une dessiccation trop rapide des couches superficielles du sol où les radicelles de l'Aune sont nombreuses.

5°) L'Aune vert doit cependant disposer d'une somme minimale de chaleur. C'est ce facteur thermique qui, à son minimum, limite l'extension de l'Aune vert en altitude et en latitude.

L'aire de répartition mondiale de *Alnus viridis* montre en effet que sa limite arctique correspond assez bien à l'isotherme 10° de juillet, sauf dans le Sud-Est du Groenland et dans la Sibérie orientale où il atteint l'isotherme 9°. Quant à la limite altitudinale alpine, c'est encore l'isotherme 10° de juillet qui s'en approche le plus. D'après BROCKMANN-JEROSCH (1919), cette ligne s'élève, en Suisse, à 1 800 m dans les Préalpes, à 1 990 m dans les hauts massifs cristallins externes (Gothard), à 2 020 m dans la zone interne (Grisons) et à 2 100 m dans le Tessin méridional, ce qui correspond bien au relèvement altitudinal des Aunaies vertes, de l'extérieur de l'arc alpin vers sa partie interne.

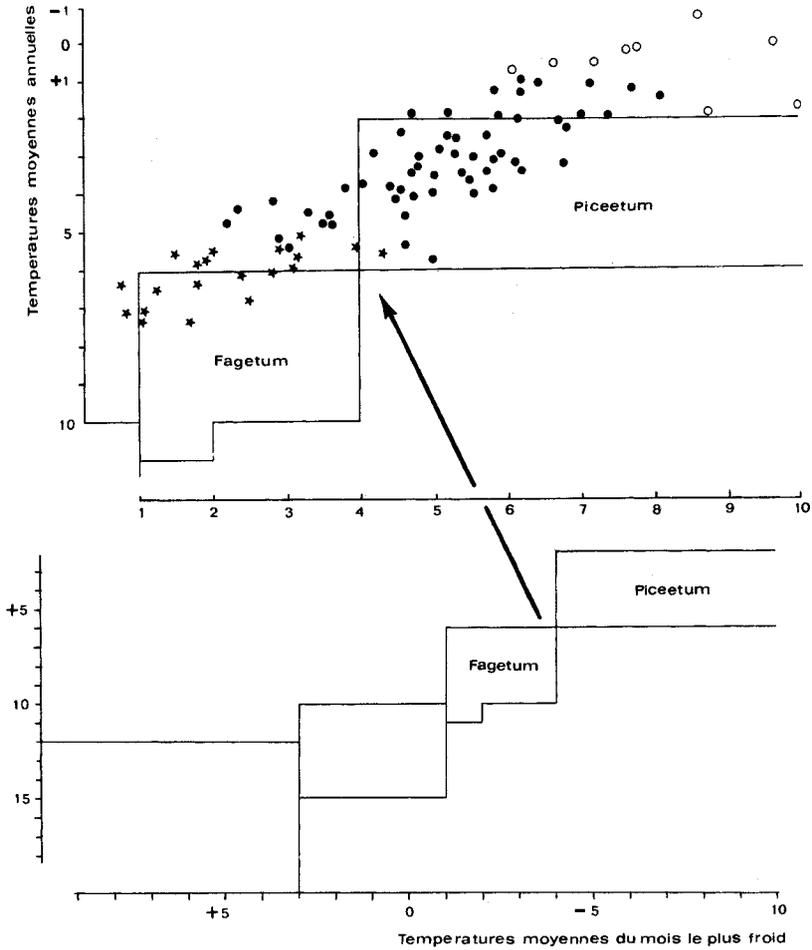


FIG. 2. — Répartitions thermiques, suivant le schéma de PAVARI, des stations étudiées :  
 — points : stations situées au niveau altitudinal d'Aunaies vertes.  
 — ronds : stations situées au-dessus des Aunaies vertes.  
 — étoiles : stations situées au-dessous des Aunaies vertes.

6°) L'Aune supporte mal des moyennes estivales trop élevées, qui intensifient sa transpiration. Il végète lorsque la moyenne de juillet dépasse 15°, à moins qu'une compensation soit apportée par une humidité suffisante du sol.

## B. — LES PRÉCIPITATIONS.

Leur importance écologique est liée :

- à leur total annuel,
- à leur répartition saisonnière,
- à l'épaisseur et à la durée du manteau neigeux.

### 1) Le total des précipitations annuelles.

Les Aunaies vertes s'installent dans des régions très diversement arrosées : depuis les massifs externes recevant plus de 2,50 m d'eau, jusqu'aux vallées internes continentales (Haute-Maurienne, Engadine, Ötztal) où les précipitations annuelles sont inférieures à 900 mm. Le graphique n° 3 illustre ces variations d'amplitude des précipitations, au niveau des Aunaies vertes, dans les diverses zones alpines.

Les Aunaies vertes sont plus envahissantes dans les secteurs externes humides que dans les zones continentales où elles se localisent sur les versants Nord irrigués. Cependant, dans ces zones internes, la concurrence forestière moins forte ne s'oppose pas à leur très grande extension sur des pentes fraîches et déforestées comme dans la vallée de Champagny, en Savoie.

### 2) La répartition saisonnière des précipitations.

La distinction des différentes sources d'approvisionnement en eau de l'Aune vert va nous permettre de mieux cerner le problème. Cet arbuste transpire beaucoup et l'eau évaporée peut être renouvelée par celle qui provient :

— de la fonte des neiges, qui humidifie longuement le sol lorsque la couche neigeuse est épaisse et fond lentement;

— de la fusion des névés et des glaciers de l'étage nival : elle irrigue abondamment, pendant tout l'été, de vastes versants et assure ainsi le développement de très belles Aunaies, sur de hauts massifs, même si les précipitations estivales sont médiocres;

— des pluies : pour assurer, à elles seules, à partir du printemps et en été, une alimentation suffisante, elles doivent être fréquentes et intenses dans le cas de massifs n'ayant pas une réserve nivale ou glaciaire importante (Préalpes);

— des réserves du sol : le pouvoir de rétention de l'eau par le sol sera étudié dans la seconde partie.

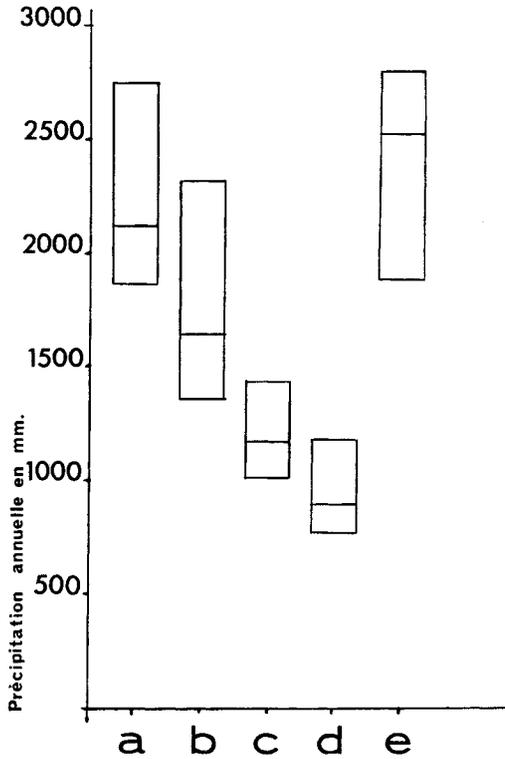


FIG. 3. — Valeur moyenne des précipitations annuelles dans des stations situées au niveau altitudinal d'Aunaies vertes ou les encadrant : les trois traits horizontaux correspondent respectivement à la limite supérieure des Aunaies vertes, à leur niveau moyen dans le domaine considéré, et à leur limite inférieure.  
 a) Domaine centre-européen; b) Domaine des Alpes intermédiaires; c) Domaine intra-alpin; d) Domaine intra-alpin (vallées internes); e) Domaine padan.

Du fait que l'Aune vert a besoin d'une alimentation hydrique continue, il est favorisé par des précipitations estivales et hivernales abondantes, régime assez fréquent sur la bordure nord-ouest des hautes chaînes alpines. Par contre le régime très continental des vallées internes (Engadine) et le régime méditerranéen des Alpes du Sud freinent son extension.

### 3) Les précipitations neigeuses.

Des observations qualitatives montrent que le manteau neigeux est, dans les zones d'Aunaies vertes :

— épais par suite de l'accumulation, sous l'influence du vent ou des glissements, de la neige des pentes supérieures ou des crêtes latérales;

CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

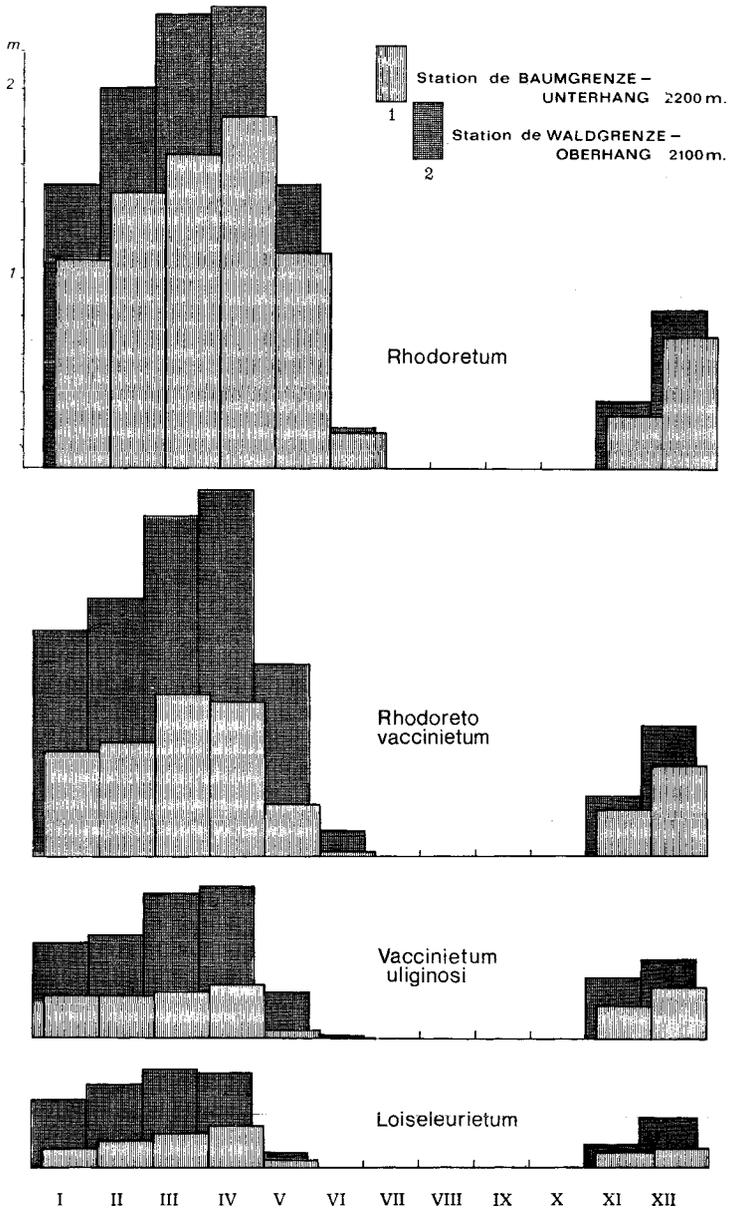


FIG. 4. — Hauteurs moyennes d'enneigement mensuel pour deux stations de la vallée de l'Ötz (Tyrol). D'après des données numériques de TURNER, pour la période 1954-1958. Bien que situées à des altitudes comparables, la station (2) est plus sèche que la station (1) mais les enneigements relatifs des diverses associations demeurent comparables

— durable en raison de la faible insolation et des basses moyennes thermiques.

Des observations quantitatives, sur l'enneigement dans l'étage sub-alpin, ont été effectuées par les services forestiers autrichiens, dans la haute vallée de l'Ötz (Tyrol). Les mesures communiquées par TURNER ont permis de construire le graphique n° 4. Bien qu'aucune observation ne porte directement sur l'Aunaie verte, nous admettrons, comme le pense TURNER, que l'épaisseur et la durée de l'enneigement au niveau de l'*Alnetum* sont un peu supérieures à ceux du *Rhodoretum*. Six mois d'enneigement continu, une épaisseur de 1 à 3 m de neige paraissent être l'optimum. Nous obtenons pour les Alpes nord-occidentales des valeurs comparables en considérant l'enneigement de stations climatiques à proximité d'Aunaies vertes (tableau n° II).

TABLEAU II  
Durées moyennes d'enneigement dans des stations situées à proximité d'Aunaies vertes

Stations	Altitude (en mètres)	Enneigement (durée en jours)
Massif du Mont-Blanc (Le Tour)	1 460	159
Massif du Beaufortin (La Girotte)	1 760	179
Maurienne (Bonneval)	1 790	158
Tarentaise (Val d'Isère)	1 850	174
Le Lautaret	2 000	175
Maurienne (La Bissorte)	2 120	191

a) *La hauteur cumulée des chutes de neige.*

Une couche neigeuse épaisse ploie, sous elle, les rameaux d'Aune vert et les protège efficacement contre le froid et la déshydratation; de plus, elle donne une tranche d'eau de fusion importante. Or, les hauteurs de neige, dans les Alpes nord-occidentales, diminuent, à altitude égale, de la zone externe vers la zone intra-alpine. C'est ainsi que les Préalpes (Chartreuse) accumulent autant de neige à 1 100 m que des vallées internes (Haute-Maurienne) à 1 700 m. Cela peut expliquer, en partie, la diminution du pourcentage des surfaces occupées par les Aunaies vertes, entre 1 000 et 2 000 m, en passant d'un massif cristallin externe (Belledonne) 9,5 %, à un massif plus interne (Le Pelvoux) 7,5 %.

Cependant la densité des Aunaies est loin d'être négligeable dans les vallées internes de massifs très élevés.

**b) La durée du manteau neigeux.**

A altitude égale, la durée d'enneigement diminue elle aussi d'Ouest en Est, dans les Alpes nord-occidentales. Un enneigement minimum de 6 mois se situe vers 1 500 m dans les Préalpes, 1 700 m dans les massifs cristallins externes et 1800 m dans la zone intra-alpine (BALSEINTE, 1956; POGGI, 1958), ce qui correspond aux altitudes basales des Aunaies vertes de ces régions. Cette remontée altitudinale des Aunaies en allant vers les zones internes est à rapprocher d'un phénomène comparable pour les stations de sports d'hiver : La Clusaz, 1 050 m, dans les Préalpes, Val d'Isère, 1 700 m, dans la haute vallée de l'Isère. Les bases de pistes de skis sont souvent d'ailleurs envahies par l'Aune vert.

**c) Le coefficient de niviosité (pourcentage des précipitations solides par rapport aux précipitations totales).**

Il augmente évidemment avec l'altitude, mais plus fortement dans la zone interne. Les hautes chaînes de la zone intra-alpine sont, en hiver, des pôles de condensation plus puissants que les massifs externes (BALSEINTE, BOISVERT) et cela compense partiellement la faiblesse des précipitations annuelles. C'est ainsi qu'une tranche de précipitations d'à peine un mètre dans la région du Col du Mont-Cenis, où le coefficient de niviosité est de 50 %, permet l'implantation d'Aunaies vertes aussi denses que celles de régions peu neigeuses arrosées par plus de 2 m d'eau (secteur insubrien).

On constate donc que la hauteur et l'étendue du massif montagneux représentent un facteur direct important. Un massif élevé et vaste est un pôle de condensation intense qui élève à la fois le total des précipitations annuelles et le coefficient de niviosité, d'où naissance de conditions favorables aux Aunaies vertes. Dans les Alpes nord-occidentales, les massifs internes ont de très vastes surfaces au-dessus de 2 000 m : 102 000 ha pour la Vanoise, 230 000 ha pour le Pelvoux, contre 50 000 pour le Mont-Blanc et 26 000 pour Belledonne. Les masses de neige accumulées, bien que moins épaisses que dans la zone externe, constituent, nous l'avons vu, une énorme réserve potentielle pouvant irriguer copieusement certains flancs de vallées; aussi dans une même région les Aunaies vertes sont-elles d'autant plus développées, dans la même zone altitudinale, que le massif est plus élevé : le Massif du Mont-Blanc a 16 % de ses surfaces comprises entre 1 000 et 2 000 m occupées par des Aunaies; celui du Beaufortin, voisin mais plus bas, voit ce pourcentage tomber à 7,5 %.

**4) Phénomènes de compensation.**

Des compensations peuvent se produire entre les diverses sources d'approvisionnement en eau. A cet effet, nous avons analysé l'intensité et la répartition des précipitations, dans quelques stations, en construisant

leur climatogramme. Parmi de nombreux exemples, nous étudierons les trois suivants (fig. 5).

— *Le Tour*, dans la haute vallée de l'Arve. Le climatogramme en U traduit d'intenses précipitations hivernales et estivales. Les étés sont frais

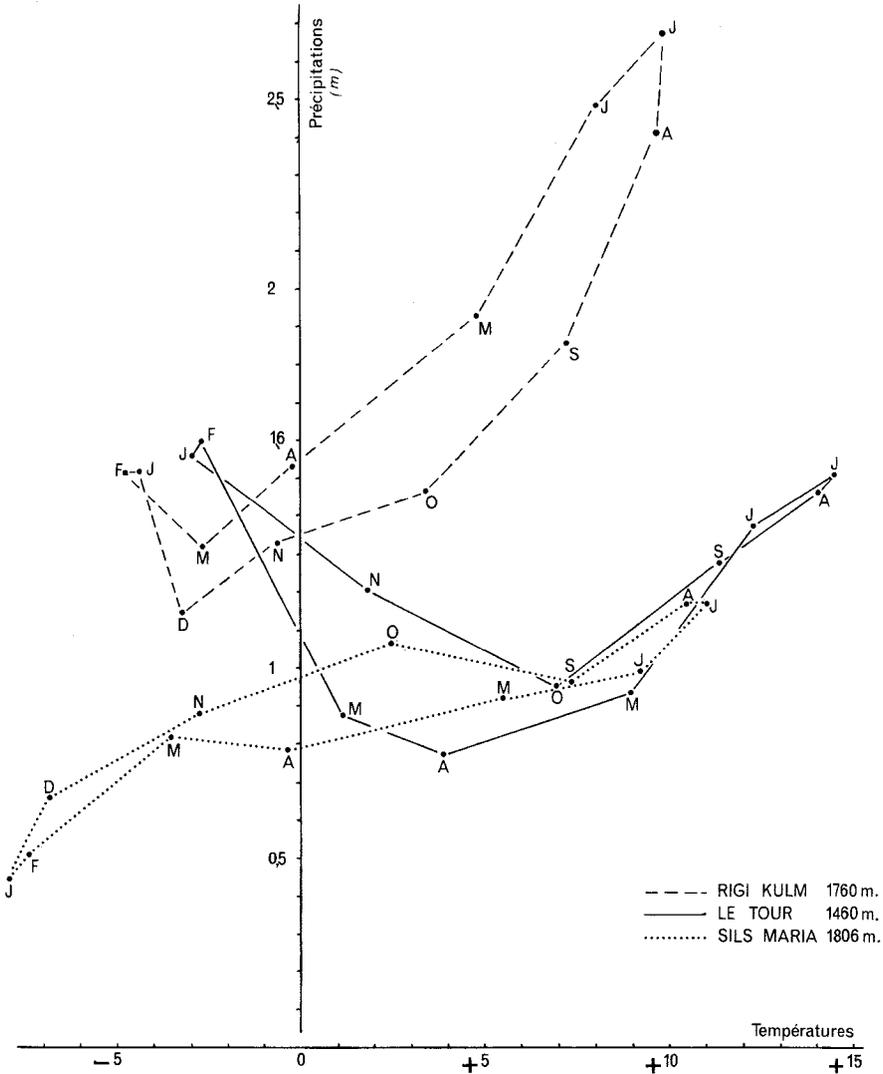


FIG. 5. — Climatogramme de trois stations situées dans des zones altitudinales d'Aunaies vertes : RIGI-KULM (Préalpes suisses), LE TOUR (Massif du Mont-Blanc) et SILS-MARIA (Engadine)

CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

et la température moyenne de juillet ne dépasse pas 14°. A ces facteurs favorables s'ajoute, pour cette région, une irrigation continue du sol due à la présence, en altitude, de nombreux glaciers. Les Aunaies vertes sont très développées et ont un fort pouvoir colonisateur.

— *Rigi-Kulm*, dans les Préalpes des Quatre-Cantons. L'altitude plus modeste de ces massifs entraîne l'absence de glaciers et de leurs eaux de fusion. Un total très élevé de précipitations, un maximum estival très marqué assurent, néanmoins, une bonne alimentation en eau, pour d'assez nombreuses Aunaies vertes.

— *Sils-Maria*, dans l'Engadine. Le déficit annuel, hivernal et estival des précipitations est défavorable aux Aunaies vertes. Cependant la présence, sur de hauts sommets, de névés dont la fonte est tardive permet de maintenir l'humidité du sol de certains vallons où se localisent quelques traînées d'Aune vert.

C. — SYNTHÈSE DE FACTEURS CLIMATIQUES.

1) La répartition ombro-thermique des stations climatiques (fig. 6).

A chaque domaine phytogéographique et à chaque zone altitudinale correspond un essaim de points représentatifs dont le centre de gravité fixe les moyennes annuelles thermiques et pluviométriques.

a) Stations situées dans la zone altitudinale des Aunaies vertes (essais 1 à 4). Pour l'ensemble de ces stations, les amplitudes thermiques (1 - 5°) sont resserrées, alors que les amplitudes des précipitations (800 - 2700 mm) s'étalent largement. Le tableau n° III précise d'ailleurs les moyennes des températures et des précipitations pour les divers domaines étudiés.

TABLEAU III  
Caractéristiques comparées  
de stations situées au niveau altitudinal d'Aunaies vertes  
dans les divers domaines alpins

Domaines	Centre-européen	Alpes intermédiaires	Intra-alpin	Vallées internes	Padan
Moyennes					
Moyenne altitudinale des stations (en m)	1 680	1 790	1 730	1 820	1 673
Moyenne des précipitations annuelles (en mm)	2 118	1 646	1 185	811	2 530
Moyenne des températures annuelles (en degrés)	3,5	2,8	2,9	3,2	4

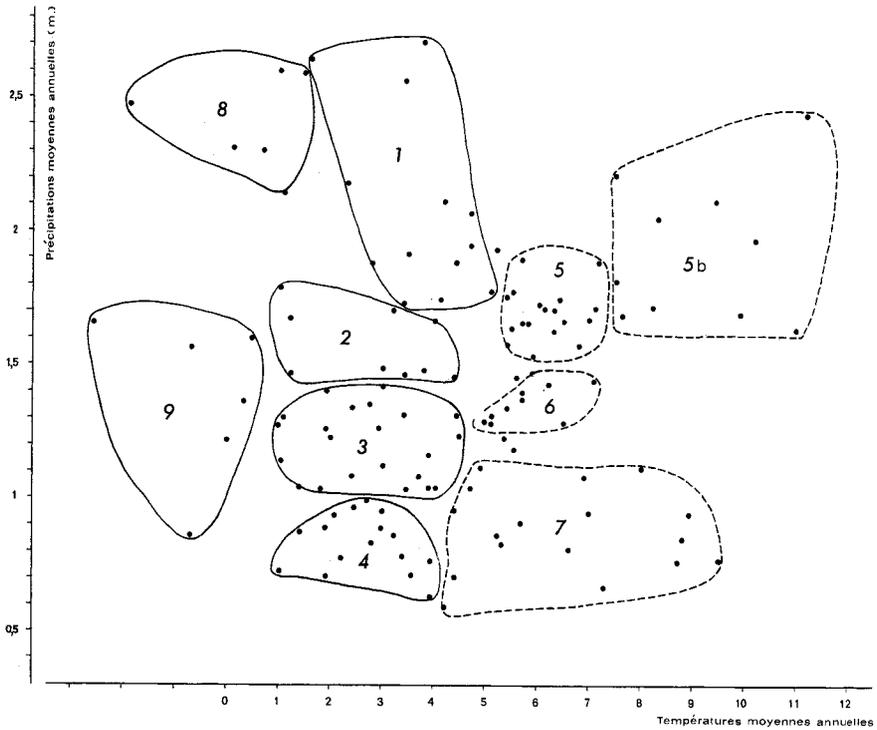


FIG. 6. — Répartition ombro-thermique des diverses stations étudiées. Chaque point correspond à une station climatologique et leur ensemble constitue plusieurs essais :

- 1 à 4 : stations au niveau altitudinal des Aunaies vertes dans les domaines suivants : 1, centre européen; 2, Alpes intermédiaires; 3, intra-alpin; 4, intra-alpin (vallées internes);
- 5 à 7 : stations à la limite inférieure des traînées d'Aunes : 5, centre-européen; 5 bis, padan; 6, Alpes intermédiaires; 7, intra-alpin;
- 8 et 9 : stations au-dessus des Aunaies vertes : 8, centre-européen; 9, intra-alpin.

Les domaines où l'Aune vert trouve des facteurs climatiques optimum correspondent aux essais 1 et surtout 2 (Alpes intermédiaires). Cependant dans les régions plus continentales, plus sèches (essai 3), a priori peu favorables à une espèce hygrophile, des facteurs secondaires et des phénomènes de compensation déjà cités (fonte des névés et glaciers, concurrence forestière plus faible) peuvent modifier localement le climat général dans un sens favorable et expliquent en partie l'ample répartition de l'Aune vert. Ce dernier devient cependant rare dans les vallées les plus continentales (essai 4).

## CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

b) Stations du Montagnard (essais 5 à 7). Leur climat général est plus chaud, moins humide que celui de la zone précédente, exception faite cependant pour le Tessin où les précipitations sont considérables déjà à basse altitude.

c) Stations situées au-dessus du domaine des Aunaies (essais 8 et 9). Leurs basses moyennes thermiques, plus que leurs totaux de précipitations, constituent entre elles un dénominateur commun et ce sont elles, nous l'avons vu, qui excluent l'Aune.

### 2) Indices d'aridité et de continentalité.

Pour les stations retenues, nous avons calculé lorsque nous en avons les éléments :

— l'indice d'aridité de DE MARTONNE :

$$\frac{\text{Précipitations annuelles en mm}}{\text{Température moy. ann.} + 10^\circ}$$

— l'indice de continentalité de GAMS exprimé en degrés de continentalité, défini par l'angle  $x$  dont la cotangente est égale à :

$$\frac{\text{Précipitations moyennes annuelles en mm}}{\text{Altitude en mètres}}$$

Les valeurs numériques sont traduites graphiquement (fig. 7) et les remarques suivantes peuvent être faites :

— L'indice d'aridité des zones d'Aunaies vertes les plus typiques est compris entre 100 et 200 et l'indice de continentalité entre  $35^\circ$  et  $50^\circ$ ; ce qui correspond à la situation écologique définie par la plus grande des quatre aires (n° 1) de la fig. 6.

— Dans les régions à indice de continentalité très élevé (Ötztal), l'importance relative des Aunaies vertes devient faible.

DE PHILIPPIS, pour d'autres formations forestières, cite les valeurs suivantes :

	Indice d'aridité moyen	Indice de continentalité moyen
Piceetum .....	83	$55^\circ$
Fagetum .....	79	$35^\circ$
Castanetum .....	51	$14^\circ$

La continentalité de l'*Alnetum* est ainsi intermédiaire entre celle de la Pessière et de la Hêtraie et son indice de DE MARTONNE est plus élevé.

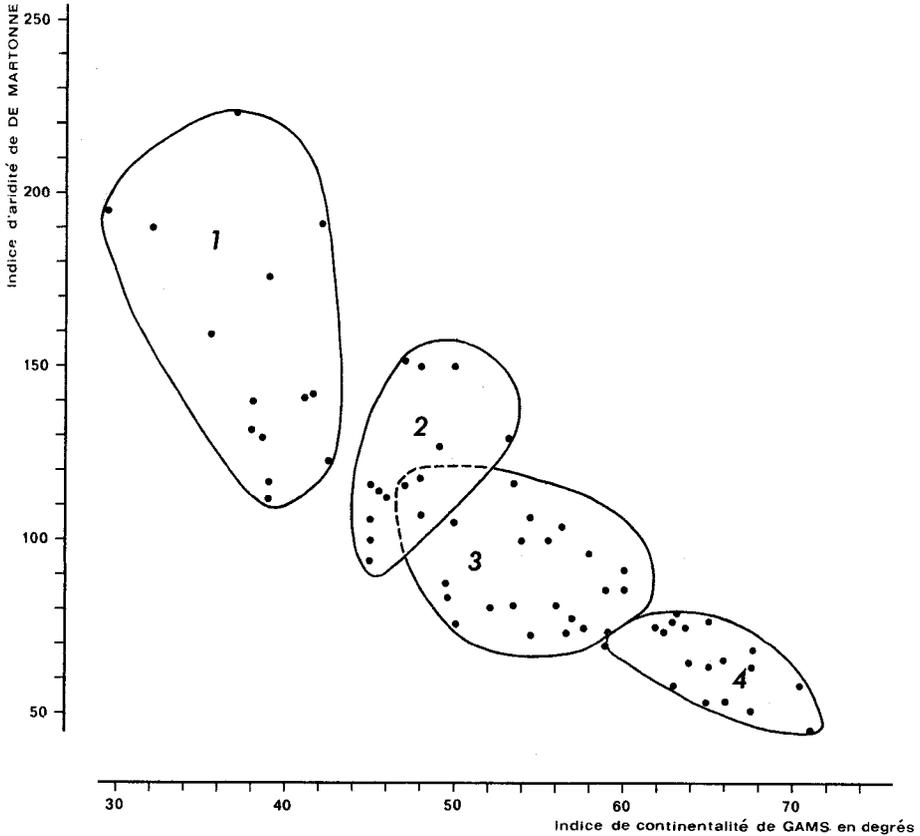


FIG. 7. — Répartition de stations situées au niveau altitudinal d'Aunaies vertes, suivant les indices climatiques de GAMS et de DE MARTONNE.

1, stations des massifs externes; 2, stations des « Alpes intermédiaires »; 3, stations du domaine intra-alpin; 4, stations du domaine intra-alpin, mais vallées très continentales.

Cette figure n'est pas destinée à établir une corrélation entre les indices d'aridité et de continentalité hydrique, mais à donner d'une manière commode les valeurs numériques de ces indices, pour les diverses stations.

#### D. — CONCLUSIONS.

Nous avons récapitulé, dans le tableau n° IV, les facteurs climatiques favorables ou au contraire défavorables à l'établissement des Aunaies vertes. Le maximum de facteurs favorables se trouve réuni sur les faces Nord, à l'étage subalpin, dans les massifs cristallins externes; c'est là que le pourcentage des surfaces recouvertes par les Aunaies vertes est le plus élevé pour les Alpes nord-occidentales.

CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

**TABLEAU IV**  
*Facteurs climatiques favorables ou défavorables aux Aunaies vertes dans les divers domaines alpins*

Facteurs favorables aux Aunaies	Domaine centre-européen (Préalpes)	Massifs cristallins externes	Zone intra-alpine	Domaine padan	Facteurs défavorables	
1. Précipitations annuelles élevées	++	+	-	++	Précipitations faibles inférieures à 1 000 mm	Facteurs climatiques directs
2. Étés pluvieux et humides	++	+	-	+	Précipitations estivales rares, étés très secs	
3. Enneigement abondant	+	++	+ à -	-	Très peu de neige	
4. Enneigement durable	+	++	+ à -	-	Enneigement très court ou trop long (9 mois)	
5. Coefficient de niviosité élevé	-	+	++	-	Faible coefficient de niviosité	
6. Présence de neiges persistantes au-dessus de l'Aunaie	--	++	+	-	Pas de neige persistante au-dessus de l'Aunaie	
7. Températures estivales fraîches : 10 à 15° en juillet	+	+		-	Températures estivales trop élevées (> 16°) ou trop faibles	
8. Coefficient d'aridité élevé : > 100	++	++	-	+	Coefficient d'aridité trop faible	
9. Masses montagneuses hautes (effets de condensation)		++	+	+	Masses montagneuses peu élevées	Facteurs indirects
10. Reliefs recevant directement les vents pluvieux	++	+	-	+	Reliefs en arrière-plan ou région protégée par un écran	
11. Exposition générale N					Exposition générale S	
++ Facteurs très favorables		+ Facteurs favorables				
-- Facteurs très défavorables		- Facteurs défavorables				

**III. — ÉTUDE MICROCLIMATIQUE**

Cent trente quatre enregistrements hebdomadaires de thermo-hygrographes ont été analysés aux fins suivantes :

1°) Comparer les régimes thermiques et hygrométriques des Aunaies vertes à ceux d'autres formations subalpines ou mantagnardes. Pour cela

ÉCOLOGIE DE L'AUNE VERT

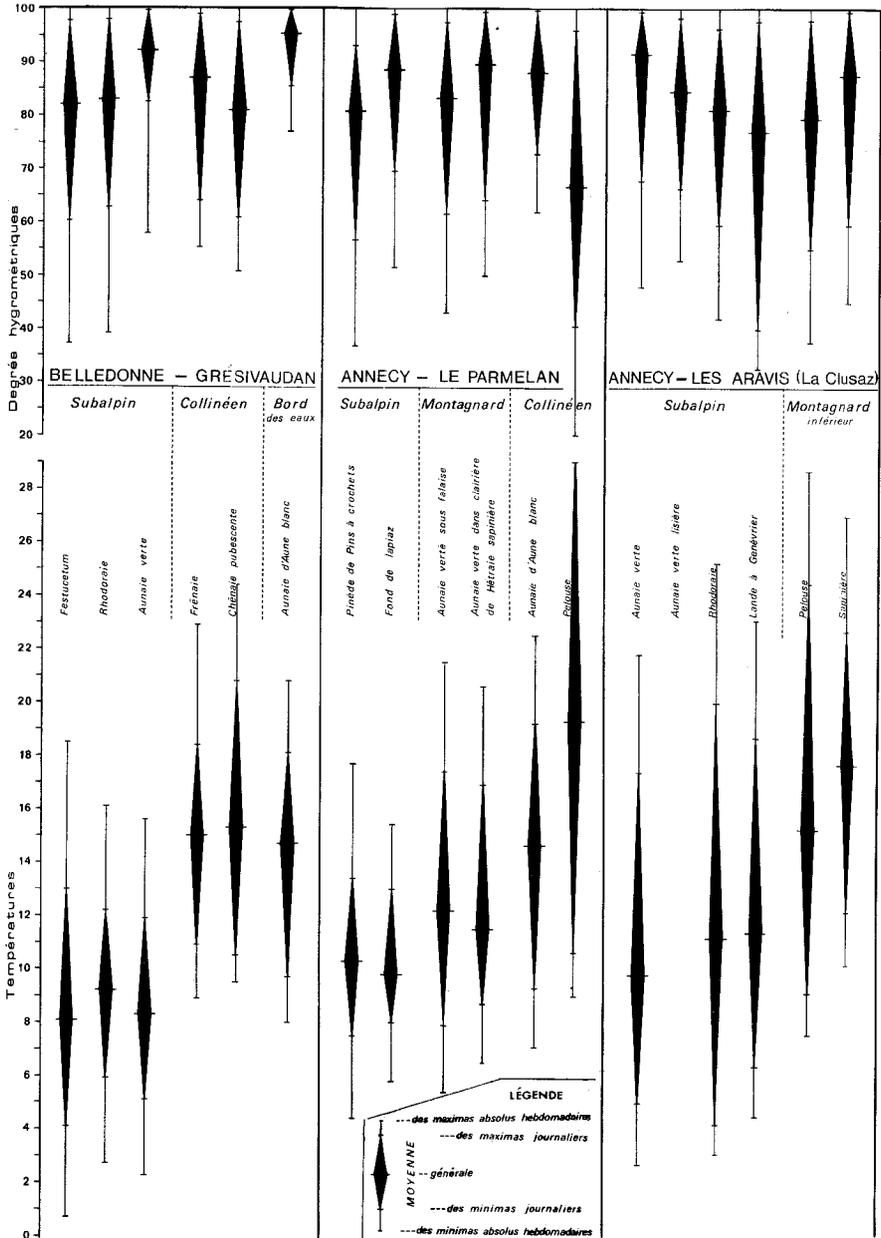


FIG. 8. — Moyennes et amplitudes thermiques et hygrométriques comparées pour diverses formations végétales. Traduction graphique des mesures effectuées dans trois secteurs des Alpes du Nord : — région Belledonne Grésivaudan : 3<sup>e</sup> série du tableau I; — région Annecy Parmelan : 4<sup>e</sup> série du tableau I; — région Annecy Les Aravis : 5<sup>e</sup> série du tableau I

## CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

sont juxtaposés, sur un même calque, les enregistrements obtenus au cours de la même période dans plusieurs associations.

2°) Calculer pour chaque station les moyennes thermiques suivantes :  
— la température moyenne hebdomadaire. Elle est proportionnelle à l'aire circonscrite par la courbe des températures et les axes de coordonnées. Les aires ont été mesurées par pesées après découpage des diagrammes collés sur carton. La valeur numérique de la température moyenne hebdomadaire est donnée par la hauteur  $h$  du rectangle ayant même longueur  $L$  et même aire  $S$  que l'enregistrement;

— la moyenne hebdomadaire des températures maximales et minimales;

— la moyenne des températures extrêmes relevées chaque semaine.

3°) Calculer les moyennes hygrométriques. L'étude est conduite d'une manière symétrique de la précédente : calcul des moyennes hygrométriques hebdomadaires par découpages et pesées; calcul des maxima et des minima moyens et détermination des valeurs extrêmes.

Les résultats sont traduits graphiquement (fig. 8), ce qui permettra dans les pages suivantes une comparaison facile entre les moyennes obtenues dans diverses associations au cours du même mois.

### A. — COMPARAISONS QUALITATIVES ENTRE DIVERSES FORMATIONS.

Les exemples suivants nous semblent les plus démonstratifs.

1. — Région Belledonne-Grésivaudan (mesures n° 12 à 14 du tabl. I).  
— Aunaie verte, à 1 800 m d'altitude;  
— Aunaie d'Aune blanc, sur les rives de l'Isère (250 m);  
— Chênaie pubescente, le long du rebord oriental de la Chartreuse, à 500 m d'altitude (fig. 9).

La superposition des graphes met en évidence les caractères originaux de ces stations de type extrême :

- basses températures et forte humidité sous l'Aunaie verte;
- hygrométrie élevée, températures régulières et assez fortes dans la forêt riveraine d'Aune blanc;
- chaleur et sécheresse sous la Chênaie pubescente.

2. — Région des Aravis (mesures n° 4, 7 et 8 du tableau I).  
— Aunaie verte, à 1 800 m d'altitude;  
— Rhodoraie située à proximité immédiate;  
— Hêtraie-Sapinière du Montagnard inférieur, à 500 m (fig. 10).

Au point de vue thermique, les deux associations subalpines sont nettement plus froides que la Futaie montagnarde; mais à altitude comparable, les amplitudes de températures, dans l'*Alnetum viridis*, sont plus faibles que dans le *Rhodoretum*.

ÉCOLOGIE DE L'AUNE VERT

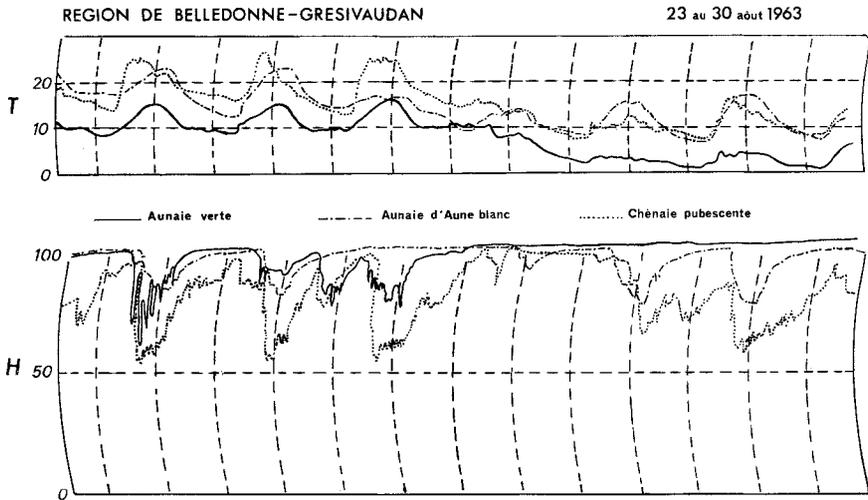


FIG. 9. — Comparaison entre les régimes thermiques et hygrométriques d'une Aunaie verte, d'une Aunaie d'Aune blanc et d'une Chênaie pubescente. Région du Grésivaudan, période du 23 au 30 août.

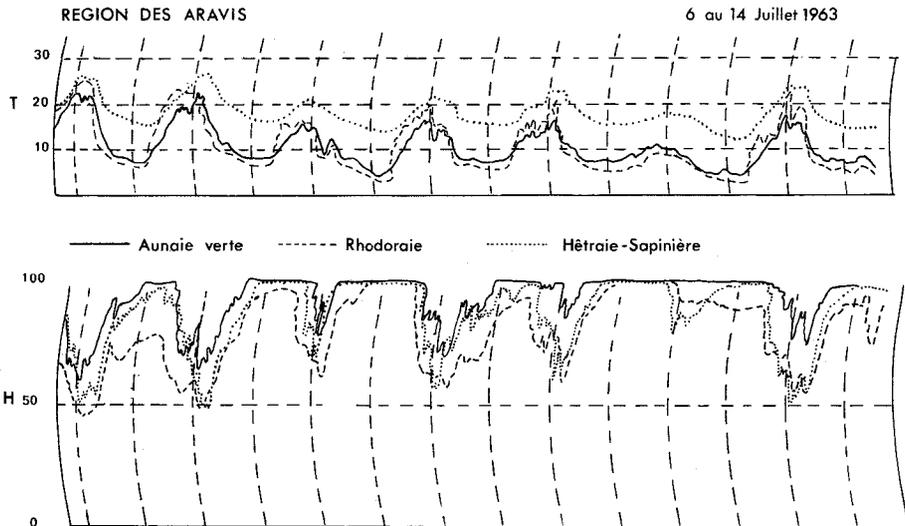


FIG. 10. — Comparaison entre les régimes thermiques et hygrométriques des trois associations suivantes: *Alnetum viridis*, *Rhodoreto-Vaccinietum*, *Abieto-Fagetum*. Massif des Aravis, période du 6 au 14 juillet 1963.

## CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

Au point de vue hygrométrique, l'Aunaie verte est caractérisée par une humidité élevée et constante. Le point de rosée (100 %) est atteint durant la plus grande partie de la nuit et de la matinée, et parfois l'air reste saturé plusieurs jours de suite au cours d'une période orageuse; ce n'est qu'aux heures les plus chaudes des journées ensoleillées que la courbe descend jusque vers 50 %. La Rhodoraie est par contre nettement plus sèche. Quant à la Futaie montagnarde, elle rappelle l'Aunaie par sa forte humidité nocturne et matinale; dans le cas particulier étudié, la présence de falaises sur le versant opposé est à l'origine de réverbérations provoquant des chutes passagères du degré hygrométrique.

### B. — RÉGIME THERMIQUE SOUS LES AUNAIES VERTES.

1. — Les Aunaies vertes sont parmi les associations les plus froides du Subalpin. Leurs moyennes thermiques estivales sont inférieures à celles des Landes à Ericacées (tableau V et fig. 8).

2. — Les amplitudes thermiques sont atténuées par rapport à celles des Landes ou des Pelouses subalpines car leur voûte de feuillage joue le rôle d'écran. Ce fait est particulièrement net lorsqu'une période de mauvais temps estival amène une baisse brutale de la température et des chutes de neige en altitude. Au mois d'août 1963, ce phénomène a été enregistré deux semaines consécutives dans la Chaîne de Belledonne (voir tableau VI). La durée des gelées estivales est très réduite dans l'*Alnetum*.

3. — Les amplitudes thermiques sous les Aunaies vertes restent toutefois plus élevées que celles enregistrées sous d'autres formations buissonnantes montagnardes ou collinéennes (Aunaies d'Aune blanc) : le couvert de l'Aunaie verte n'atténue que partiellement les grandes amplitudes thermiques subalpines.

4. — Les stations abyssales d'Aune vert sont fréquemment le siège d'inversions de température, en hiver : phénomène observé notamment à la base du Parmelan (Haute-Savoie).

TABLEAU V

Comparaison entre les caractéristiques thermiques d'Aunaies vertes et de Rhodoraies

Stations	Périodes	Moyennes thermiques (en degrés)		Amplitudes thermiques moyennes (en degrés)	
		Aunaie verte	Rhodoraie	Aunaie verte	Rhodoraie
Chaîne de Belledonne 1950 m	31-7-64 au	8,37	9,17	9,65	11,5
	30-8-64				
Chaîne des Aravis 1850 m	22-6-63 au	9,83	10,20	12,4	15,8
	21-7-63				

TABLEAU VI

Comparaison des durées de gel estival dans trois formations subalpines

Formations	Période du 17 au 20 août			Période du 26 au 30 août		
	Maxim.	Minim.	Durée de gel	Maxim.	Minim.	Durée de gel
Aunaie	9°	1°	0	9°	0°	0
Rhodoraie	12°	-0,2°	2 heures	11°	-1°	10 heures
Pelouses	11,5°	-1°	42 heures	11,5°	-2°	28 heures

## C. — RÉGIME HYGROMÉTRIQUE SOUS LES AUNAIES VERTES.

1. — Le degré hygrométrique moyen, au cours des mois d'été, oscille entre 85 % et 95 %. Il diminue de l'Aunaie à la Rhodoraie (80 - 90 %) et de la Rhodoraie aux Landes à Genévrier (77 %). Il n'est dépassé que par celui des forêts riveraines d'Aune blanc.

2. — Si ce régime rappelle celui des Hêtraies-Sapinières, l'Aunaie verte conserve cependant une ambiance subalpine en raison des variations nombreuses et rapides du degré hygrométrique. Il y a sommation, d'une part, d'une tendance à l'humidification due au couvert, à la température assez basse et, d'autre part, d'une tendance à la déshydratation bien caractéristique du Subalpin au cours des heures chaudes de la journée. La première influence l'emporte presque constamment, mais de temps à autre, à la suite d'agitation de l'air, le degré hygrométrique s'abaisse rapidement.

Signalons que nous avons trouvé, au fond des lapiaz du plateau urgouzien du Parmelan, un régime thermique et un régime hygrométrique assez comparables à celui des Aunaies. Beaucoup de caractéristiques de l'*Alnetum* s'y rencontrent, mais l'Aune vert en est absent à cause vraisemblablement d'un sol trop riche en calcaire actif.

## D. — CONCLUSIONS.

Le régime hygro-thermique sous les Aunaies vertes rappelle plus celui des forêts montagnardes que celui des landes subalpines à Ericacées. Il offre beaucoup d'affinités avec celui des Hêtraies supérieures sous exposition Nord. Il en résulte que c'est sous l'Aunaie que l'intensité de l'évaporation est la plus faible à l'étage subalpin. Aussi de nombreuses espèces herbacées montagnardes, mal adaptées à lutter contre une transpiration intense, trouvent encore dans le Subalpin, à l'abri de l'Aune vert, des conditions de milieu favorables.

## CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

Le repérage des stations d'Aunes verts sur les cartes de végétation a un intérêt floristique mais surtout écologique car il permet de délimiter un faciès climatique du Subalpin humide, neigeux et froid, tout au moins pour les Aunaies vertes stables et typiques.

### DEUXIÈME PARTIE

#### FACTEURS ÉDAPHIQUES

Les observations sur les sols d'Aunaies vertes des Alpes occidentales ont, jusqu'à ces dernières années, été généralement qualitatives (1). Le but de nos recherches a été de préciser numériquement les caractéristiques physiques et chimiques des sols les plus favorables à l'Aune vert et de montrer l'originalité édaphique de l'*Alnetum viridis* par rapport à d'autres associations subalpines.

#### I. — MÉTHODES UTILISÉES

##### A. — OBSERVATIONS DE PROFILS.

Des tranchées, creusées dans des Aunaies, à l'occasion de travaux d'aménagement de stations de sports d'hiver, ont souvent permis d'avoir des profils très nets.

##### B. — ANALYSES D'ÉCHANTILLONS DE SOLS.

Trente-deux échantillons proviennent d'Aunaies vertes de diverses régions naturelles des Alpes françaises du Nord. Les prélèvements ont été effectués, le plus fréquemment, au niveau des radicelles de l'Aune, abondantes dans l'horizon A<sub>1</sub> et dans la zone intermédiaire A - C. Dans le cas

(1) Le très récent travail de BARTOLI (1966) sur les associations forestières de la Maurienne contient une étude pédologique succincte des *Alnetum* de cette région qui confirme d'ailleurs nos résultats.

le plus favorable, sous une Aunaie établie sur sol colluvial profond, une série de 7 prises a été répartie sur une hauteur de profil de 1,5 m. Seize échantillons, pris sous des formations subalpines voisines, permettent une étude comparative.

Les prélèvements ont été faits lors du développement optimum de la végétation, juillet ou août suivant l'altitude. Leurs emplacements sont précisés par la figure 11 et par le tableau VII. Sur chaque échantillon ont été étudiées :

1. — Les caractéristiques physiques et chimiques : granulométrie, structure, complexe absorbant, pH, rapport C/N. Le tableau VIII précise les techniques utilisées pour les analyses exécutées dans les laboratoires de la station agronomique de Montfavet.

2. — Les relations entre le sol et l'eau. L'Aune vert, en raison de sa transpiration intense, exige une alimentation hydrique continue. C'est pourquoi nous avons déterminé les caractéristiques suivantes :

— la quantité d'eau pouvant être stockée après les précipitations : capacité au champ ou humidité équivalente;

— la quantité d'eau encore retenue dans le sol, quand le point de flétrissement est atteint;

— l'eau utile, différence entre les deux valeurs précédentes.

Ces valeurs sont étroitement liées au potentiel capillaire (pF) : l'humidité équivalente correspond à la teneur en eau du sol pour laquelle  $pF = 2,5$  et le point de flétrissement à celle pour laquelle  $pF = 4,2$ . Nous avons aussi indiqué l'humidité correspondant à  $pF = 3$  car la tranche d'eau comprise entre  $pF = 2,5$  et  $pF = 3$ , est très faiblement retenue et peut être utilisée facilement par les mésohygrophiles de la Mégaphorbiaie. Pour une humidité comparable le pF est plus élevé sur un sol mouillé qui se déshydrate que sur un sol sec qui s'hydrate; nous avons retenu les mesures obtenues en terre humide qui correspondent mieux aux conditions biologiques normales, bien que des difficultés d'échantillonnage sur terre non tamisée apparaissent souvent.

Les déterminations du pF ont été effectuées dans les laboratoires de l'O.R.S.T.O.M. à Paris.

### C. — ANALYSES FOLIAIRES.

L'abondante litière de l'Aunaie joue un rôle essentiel dans la formation de l'humus. La composition chimique de feuilles d'Aune vert a été établie sur des échantillons provenant de quatre stations et pour que l'étude soit comparative, onze autres analyses ont porté sur des feuilles d'arbres (Hêtre, Epicéa), d'arbustes (Saules) et de sous-arbustes (Rhododendron, Myrtille) croissant à proximité.

L'origine et la nature des échantillons sont précisées dans le tableau IX. Les analyses ont été effectuées dans les laboratoires de la station agronomique de Lucé (Eure-et-Loir), en utilisant les techniques indiquées dans le tableau X.

CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

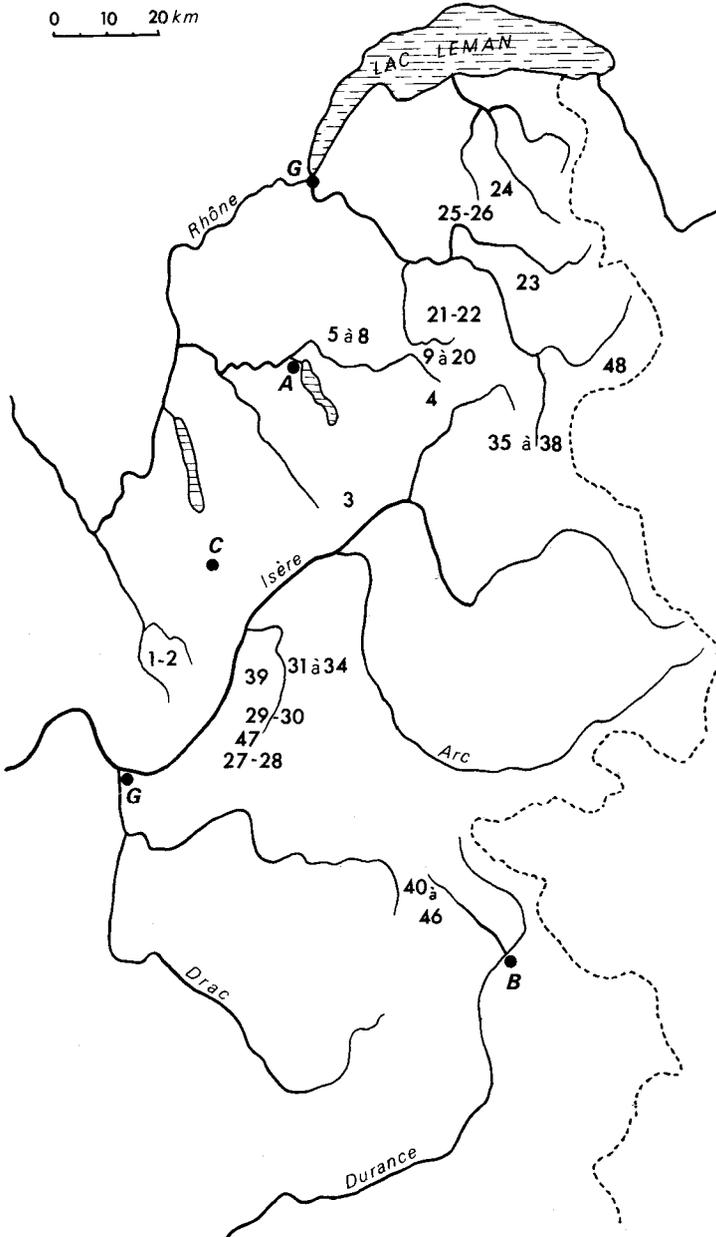


FIG. 11. — Emplacements des prélèvements d'échantillons pour analyses de sol.  
Les numéros des stations correspondent à ceux du tableau VII.

## ÉCOLOGIE DE L'AUNE VERT

TABLEAU VII  
*Origine des échantillons de sols analysés*

N°	ZONE GEOGRAPHIQUE et STATION	Altit. en m	Profond. en cm	Formation	Roche-mère
1	CHARTREUSE : Le Petit Som	1 600	10	Aunaie dense	marnes
2	" "	"	40	" "	valanginiennes
3	BAUGES : Massif du Pecloz	1 500	10	Aunaie	"
4	BORNES : Col des Aravis	1 500	10	Aunaie	"
5	Massif du Parmelan	1 600	"	"	"
6	" "	1 700	"	Aunaie clairiérée	urgonien (couches à orbitolines)
7	" "	1 750	"	Mégaphorbiaie	urgonien
8	" "	1 400	"	Aunaie	marnes
9	Massif des Aravis	1 750	"	Aunaie - Rhodoraie	grés numulitique
10	" "	"	30	"	"
11	" "	1 650	3	Aunaie	"
12	" "	"	30	"	"
13	" "	"	60	"	"
14	" "	"	70	"	"
15	" "	"	100	"	"
16	" "	"	130	"	"
17	" "	"	150	"	"
18	" "	1 800	10	Rhodoraie	"
19	" "	"	40	"	"
20	" "	"	10	Callunaie	"
21	Col Colombière	1 600	"	Pelouse Lande à Vaccinium	"
22	" "	"	"	Aunaie dense	"
23	CHABLAIS : Les Saix	1 500	"	Aunaie	flysch numulitique
24	Avoriaz	1 700	"	"	"
25	Massif de Marcelly	1 900	"	Aunaie dense	"
26	" "	"	"	Eboulis - pelouse	"
MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES					
27	Belledonne	1 800	10	Aunaie dense	micaschistes et gneiss
28	"	"	40	"	"
29	Sept-Laux	1 600	10	"	granulite
30	"	"	40	"	"
31	Le Collet d'Alleverd	1 850	5	"	grés permians
32	" "	"	15	"	"
33	" "	"	5	Rhodoraie	"
34	" "	"	30	"	"
35	Beaufortin	2 100	10	Aunaie	micaschistes
36	"	1 850	"	Pelouse à Nard	"
37	"	"	"	Aunaie	"
38	"	2 100	"	Loiseleurietum	"
CONTREFORTS DES MASSIFS CRISTALLINS					
39	Massif de Bramefarine	1 200	10	Aunaie claire	schistes liasiques
ZONES INTERNES					
40	Vallée de la Guisanne	1 800	"	Aunaie dense	éboulis cristallins et moraines
41	" "	"	40	"	"
42	Région du Lautaret	2 000	10	Vaccinietum	"
43	" "	"	"	Aunaie	éboulis cristallins
44	" "	1 950	-	Festucetum	"
45	" "	"	-	Saussaie	"
46	Vallée de la Guisanne	1 800	-	Pelouse	"
FORMATIONS MORAINIQUES					
47	Belledonne	1 500	10	Aun. très claire	micaschistes
48	Massif du Mont-Blanc	1 800	"	Aunaie claire	arène granitique

CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

**TABLEAU VIII**  
*Méthodes utilisées pour les analyses pédologiques*

Analyses effectuées	Méthodes utilisées
Analyse granulométrique	Méthode internationale par emploi de la pipette de ROBINSON
Calcaire total %	Calcimètre BERNARD
Calcaire actif %	Méthode DROUINEAU
pH eau et pH KCl	Rapport sol/solution = 1/5 et mesures électrométriques
Capacité totale d'échange en M. val. % (T)	Percolation à l'acétate d'ammonium neutre et normal
Ca <sup>++</sup> échangeable (m. val. %)	Méthode BRAY et WILLHITE
K <sup>+</sup> échangeable (m. val. %)	d°
Mg <sup>++</sup> échangeable (m. val. %)	Percolation par CaCl <sub>2</sub>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en mg par Kg	Méthode acéto-acétique
Carbone organique o/oo	Méthode ANNE
Azote organique o/oo	Méthode KJELDAHL
Matières organiques o/oo	A partir de C et N organiques

**TABLEAU IX**  
*Analyses foliaires : Nature et origine des échantillons. Résultats numériques.*

Espèces végétales	Lieu	Référence analyse pédologique	N Kjeldahl %	Cellulose %	Cendres %	P %	K %	Ca %	Mg %
Aune vert	Vallée de la Guisanne - Le Lautaret	40-41	2,72	16	5,6	0,19	1,23	1,18	0,18
Rhododendron	"	"	1,49	19,5	3,4	0,13	0,55	0,82	0,14
Vaccinium myrtillus	"	"	2,31	19,4	3,9	0,14	0,81	0,80	0,13
Saule	"	"	2,35	18,3	10,4	0,22	1,15	3,59	0,26
Aune vert	Le Collet	31-34	4,13	13,8	4	0,32	0,87	0,55	tr.
Rhododendron	"	"	1,82	20,2	4,2	0,24	0,67	0,91	0,05
Epicéa dans Rhodoraie	"	"	1,13	23,8	2,5	0,13	0,38	0,42	tr.
Epicéa dans Aunaie	"	"	1,47	24,9	3,2	0,17	0,45	0,57	tr.
"	"	"	1,23	25,2	2,7	0,14	0,38	0,64	0,05
Aune vert	Crêt du Loup	9-20	3,08	17,3	4,3	0,18	1,36	0,70	tr.
Epicéa dans Callunaie	"	"	1,11	28,9	4,2	0,11	0,99	0,82	tr.
Epicéa dans Aunaie	"	"	1,60	26,2	4,4	0,12	0,99	0,90	tr.
Aune vert	Le Parmelan	5-8	3,34	19	4,8	0,24	0,89	1,35	0,13
Hêtre	"	"	2,22	25,7	4	0,13	0,62	1,07	0,12

**TABLEAU X**  
Méthodes utilisées pour les analyses foliaires.

Analyses effectuées	Méthodes utilisées
1. Azote total	Méthode de KJELDAHL
2. Cendres	Calcination à 550° pendant 6 h
3. Teneur en Ca	Photométrie de flamme sur extrait chlorhydrique des cendres
4. Teneur en K	d°
5. Teneur en Na	d°
6. Teneur en Mg	Photométrie d'absorption du composé obtenu avec le jaune titane
7. Teneur en P	Photométrie d'absorption du phosphovanomolybdate d'ammonium
8. Cellulose	Méthode de la Station Agronomique de WENDE, simplifiée

#### D. — DOCUMENTATION RECUEILLIE AUPRÈS D'AUTRES CHERCHEURS.

Nous avons comparé les résultats de nos analyses à ceux que nous ont transmis : le laboratoire forestier d'Imst (Tyrol), M. ZARZYCKI (Carpatés polonaises), B. PAWLOWSKI (Carpatés ukrainiennes) et Ch. BARTOLI (Maurienne).

### I. — CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

#### A. — PROFIL DU SOL SOUS LES AUNAIES VERTES.

##### 1) L'épaisseur du profil.

Elle est des plus variables : 1 à 2 décimètres sous certains peuplements d'Aune agrippés sur des affleurements rocheux très inclinés; 1,50 à 2 mètres sous des Aunaies colonisant des sols colluviaux, à la base de pentes. Ces derniers sols supportent d'ailleurs les Aunaies les plus luxuriantes.

## 2) La morphologie du profil.

Sous un *Alnetum* typique, on peut reconnaître les horizons suivants :

—  $A_0$ , peu épais, 1 à 2 cm, noirâtre, légèrement fibreux. La litière de l'Aune et celle des grandes espèces de la Mégaphorbiaie se décomposent rapidement; les débris de feuilles, accumulés à l'automne, ne sont plus identifiables dès le début de l'été.

—  $A_1$ , horizon contenant en mélange la matière organique et la matière minérale, gris brun, de 10 à 20 cm d'épaisseur, très grumeleux.

— C, formé surtout par la roche-mère désagrégée. Le passage  $A_1$  — C est très progressif et les radicelles de l'Aune sont fréquentes au niveau de l'horizon  $A_1$  et dans la zone intermédiaire A — C.

Les Aunaies vertes sont supportées en général par des sols peu évolués à profil A — C ou A — (B) — C.

### **Variantes :**

Sous les Aunaies ayant colonisé partiellement des Rhodoraies (Aunaies-Rhodoraies),  $A_0$  est épais (7 à 8 cm), spongieux;  $A_1$  est noirâtre et son épaisseur dépasse parfois 20 cm.

Sous des Aunaies installées sur des pentes plus faibles et sur roche-mère filtrante (grès), un horizon B s'esquisse à cause d'une tendance au lessivage vertical.

## B. — LA TEXTURE.

### 1) Représentation graphique.

La composition granulométrique de quelques sols est figurée par une série de bandes rectangulaires dans lesquelles chaque classe de particules occupe une longueur proportionnelle à son pourcentage (fig. 12); les colloïdes organiques y figurent à côté des colloïdes argileux, car ils interviennent pour donner au sol ses caractéristiques physiques. Le spectre granulométrique a été établi pour la « terre totale », c'est-à-dire « terre fine » et éléments grossiers, car la terre totale représente le support réel de la plante, et les cailloux ou les graviers jouent un rôle actif dans certaines propriétés du sol comme la porosité.

La répartition statistique des diverses classes granulométriques rencontrées est mise en évidence sur un graphique à coordonnées triangulaires (fig. 13).

ÉCOLOGIE DE L'AUNE VERT

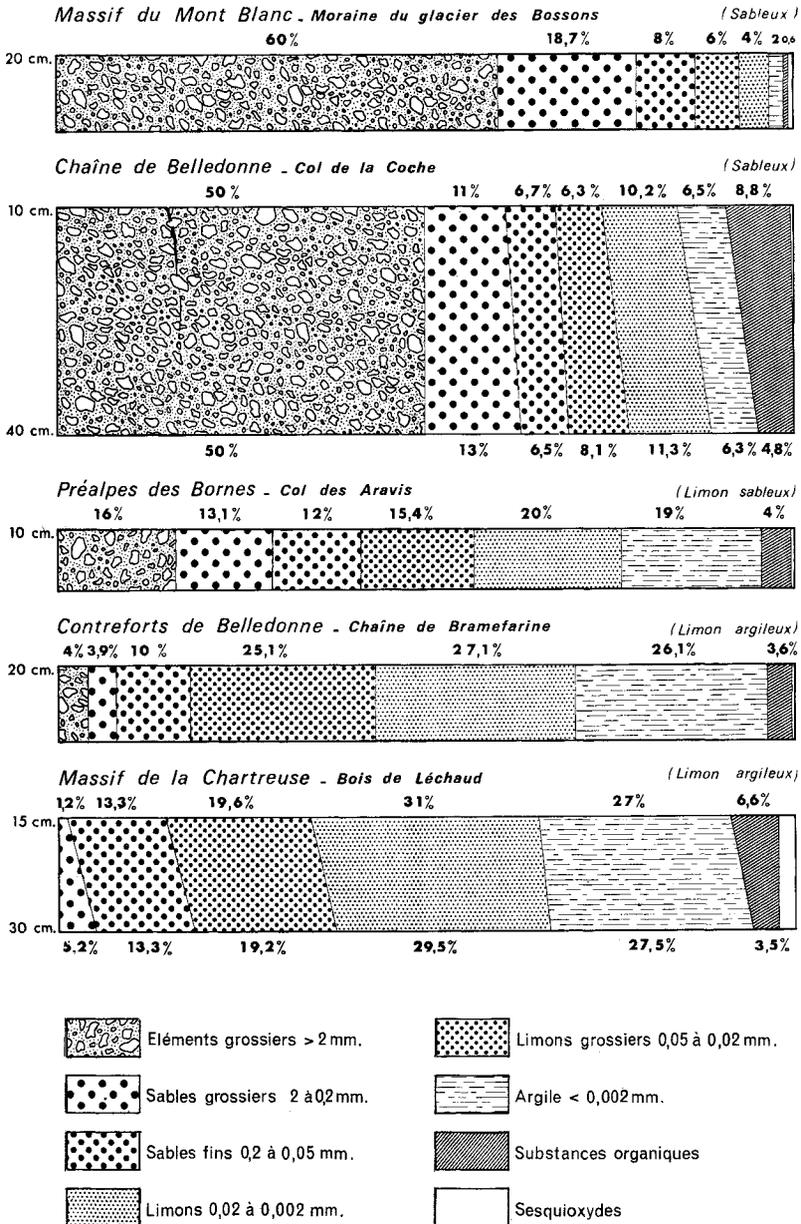


FIG. 12. — Amplitude de composition granulométrique de sols d'Aunais verts. Sur chaque bande sont indiqués la région et le lieu de prélèvement. A gauche figurent les profondeurs de prises.

CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

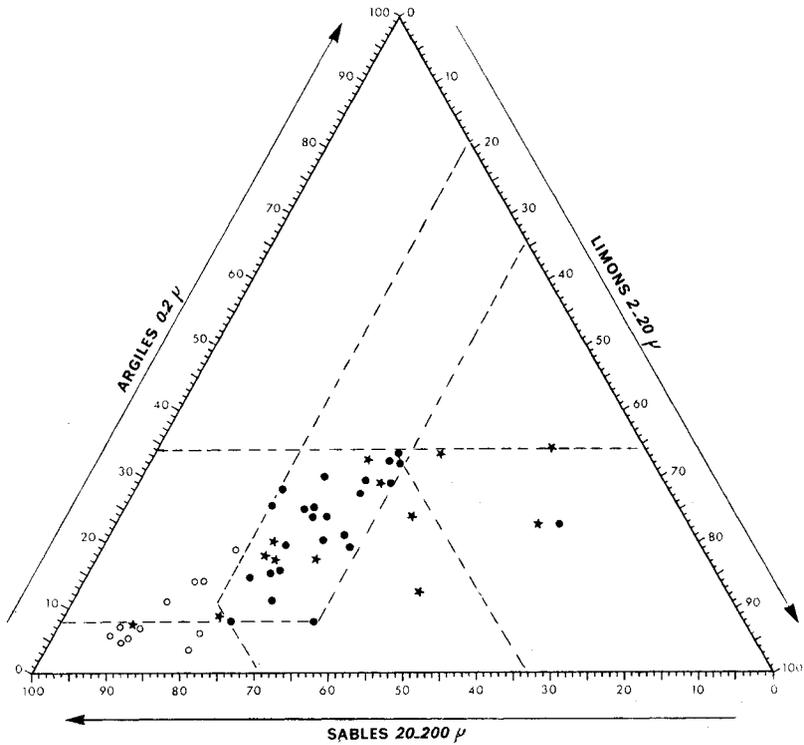


FIG. 13. — Diagramme granulométrique. Les points figuratifs correspondant aux sols d'Aunaies vertes s'inscrivent presque tous dans un parallélogramme. Une granulométrie plus grossière correspond aux horizons profonds de sols d'Aunaies ou à des sols de Rhodoraies; une granulométrie plus fine correspond à des sols de pelouses ou de fond de lapiaz.

- points : Horizon A<sub>1</sub>, Aunaies vertes.
- cercles : Horizon A—C, Aunaies vertes, horizons profonds.
- étoiles : Horizon A<sub>1</sub>, diverses landes et pelouses subalpines.

2) **Interprétation.**

a) **La grande amplitude de composition granulométrique des sols d'Aunaies.**

Comme le montre la fig. 12, l'Aune peut coloniser des supports de texture très variée :

- sables limoneux, très riches en éléments grossiers;
- limons sableux;

- argiles sableuses, à texture moyenne dans lesquelles les diverses fractions sont régulièrement représentées;
- limons argileux sans éléments grossiers.

La granulométrie de ces sols est liée à la nature de la roche-mère, surtout sous les Aunaies peu évoluées.

#### b) *La texture optimum.*

Dans cette large échelle granulométrique, où s'implantent de préférence les Aunaies les plus luxuriantes ? Sur le diagramme de la fig. 13, les points correspondant aux Aunaies vertes les plus typiques forment un essaim assez compact pouvant être inscrit dans un parallélogramme dont le centre donne la composition moyenne optimum : argiles 25 %, limons 30 %, sables 45 %.

Les Aunaies peuvent ainsi s'établir sur des sols de granulométrie variée, mais les textures fines limoneuses leur sont indirectement favorables en raison de leur capacité en eau élevée.

#### c) *L'évolution de la texture.*

Lorsque dans une même région et sur la même roche-mère des Aunaies vertes sont à des phases différentes d'évolution, la texture est souvent plus grossière sous une Aunaie pionnière que sous une Aunaie âgée dont la teneur en limons se fixe entre 20 et 35 %. Dans ce dernier cas, la texture fine est limitée aux horizons superficiels; la granulométrie devient plus grossière en profondeur, surtout sur roche-mère granitique.

La fine granulométrie de l'horizon A<sub>1</sub> des sols d'Aunaies semble due aux facteurs suivants :

- les basses températures hivernales gèlent les parties superficielles du sol très humide et les désagrègent;
- les phénomènes de lessivage oblique déposent, au niveau de l'Aunaie verte où le courant d'eau est ralenti, des éléments fins issus des pentes supérieures (colluvionnement);
- les coulées de neige qui s'amassent dans les *Alnetum* charrient des matériaux dont beaucoup de particules colloïdales, de limons antérieurement mêlés à la neige par le vent;
- l'abondante litière de l'Aune et des grandes espèces de la *Mégaphorbiaie* enrichit les horizons de surface en colloïdes organiques qui retiennent les argiles.

#### d) *Les textures défavorables.*

Les sols de granulométrie extrême sont très défavorables à l'implantation des Aunaies vertes. Tels sont :

- les sols argileux accumulés par lévigation, au fond des cuvettes. Mal structurés et asphyxiques, ils portent des colonies denses d'hygrophiles

## CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

des eaux stagnantes : *Carex*, *Eriophorum*, *Trichophorum*, Sphaignes. L'Aune blanc, dans le Montagnard, et l'Aune glutineux, à plus basse altitude, peuvent parfois coloniser ces sols marécageux;

— les éboulis grossiers où la terre fine fait pratiquement défaut en surface. Des alluvions morainiques contenant plus de 80 % de graviers et de sables sont cependant colonisées par l'Aune vert, mais elles contiennent un minimum de 20 % de limons ou d'argiles.

### C. — LA STRUCTURE.

Au niveau des radicules, dans l'horizon A<sub>1</sub>, le sol des Aunaies vertes est fréquemment grumeleux; les grumeaux ont 0,5 cm de diamètre, leur contour est irrégulier, leur stabilité est moyenne (ils sont en partie détruits par temps très pluvieux). Cette structure rappelle celle de nombreux mulls. Elle semble liée à la qualité et à l'abondance de la litière de l'Aune, car elle apparaît progressivement lorsque l'Aunaie envahit des landes à humus brut.

Cette structure donne une capacité en air élevée, indispensable à l'activité des nodosités radiculaires. L'aération du sol est, après la teneur en eau, un facteur favorable pour l'Aune qui, comme nous l'avons vu, fuit les sols asphyxiques. Remarquons que la présence d'éléments grossiers, anguleux, dans une terre de structure très fine augmente la porosité et peut suppléer en partie à une mauvaise structure; elle facilite l'implantation de l'Aune sur des sols limono-argileux très humides comme certains sols colluviaux.

### D. — TENEUR EN EAU DU SOL.

#### 1) Représentation graphique (fig. 14).

Elle met en évidence, pour chaque échantillon, la masse d'eau stockée dans 100 g de terre sèche; en différenciant l'eau très fortement retenue, non utilisable par les végétaux, de l'eau utile.

#### 2) Analyse des résultats.

##### a) L'eau stockée dans le sol.

Pour les trois quarts des sols d'Aunaies vertes étudiées, elle dépasse 50 % de la masse de terre fine, ce qui traduit une bonne porosité capillaire.

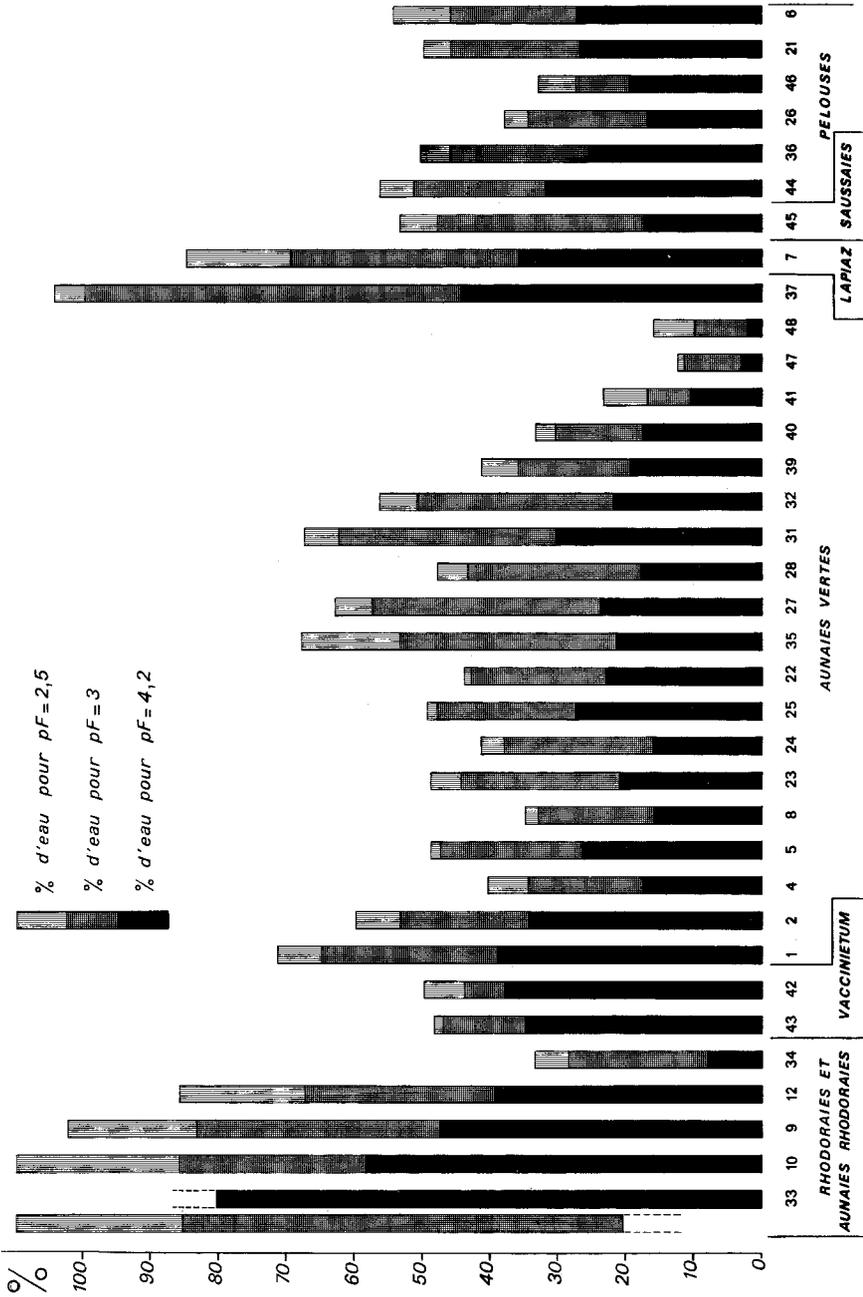


Fig. 14. — Masse d'eau retenue dans 100 g de terre sèche pour diverses valeurs du pF; mesures effectuées sur sol se déshydratant. Les numéros de référence des échantillons correspondent à ceux du tableau VII.

## CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

Cette dernière est élevée dans les sols à texture fine, bien structurés, profonds comme ceux formés sur des marnes du Crétacé (fig. 14, n° 1-2) ou sur des placages de grés (n° 32-35). Beaucoup d'Aunaies des massifs subalpins sont nécessairement implantées sur ces « sols réservoirs », car ces chaînes aux altitudes modestes, sans neige persistante, ne bénéficient pas de l'imprégnation du sol par les eaux de fonte des névés, importante sur les hauts massifs, et de plus l'extension des reliefs tabulaires calcaires y diminue l'irrigation par les eaux de ruissellement. Aussi les espèces méso-hygrophiles s'y localisent sur les sols capables de retenir une proportion importante des eaux de précipitations. Ces sols sont également des supports de choix pour les Hêtraies-Sapinières exigeantes elles aussi en eau et qui concurrencent l'Aunaie verte dans l'étage montagnard.

La porosité capillaire est souvent moins développée sur les roches-mères granitiques et la capacité hydrique devient faible (fig. 14, n° 40). L'approvisionnement de nombreuses Aunaies des hauts massifs cristallins est alors assurée par la fonte des névés dont les eaux alimentent un lacs de ruisselets ou suintent le long des pentes. Sur les parois de ravins, l'Aune peut même s'accrocher à des sols squelettiques mais constamment humidifiés par le jaillissement des cascades. L'irrigation du sol par des eaux courantes froides offre l'avantage de maintenir une bonne oxygénation du sol.

### b) *L'eau utile.*

L'eau du sol de l'Aunaie verte doit être non seulement abondante mais facilement mobilisable; l'eau utile y correspond souvent à plus de 60 % de la capacité totale en eau.

Sur des sols bien aérés et constamment alimentés en eau utile, l'Aune vert montre un grand pouvoir colonisateur si les autres facteurs du milieu lui sont favorables, d'où la vigueur des Aunaies sur d'anciennes alluvions fluvioglaciales bien irriguées. Il se développe par contre moins bien sur l'humus brut des landes à Ericacées (Rhodoraies) : la teneur en eau de ces dernières peut être considérable (fig. 14, n° 10-33), mais une grande partie de cette eau est fortement retenue (partie de la colonne représentée en noir). Sur le plateau urgonien du Parmelan (Haute-Savoie), de beaux peuplements de Rhododendron colonisent une épaisse couche de mor sur calcaire massif; ils y utilisent les eaux de précipitations stockées dans l'humus brut; quelques Aunes verts s'y mêlent parfois, mais souffrent de la sécheresse estivale car cette espèce apparaît moins apte que les Ericacées à extraire l'eau capillaire de ces sols.

La fig. 14 montre que pour certains sols d'Aunaies la capacité en eau est comparable à celle de pelouses subalpines voisines et c'est alors l'intensité d'irrigation qui différencie l'évolution du peuplement végétal.

## III. — CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

## A. — LE COMPLEXE ABSORBANT.

## 1) La capacité d'échange (T) (fig. 15).

Elle varie entre 10 et 30 m. val. pour 100 g de terre; elle croît avec l'importance de la fraction colloïdale et elle devient plus élevée sous les Aunaies évoluées. L'Aune vert peut cependant coloniser des sols à très faible capacité d'échange (rôle de pionnier) et fait augmenter progressivement la valeur de T. La capacité d'échange des sols d'Aunaies vertes reste toutefois bien inférieure à celle de l'humus brut des landes à Ericacées.

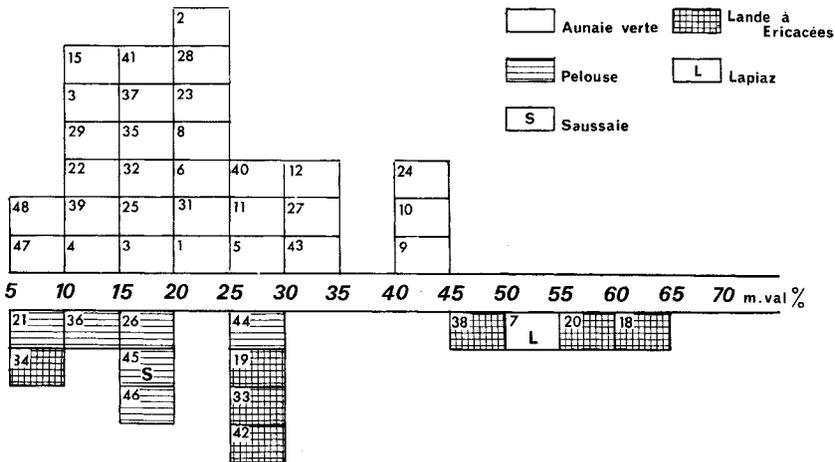


Fig. 15. — Valeurs du complexe absorbant en m. val. %. Chaque rectangle traduit un résultat d'analyse et contient le numéro de référence du tableau VII. Au-dessus de l'axe, sols d'Aunaies vertes; au-dessous, autres formations subalpines. La même disposition a été adoptée pour les fig. 16, 18, 19, 20, 21.

## 2) Le taux de saturation (S/T) (fig. 16 et 17).

Il dépend de la nature de la roche-mère : S/T atteint 100 % sur des marno-calcaires et tombe à 8 % sur des grès décalcifiés. Cependant sur

CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

un même support, les sols d'Aunaies vertes présentent souvent un pourcentage de saturation supérieur à celui des Rhodoraies, ce qui assure une meilleure alimentation minérale de certaines espèces comme l'Epicéa.

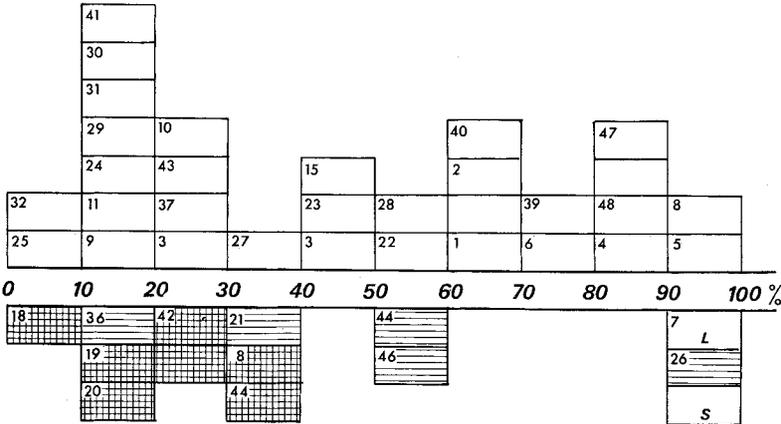


FIG. 16. — Taux de saturation comparé pour quelques sols d'Aunaies vertes et d'autres formations subalpines.

3) Le pourcentage de saturation en calcium.

L'Aune vert est souvent considéré comme calcifuge. Effectivement les sols d'Aunaies n'ont jamais de calcaire actif et leur taux de saturation en  $Ca^{++}$  peut descendre à moins de 4 % sur certains grès. Toutefois il n'est pas calcifuge strict car, comme le montrent les fig. 17 et 18, le pourcentage en  $Ca^{++}$  présente de grandes amplitudes et l'Aune colonise même des marnes du Jurassique saturées. S'il s'implante plus difficilement sur des sols riches en  $Ca^{++}$  c'est peut-être que ces derniers, formés en général sur roche-mère calcaire, sont plus secs. Vis-à-vis du facteur « calcium », l'Aune vert appartient au même groupe écologique que le Châtaignier (premier groupe de calcifuges défini par DUCHAUFOUR).

4) Le pourcentage de saturation en magnésium.

L'ion  $Mg^{++}$  est souvent abondant dans les sols d'Aunaies; le rapport  $Mg/Ca$  est parfois supérieur à 1 ce qui provoque un antagonisme vis-à-vis des ions  $Ca^{++}$  et donne à la végétation un caractère plus acidiphile. Le pourcentage de saturation en magnésium, toujours élevé sous des Aunaies

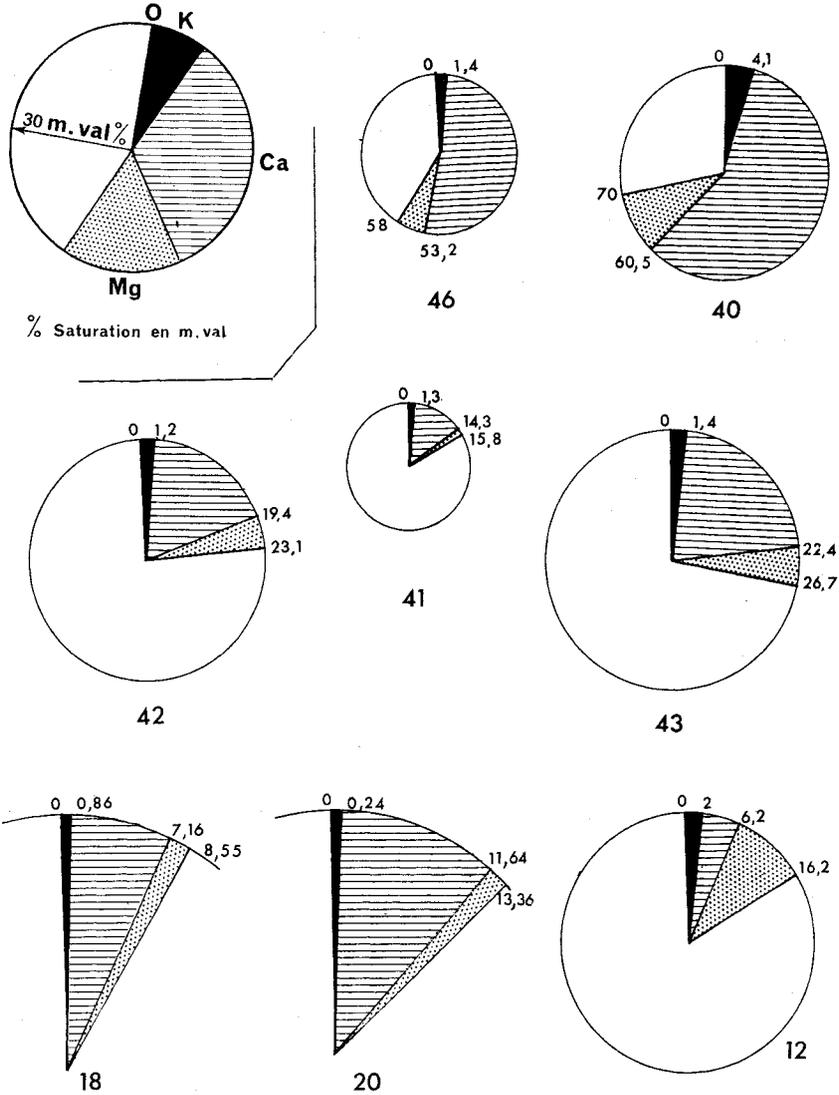


Fig. 17. — Valeurs comparées de la capacité d'échange et du pourcentage de saturation en  $K^+$ ,  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ . Le rayon de chaque cercle est proportionnel à la capacité d'échange exprimée en m. val. Les pourcentages de saturation sont indiqués par des secteurs. Les numéros de référence correspondent à ceux du tableau général: 40. Aunaie verte, horizon A—C, vallée de la Guisanne; 42, *Vaccinietum*, horizon  $A_1$ , vallée de la Guisanne; 43, Aunaie colonisant le *Vaccinietum* horizon  $A_1$ ; 46, pelouse à proximité du n° 40; 18, Rhodoraie, Massif des Aravis, horizon  $A_1$ ; 20, Callunaie, Massif des Aravis, horizon  $A_1$ ; 12, Aunaie, Massif des Aravis, horizon  $A_1$ .

CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

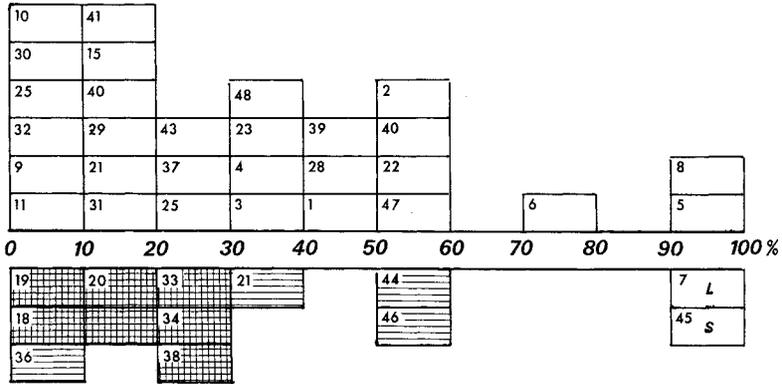


FIG. 18. — Pourcentage de saturation du complexe absorbant en Ca<sup>++</sup>.

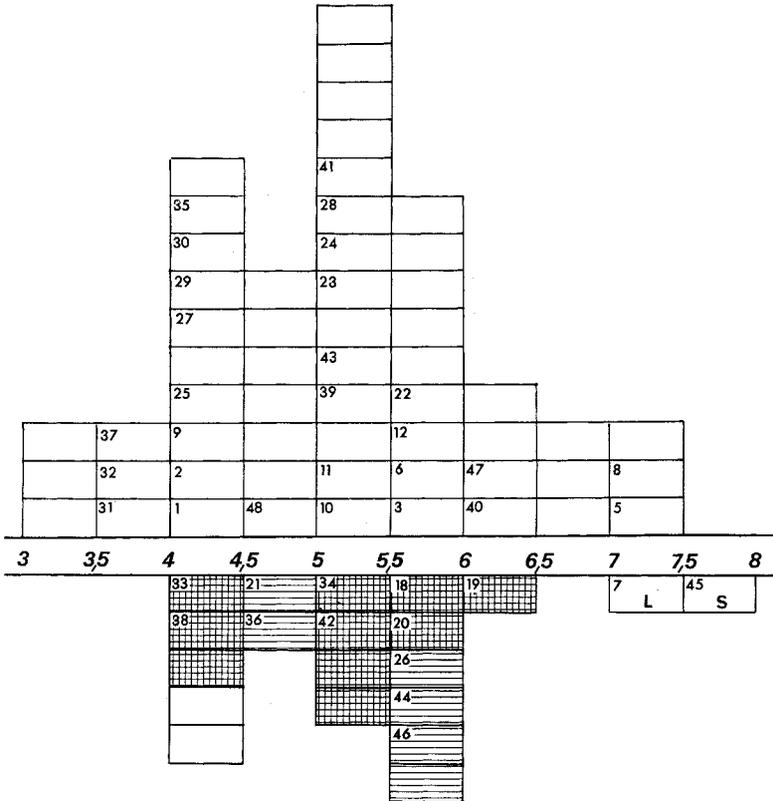


FIG. 19. — Répartition statistique des valeurs du pH.  
(Les rectangles sans numéro correspondent à des mesures de pH d'Aunaies vertes communiquées par d'autres auteurs).

établies sur des granites, des schistes, des marnes micacées, peut s'expliquer par la richesse de ces sols en composés magnésiens.

Sur une même roche-mère, l'horizon A<sub>1</sub> des sols d'Aunaies est souvent plus riche en ions K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> que l'horizon correspondant des landes à Ericacées. Cet enrichissement semble dû à l'action de la litière et sera étudié au chapitre suivant.

### 5) Propriétés électro-ioniques : le pH.

Les valeurs numériques de 73 mesures de pH de sols d'Aunaies vertes et de diverses associations subalpines ont été portées sur le diagramme de la fig. 19. Cinquante-quatre mesures ont été effectuées par nous, 14 sont empruntées à HEGG (Alpes bernoises) et 5 à PAWLOWSKI (Carpathes).

Les Aunaies vertes s'établissent sur des sols présentant une gamme étendue de pH :

— sols très acides, sur roches-mères cristallines et sur certains grès. La valeur minimum relevée dans les Alpes dauphinoises est pH = 3,6, sur grès permien, au Collet d'Allevard (Isère); dans les Alpes bernoises, HEGG trouve un pH de 3 !

— sols moyennement acides, au pH compris entre 5,5 et 6,5, sur marnes, schistes, amphibolites;

— sols neutres provenant de la décomposition des marno-calcaires (ELLENBERG et LAMMERMAYER signalent par ailleurs, dans les Alpes orientales, la présence d'Aunaies vertes sur des sols basiques).

Statistiquement, les Aunaies vertes se rencontrent le plus fréquemment sur des sols à pH compris entre 5 et 6 car, dans l'étage subalpin des massifs cristallins où l'Aune vert trouve des conditions climatiques très favorables, l'acidification des sols est assez générale; cette dernière est souvent moins poussée sous l'*Alnetum* que sous le *Rhodoretum*, ce que confirme d'ailleurs l'établissement du diagramme écologique des espèces de l'Aunaie verte (L. RICHARD, *Bull. Soc. Bot.*, Genève, 1968).

Le pH mesuré avec KCl à N/10 est inférieur de 0,1 à 0,9 unités au pH eau ce qui traduit une tendance à l'acidification.

En milieu franchement basique et sur sol riche en Ca actif, l'Aune vert est remplacé par des *Salix* : *S. appendiculata*, *S. glauca*, ce dernier sur sol à pH = 8 au Lautaret. Dans les Alpes centrales et orientales, les brousses de Pin couché supplantent l'Aune vert sur les affleurements calcaires.

B. — QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DES HUMUS DES AUNAIES VERTES.

1) Le rapport C/N.

La figure 20 traduit la répartition de ce rapport entre les divers sols étudiés.

Pour la majorité des Aunaies vertes, il est compris entre 9 et 14 ce qui, en relation avec un pH moyen de 5,5 à 6, caractérise des mulls acides. Par contre C/N est très élevé sous les landes à Ericacées, dans des sols très acides. Ces faits sont bien illustrés par le tableau XI qui indique les valeurs de C/N pour des associations situées à la même altitude, sur la même roche-mère et à quelques dizaines de mètres l'une de l'autre.

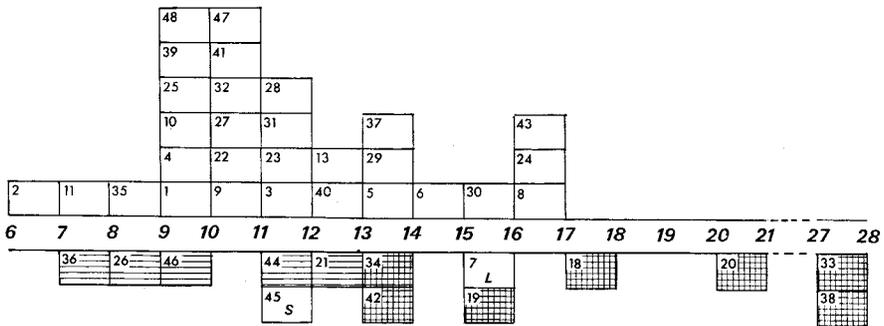


Fig. 20. — Valeurs du rapport C/N.

Lorsque l'Aunaie verte se substitue à d'autres landes subalpines, elle fait rapidement diminuer ce rapport qui, sous des Aunaies âgées, paraît relativement indépendant de la roche-mère. Il devient alors comparable à celui qui a été trouvé sous des Hêtraies à Erable, étudiées en Chartreuse par BARTOLI. Cette parenté écologique se double d'ailleurs d'une parenté floristique.

TABLEAU XI  
Variations du rapport C/N

Localisation	Formation	C/N
Beaufortin (Col du Joly, 2000 m)	Aunaie	8,8
	Loiseleurietum	27,2
Massif des Aravis (Crêt du Loup, 1850 m)	Aunaie	7,9
	Callunaie	20
	Rhodoraie	17
Belledonne (Le Collet, 1950 m)	Aunaie	11,7
	Rhodoraie	27

## 2) La teneur en matières organiques.

L'accumulation de matières organiques est faible sous les Aunaies vertes par rapport à ce qui est observé sous les autres landes subalpines (fig. 21). Elle traduit une minéralisation rapide de la litière, étudiée ci-après.

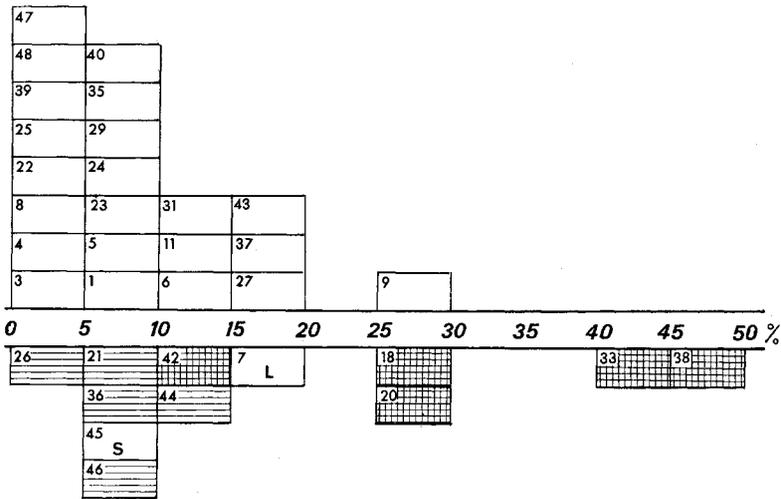


FIG. 21. — Teneurs en matières organiques de l'horizon A<sub>1</sub> des sols analysés.

## C. — LA LITIÈRE DE L'AUNE VERT.

Les résultats d'analyses sont traduits graphiquement de manière à comparer la composition des feuilles d'Aune vert à celles d'autres espèces (fig. 22 et 23).

## 1) La teneur en azote.

Les feuilles d'Aune sont plus riches en N que celles d'autres espèces ligneuses : leur teneur en cet élément dépasse de 50 % celle du Hêtre, de 20 % celles des Saules et elle surclasse encore plus nettement celles du Rhododendron ou des aiguilles d'Épicéa. Cela implique une nutrition azotée

CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

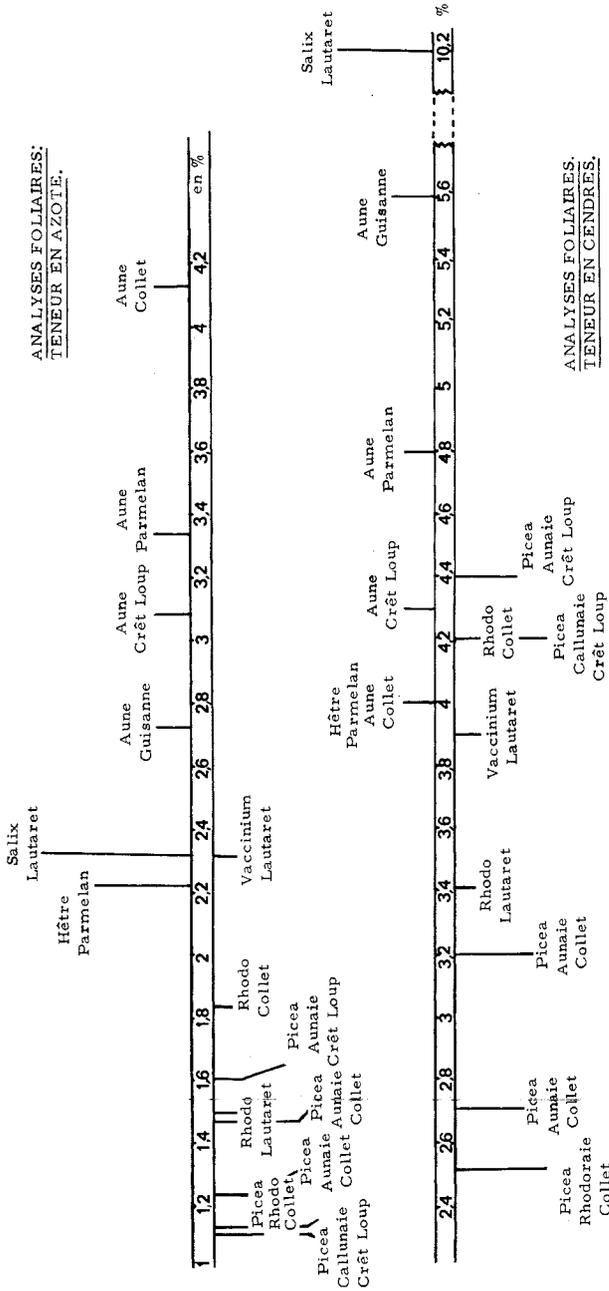


Fig. 22. — Résultats d'analyses foliaires.

Teneur en azote et en cendres.  
 Sous le nom de chaque espèce est indiquée la station d'origine et, dans le cas du « Picea », la formation dans laquelle il se développe.

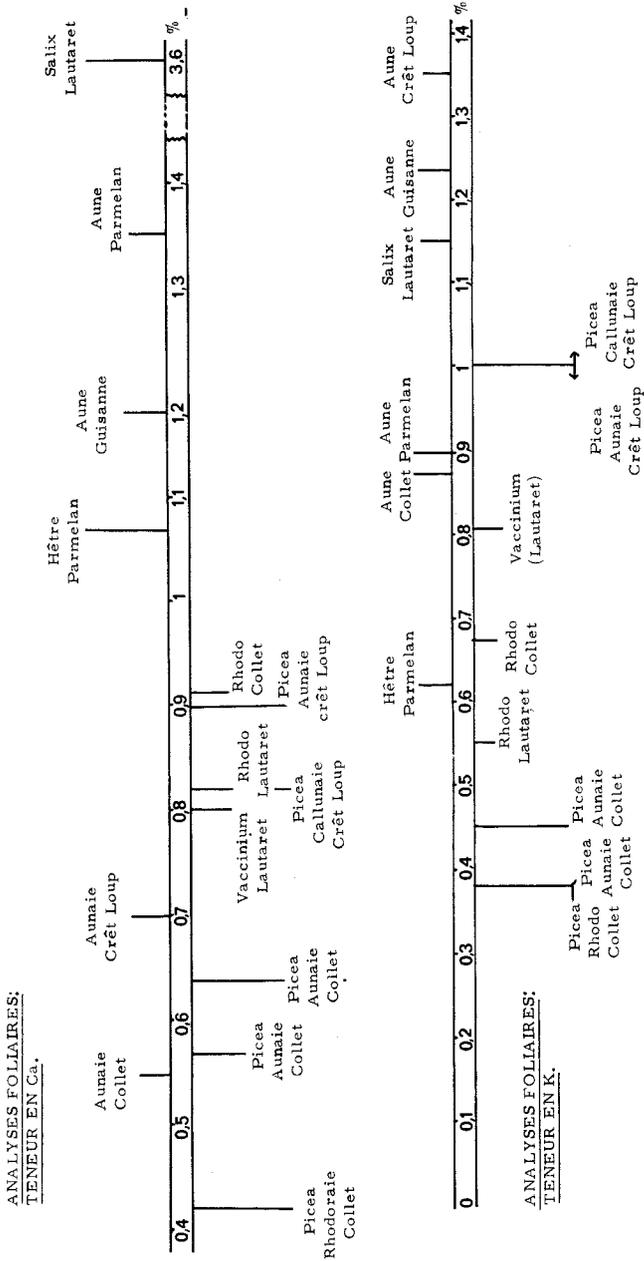


Fig. 23. — Résultats d'analyses foliaires. Teneurs en K et en Ca.

## CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

intense liée à la présence de nodosités fixatrices d'azote. Comme la litière de l'Aunaie verte est abondante (750 g de feuilles par m<sup>2</sup> d'Aunaie contre 620 g par m<sup>2</sup> de Rhodoraie), elle enrichit les horizons superficiels du sol en composés azotés donnant naissance à un humus au rapport C/N bas, facilement minéralisable. Cela permet d'interpréter les faits suivants :

La plus grande richesse en azote des aiguilles des Epicéas implantés dans des Aunaies vertes par rapport à celles d'Epicéas de même âge poussant sur la même roche-mère, dans des Rhodoraies ou des Callunaies. Ces landes à Ericacées ont des sols très riches en azote organique mais N s'y trouve engagé dans des combinaisons plus difficilement utilisables par les mycorhizes de l'Epicéa.

La luxuriance de la végétation herbacée sous l'Aunaie verte (Mégaphorbiaie) dont beaucoup d'espèces se rencontrent toujours par ailleurs sur des sols riches en eau et en éléments nutritifs. Une parenté floristique a d'autre part été constatée entre l'*Alnetum viridis* et certaines associations nitrophiles dont quelques espèces comme *Aconitum lycoctonum* trouvent facilement, sous l'Aunaie, l'azote dont elles ont besoin.

### 2) La teneur en cendres et en cations.

Elle est plus élevée chez l'Aune que chez d'autres arbres ou arbustes poussant dans la même station. La litière de l'Aune pourra enrichir l'horizon A<sub>1</sub> en cations prélevés dans les couches plus profondes du sol et en augmenter le taux de saturation. La teneur en cendres d'aiguilles d'Epicéa est plus forte chez les individus poussant dans l'Aunaie verte que chez ceux établis dans des landes à Ericacées, ce qui peut être l'indice d'une meilleure alimentation minérale.

## D. — LES FACTEURS DE LA PÉDOGENÈSE DANS LES SOLS D'AUNAIES VERTES.

### 1) Les facteurs climatiques.

#### a) La température.

Les basses moyennes thermiques sous les Aunaies vertes facilitent la désagrégation physique de la roche, mais d'autre part freinent son altération chimique; elles ralentissent les processus biologiques de la minéralisation et de l'humification, ce qui favorise la formation de mor, humus climacique fréquent par ailleurs sous de nombreuses landes subalpines.

**b) Les précipitations.**

Les pluies estivales, souvent abondantes, sont à l'origine de phénomènes de lessivages obliques.

**2) La roche-mère.**

L'Aune vert s'établit, de préférence, sur des roches silico-alumineuses : granites, schistes, marnes, grès, qui engendrent des sols sans calcaire actif, bien que la teneur en Ca échangeable puisse être importante. Leur altération chimique généralement peu intense conduit à des sols souvent superficiels.

**3) Le relief.**

Les Aunaies vertes recherchent les déclivités ou les bases de pentes à exposition Nord.

Sur les reliefs accentués, l'érosion superficielle due aux eaux de ruissellement, au glissement des plaques de neige rajeunit le profil et donne naissance à des sols du type Ranker.

Aux parties inférieures de pentes, les phénomènes de lessivage oblique déposent de nombreux matériaux à l'origine de sols épais (colluviaux), les plus favorables à l'Aune.

Les Aunaies vertes s'implantent difficilement dans les positions extrêmes :

- les replats supérieurs, au sol lessivé, souvent squelettique, colonisés par des landes à *Vaccinium*;
- les cuvettes, où l'accumulation des colloïdes argileux conduit à des sols marécageux.

**4) L'orientation.**

Sur les faces Nord où s'implantent les Aunaies, l'humidité du sol est constante, ce qui peut activer la désagrégation physique et l'altération de la roche-mère et améliorer localement la granulométrie.

**5) La végétation.**

Les feuilles de l'Aune vert et des grandes herbes de la Mégaphorbiaie, peu lignifiées et relativement riches en azote, sont facilement attaquées par

## CARTE DE LA VÉGÉTATION DES ALPES

les microorganismes minéralisateurs et humificateurs. Les nodosités radicales enrichissent le sol en azote combiné. Ces facteurs biotiques permettent la formation, sous l'Aunaie verte, d'un mull.

### IV. — CONCLUSION

Le climax de l'étage subalpin est constitué par la Pessière subalpine ou par des landes à Ericacées sous lesquelles l'humus est un moder ou un mor. A l'intérieur de l'Aunaie verte, qui est une enclave azonale, les facteurs stationnels (humidité du sol, colluvionnement) et les facteurs biotiques (litière) conduisent à une évolution pédologique différente, aboutissant à la formation d'un humus semblable à celui des Hêtraies à Erable du Montagnard supérieur.

Grâce à son pouvoir colonisateur, à ses nodosités fixatrices d'azote, à sa litière, l'Aune joue le rôle d'essence pionnière sur les sols humides et bien aérés : moraines, flancs de ravins, cônes d'avalanches et enrichit ces sols. « L'Aune pourrait jouer, en sylviculture, le rôle des Légumineuses en Agriculture » (BOND).

### BIBLIOGRAPHIE SUR LES FACTEURS CLIMATIQUES

- BALSEINTE, R. (1955). — La pluviosité en Savoie. — *Rev. Géogr. Alpine*, **63**, 295-355.
- BÉNÉVENT, E. (1926). — Le climat des Alpes françaises. — *Mémorial O.N.M.*, Paris, Chiron.
- BOISVERT, J. J. (1955). — La neige dans les Alpes françaises. — *Rev. Géogr. Alpine*, **63**, 357-434.
- BOCHER TYGE, W. (1949). — Climate soil and lakes in continental west Greenland in relation to plant life. — *Meddeleser om Groenland*, **147**, 2, 14-20.
- BROCKMANN-JEROSCH, H. (1919). — Baumgrenze und Klimacharakter. — *Pflanzengeogr. Komm. d. Schweiz. Naturf. Ges.*, **6**, Zurich.
- CAPELLO, C. et LUCHINO, M. (1958). — Recherches sur la limite temporaire des neiges dans les Alpes occidentales italiennes. — Intern. Tagung f. Alpine Meteor. in Garmisch-Patenkirchen. *Ber. des Deutsch. Wetterdienstes*, **8**.
- CHODAT, F. (1927). — Mesures atmosphériques faites au jardin alpin de la Linnea. — *Bull. Soc. Bot. Genève*, **19**, 214-231.
- CURE, P. (1945). — Carte synthétique des climats de l'Europe. — *Doc. Cartes Production Vég.*, Toulouse, **3**, 1.

- FONTAINE, P. (1958). — Nouvelles données sur l'enneigement moyen d'hiver et de printemps dans les Alpes françaises. — Intern. Tagung f. Alpine Meteor. in Garmisch-Patenkirchen. *Ber. des Deutsch. Wetterdienstes*, n° 54, 8.
- FURLAN, D. (1957). — Die Ergebnisse der Messungen mit Totalisatoren in den Julischen Alpen. — Numéro spéc. *Météor. Alpine : La Météorologie*.
- GAUSSEN, H. (non daté). — *Carte de la pluviosité annuelle des Alpes, du Bassin du Rhône et de la Corse, au 1/500 000*. — Minist. Trav. Publ. Paris.
- LAMMERMAYR, L. (1939). — Zur Morphologie und Oekologie der Grünerle bei Graz. — *Mitt. des naturwiss. Vereines f. Steiermark, Graz*, 75, 67-83.
- OZENDA, P. (1950). — Caractères généraux des Alpes-maritimes. Relief, climat, sol, végétation. — *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 97, 10, 7-17.
- OZENDA, P. (1955). — La température, facteur de répartition de la végétation en montagne. Coll. sur les divisions écologiques du Monde. — *Année biolog.*, 31, 51-68.
- OZENDA, P. (1964). — *Biogéographie végétale*. — Paris, Doin, 380 p.
- OZENDA, P. (1966). — Perspectives nouvelles pour l'étude phytogéographique des Alpes du Sud. — *Doc. Carte Végét. Alpes*, IV, 198 p.
- PAVARI et PHILIPPIS, A. de (1937). — Classificazioni ed indici del clima in rapporto alla vegetazione forestale italiana. — *Nuov. Giorn. Bot. Ital., Firenze*, 64.
- PIZEK, A. (1964). — L'utilisation de l'eau par la végétation dans un climat tempéré. — Coll. sur les régions écologiques du Globe. *Année biolog.*
- POGGI, A. (1958). — Contribution à la connaissance de la distribution altimétrique de la durée de l'enneigement dans les Alpes françaises du Nord. — *Ber. des deutsch. Wetterdienstes*, n° 54, 8, p. 134.
- REY, P. (1960). — *Essai de Phytocinétique biogéographique*. — Toulouse, Thèse, 399 p.
- SCHUEPP, M. (1961). — Klimatologie der Schweiz, Lufttemperatur. — Extr. de « *Schweizerischen Meteorol. Zentralanstalt, Zurich* ».
- TURNER, H. (1961). — Die Niederschlag und Schweizerischen Schneeverhältnisse. — *Mitteil. der Forstl. Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn. Oekologische Untersuchung. in der subalp. Stufe zum Zwecke der Hochlagenaufforstung*, 1, 267-314.
- UTTINGER, H. (1965). — Klimatologie der Schweiz, Niederschlag. — Extr. de « *Schweizerischen Meteorol. Zentralanstalt, Zurich* ».
- 1951-1952. — Die Lufttemperatur Oesterreich im Zeitraum. Die Niederschlagsverhältnisse in Oesterreich im Zeitraum. — *Beit. z. Hydrographie Oesterreichs*, Wien.
1960. — *Carte des Isohyètes. Période 1936-1960*. — E.D.F., Production hydraulique, Lyon.

**Bibliographie sur les Facteurs édaphiques au verso.**

**BIBLIOGRAPHIE SUR LES FACTEURS ÉDAPHIQUES**

- BARTOLI, Ch. (1962). — Premières notes sur les associations forestières du Massif de la Grande Chartreuse. — *Ann. Ec. Nat. E. et F.*, **XIX**, 329-373.
- BARTOLI, Ch. (1966). — Etudes écologiques sur les associations forestières de la Haute-Maurienne. — *Ann. Ec. Nat. E. et F.*, 388 p.
- DUCHAUFOUR, Ph. (1952). — Les espèces forestières calcicoles et calcifuges. — *Rev. Forest. Fr. Nancy*, 301-305.
- DUCHAUFOUR, Ph. (1952). — Recherches sur l'écologie du Mélèze. — *Ann. Ec. Nat. E. et F.*, **XIII**, 134-203.
- DUCHAUFOUR, Ph. et TURPIN, P. (1960). — Essais de fertilisation sur humus brut, contrôlée par l'analyse foliaire. — *Ann. Ec. Nat. E. et F.*, **XVII**, 209-233.
- DUCHAUFOUR, Ph. (1965). — *Précis de Pédologie*. — Paris, Masson, 481 p.
- FAVARGER, G. (1956). — *Flore et végétation des Alpes*. — Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, T. 2, 127 p.
- GRAS, R. et MONNIER, G. (1963). — Contribution de certains éléments grossiers à l'alimentation en eau du sol. — *Sc. du Sol, Versailles*, **1**, 13-20.
- LUDI, W. (1945). — Besiedlung und Vegetationsentwicklung auf den jungen Seitenmoränen des grossen Aletschgleschers. — *Ber. ub. das geobot. Forschungsinst. Rübel, Zurich*.
- MORET, L. (1928). — *Carte géologique de la Savoie et des régions limitrophes*. — Grenoble.
- NEUWINGER, I. (1961). — Böden in den Tiroler Zentralalpen. Oekologische Untersuchungen in der subalpiner Stufe zum Zwecke der Hochlagenaufforstung. — *Mitteil. d. Forstl. Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn*, **59**, 373-409.
- PAWLOWSKI, B. et WALAS, J. (1949). — Les associations des plantes vasculaires des Monts de Czywczyń. — *Bull. Acad. Polonaise Sc. et Lettres, Cracovie*, 117-180.