
Le Sapin pectiné en région Provence Alpes Côte d'Azur : Autécologie - Stations forestières

Daniel NOUALS

Mai 1999

Dactylographie : M-C Frassanito

Direction Régionale Provence Alpes Côte d'Azur
Cellule Régionale d'Appui Technique
Z.I. St Joseph - Actiplus
04100 MANOSQUE

Remerciements

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont aidé à concevoir et à réaliser ce travail, et plus particulièrement à :

M. le Professeur Jean-Claude RAMEAU, enseignant à l'ENGREF, pour ses conseils dans la mise en place de l'étude et son aide sur le terrain,

M. Bernard JABIOL, enseignant à l'ENGREF, pour ses apports dans le protocole de prise de données pédologiques,

M. Jacques REGAD, du département Santé des Forêts, pour la conception du protocole de notation des houppiers,

M. Pierre DUPLAT, Directeur d'Etudes Techniques à l'ONF, pour ses conseils dans l'exploitation des données dendrométriques,

M. Thierry BIOTEAU, volontaire du Service National, qui a réalisé la majorité des mesures dendrométriques,

MM. Ludovic ROCCHIA et Stephan COGNY, étudiants en BTS Gestion Forestière, pour les compléments d'information apportés à l'étude grâce à leur travail sur le terrain,

M. Jean LADIER, responsable de la CRAT, pour son aide constante dans la mise au point de la méthode et le traitement des données.

Avertissement

Ce document rend compte de l'ensemble de l'étude écologique réalisée sur les sapinières de la région Provence - Alpes - Côte d'Azur. Il comprend les considérations méthodologiques et les résultats statistiques sur lesquels sont fondés les résultats pratiques obtenus.

Par contre, **il ne s'agit pas d'un document destiné à être opérationnel sur le terrain.**

Cette fonction sera remplie par quatre documents supplémentaires à paraître en 1999. Ces fascicules seront des catalogues de stations proprement dits où ne figureront que des résultats pratiques et directement utilisables.

On peut considérer que le présent rapport constitue la base scientifique de ces futurs documents techniques.

Sommaire

REMERCIEMENTS	3
AVERTISSEMENT	5
PROBLEMATIQUE - METHODE - ECHANTILLON	9
PRESENTATION DE L'ETUDE	10
PROBLEMATIQUE	10
Les contraintes liées à l'objectif	10
Les contraintes liées à la zone d'étude : immensité et diversité	11
CHRONOLOGIE DE L'ETUDE	12
LES RELEVES DE TERRAIN	12
Choix des placettes de relevés	12
Le protocole de relevés	12
LES DONNEES RECUEILLIES - CARACTERISTIQUES ECOLOGIQUES DES SAPINIÈRES DE LA REGION PACA :	13
Répartition des relevés dans la zone d'étude	13
Répartition des relevés selon l'altitude	13
Répartition des relevés selon l'exposition	15
Répartition des relevés selon la roche	15
Autres éléments remarquables	16
ETUDE DU TAPIS VEGETAL SOUS SAPINIÈRE	17
RAPIDE ETAT DES CONNAISSANCES DANS LA REGION PACA	18
Phytosociologie	18
les sapinières des montagnes subméditerranéennes :	18
les sapinières de type médio-européen :	18
Phytoécologie	19
Forêts acidiphiles et acidiclinales	19
Forêts neutrophiles à calcaricoles	19
ANALYSE DES RELEVES PHYTOECOLOGIQUES	20
Méthode utilisée	20
Les variables permettant d'estimer le climat	20
Résultats de l'AFC sur les relevés floristiques	21
Discussion	22
Etablissement des limites entre grandes régions bioclimatiques	24
Alpes internes	24
Alpes intermédiaires humides	24
Sud Dauphiné et Alpes ligures	24
Préalpes sèches	24
LES GROUPES FLORISTIQUES SOCIO-ECOLOGIQUES	26

LA CROISSANCE EN HAUTEUR

41

1 - L'INDICE DE FERTILITE, ET LES PROBLEMES QUI LUI SONT LIES

41

Principe et problèmes

41

Détermination de l'indice de fertilité

41

Les âges des arbres sondés

42

Les indices de fertilité

42

Le problème de la non indépendance entre âge et indice de fertilité

43

2 - LES RELATIONS MILIEU - CROISSANCE EN HAUTEUR

44

Etude analytique : les analyses de variance

44

Facteurs climatiques « calculés »

44

Facteurs relevés sur le terrain

46

Discussion

47

L'ETAT SANITAIRE

48

1 - LA NOTATION DE L'ETAT SANITAIRE

48

Méthode de notation et nature de la note d'état des houppiers

48

Le biais introduit par l'âge

48

Correction de la note moyenne d'état des houppiers

49

Comparaison des analyses sur la note de houppier brute et sur la note corrigée

49

2 - LES RELATIONS MILIEU - SANTE DES ARBRES

50

Variables climatiques calculées

50

Variables relevées sur le terrain

51

Discussion

53

ESSAI DE SYNTHESE AUTECOLOGIQUE

54

La répartition des sapinières

54

La croissance en hauteur du sapin

54

L'état sanitaire des sapins

54

Discussion

55

LA PRESENCE DE GUI DU SAPIN

56

1 - Notation et importance

56

2 - Relations milieu - présence du gui

56

Importance de la situation géographique

57

Importance de l'altitude

59

Autres facteurs

59

Discussion

60

TYPOLOGIE DES STATIONS - POSSIBILITES D'EXTENSION DU SAPIN

61

ETABLISSEMENT DU CATALOGUE DES STATIONS

63

1 - PARTITION DE LA ZONE D'ETUDE

63

2 - METHODE DE STRUCTURATION

63

3 - LIAISONS STATIONS - PRODUCTION ET STATIONS - ETAT SANITAIRE

65

POSSIBILITE D'EXTENSION DU SAPIN

69

0 - Absence de référence en conditions climatiques défavorables

70

1 - Mauvais état sanitaire - production faible à moyenne

70

2 - Risque de mauvais état sanitaire - production élevée

70

3 - Etat sanitaire moyen - production faible

70

4 - Bon état sanitaire - production moyenne à forte

70

BIBLIOGRAPHIE

72

ANNEXE : PROTOCOLE DE TERRAIN ET CODAGE DE LA FICHE DE RELEVÉ

74

Première Partie

Problématique Méthode Echantillon

Présentation de l'étude

Le Sapin pectiné, essence indigène dans la région PACA, y occupe une surface relativement réduite (de l'ordre de 20 000 ha pour l'ensemble de la région). Les peuplements sont pour la plupart situés dans les trois départements alpins : Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Alpes- Maritimes.

Si la surface occupée par cette essence est faible, son importance forestière est grande : la sapinière est une des rares formations végétales régionales à assurer une production de bois d'oeuvre de bonne qualité.

En même temps, « formation à maturation biologique élevée et par ailleurs, image de la « vraie forêt » dans la région, elle présente un double intérêt patrimonial et d'accueil du public » (ONF 1995). C'est pourquoi l'ONF a réalisé pour cette essence, un guide de sylviculture pour la région PACA, au même titre que pour d'autres essences beaucoup mieux représentées spatialement. Mais il manquait encore un outil permettant d'identifier les types de milieu que l'on peut rencontrer sous sapinière, qui permettrait d'adapter la sylviculture à la station.

Par ailleurs, si la faible extension territoriale du sapin provient en partie du fait que de grandes étendues du territoire de la région ne lui sont pas favorables pour des raisons climatiques, on sait aussi que des siècles d'action anthropique l'ont fait régresser. C'est pourquoi il n'occupe plus que des îlots relictuels, surtout dans les Alpes méridionales externes. Il a été clairement démontré (Rameau 1992), que son extension potentielle est beaucoup plus vaste. Et en effet, avec le recul des activités humaines, on constate un retour du sapin dans de nombreux peuplements où il était auparavant absent (pinèdes sylvestres, mélèzeins, hêtraies).

Mais si l'on sait que le Sapin a d'excellentes facultés de régénération et de colonisation, le gestionnaire s'interroge souvent sur l'avenir de ces semis lorsqu'ils s'implantent dans des zones climatiquement limites (hautes ou basses altitudes). C'est pourquoi il est essentiel de connaître les situations dans lesquelles le Sapin végète correctement, et celles où, au contraire, les croissances sont faibles ou l'état sanitaire mauvais.

L'objectif de la présente étude est donc double :

- connaître les types de milieux forestiers présents sous sapinière
- connaître l'extension potentielle du Sapin pectiné dans la région

L'étude des conditions écologiques des sapinières de la région PACA doit permettre de répondre aux deux questions suivantes :

1. DECRIRE :

Quelle est la variabilité des milieux et de leurs potentialités dans les sapinières de la région PACA ?

2. PREVOIR :

Quel est l'avenir d'une régénération naturelle de Sapin pectiné sous un peuplement constitué d'une autre essence ?

Problématique

Les contraintes rencontrées sont de deux ordres :

- les unes liées à l'objectif poursuivi
- les autres résultant de l'existant sur le terrain

Les contraintes liées à l'objectif

L'objectif principal est d'estimer les possibilités d'extension du Sapin pectiné. Cela implique donc de connaître l'autécologie de cette essence, afin de prévoir son comportement sur un terrain donné.

La méthode maintenant bien éprouvée pour étudier l'écologie d'une espèce (BOISSEAU, 1996), est d'utiliser celle-ci comme indicateur biologique et d'essayer d'identifier à quelles variations des descripteurs du milieu naturel elle réagit le plus.

Or la sapinière est une formation végétale qui est considérée comme le stade ultime de maturation d'une ou plusieurs successions dynamiques. Cela signifie que la végétation présente sur un type de station donné sera vraisemblablement très différente dans une sapinière et dans un peuplement représentant une phase dynamique moins évoluée.

La conséquence pratique de ce phénomène est que le compartiment stationnel, même s'il est décrit par une végétation homogène sous sapinière, devra pouvoir être relié aussi précisément que possible à des facteurs abiotiques quantifiables.

Ainsi, la station décrite sous sapinière pourra être identifiée dans un autre type de peuplement.

Nous avons donc dû nous attacher, tout au long de l'étude, à rechercher les facteurs abiotiques explicatifs des bioindicateurs que sont le tapis végétal et la croissance du sapin.

Les contraintes liées à la zone d'étude : immensité et diversité

Nous avons vu que la surface des sapinières était relativement réduite. Par contre, la surface potentielle concernée est beaucoup plus importante.

Par ailleurs, les forêts concernées sont disséminées en une multitude de petits massifs, parfois de quelques hectares, répartis sur l'ensemble de la zone montagnarde de la région. Seules quelques forêts de l'est des Alpes-maritimes constituent des tènements d'une certaine importance.

La région étudiée ne présente donc guère d'unité tant climatique que géologique : les substrats y sont très divers, et affleurent dans des conditions géomorphologiques très complexes, dans ce contexte de plissements, fracturations et chevauchements typiques de l'arc alpin. Par ailleurs les variations climatiques y sont fortes et s'expriment d'une part à l'échelle régionale, par des régimes pluviométriques liés à la situation des reliefs par rapport aux masses d'air, et d'autre part à l'échelle locale, par la variation rapide des altitudes et des expositions.

Par voie de conséquence, les cortèges floristiques sont très disparates, et la zone d'étude recouvre des régions biogéographiques très diverses : Alpes internes, externes et intermédiaires (OZENDA 1966, 1981), plus un secteur pré-ligure à l'Est du Var (Barbero 1982).

L'étendue de la zone d'étude, ainsi que les conditions propres au milieu montagnard, induisent une très grande hétérogénéité des conditions écologiques :

diversité climatique due aux variations régionales (régions biogéographiques) autant qu'aux variations locales (étages bioclimatiques)

diversité géomorphologique liée à la complexité du milieu alpin. Elle est telle qu'une structuration classique (par échelles successives emboîtées) est inadaptée si l'on considère la faible surface et l'éparpillement des massifs étudiés.

Nous avons vu que le principe de l'étude était d'étudier les diverses conditions de milieu existant sous la sapinière. La réponse de certains indicateurs biologiques aux caractères physiques du milieu nous fournit les éléments structurants à retenir pour une typologie. Les indicateurs biologiques utilisés sont :

- la composition du tapis végétal
- la croissance en hauteur du sapin
- l'état sanitaire du sapin

Si l'utilisation des deux premiers indicateurs est classique, celle du troisième avait un caractère beaucoup plus exploratoire quant à la méthodologie. Nous avons toutefois retenu ce critère car l'état sanitaire critique de certains peuplements nous a semblé pouvoir être expliqué par les conditions de milieu. Nous développerons plus loin la démarche adoptée.

Chronologie de l'étude

L'étude a duré 3 ans, et s'est déroulée en plusieurs phases distinctes :

- La préétude (hiver 1996) nous a permis de localiser ces massifs et de préparer le plan d'échantillonnage
- La première campagne de terrain (été 1996) et l'analyse des données qui suivit (automne-hiver 96-97) a débouché sur une première approche de :
 - la connaissance de l'autécologie du sapin
 - l'identification des grands éléments structurants du milieu, et la formulation d'un certain nombre d'hypothèses
 - l'identification des points sur lesquels une information supplémentaire était nécessaire.
- La deuxième campagne de terrain (été 1997) a permis :
 - de tester les résultats autécologiques
 - d'étoffer l'échantillon pour vérifier les hypothèses et compléter l'information.
- Le traitement de l'ensemble des données (automne-hiver 97-98) a débouché sur l'établissement :
 - d'une structuration en types de station
 - de clefs de détermination de ces types sur le terrain
 - de liaisons stations-production et stations- état sanitaire.
 - de clef de prédiction du comportement du Sapin en dehors des espaces qu'il occupe actuellement.
- Une phase de vérification de ces résultats a eu lieu au cours de l'été 1998. Elle a permis de vérifier la pertinence des types de stations et d'améliorer la clef de détermination.

Les relevés de terrain

Choix des placettes de relevés

Compte tenu de la dispersion des sapinières en une multiplicité de petits massifs, nous avons cherché à couvrir au maximum la diversité géographique. Le nombre de relevés par massif est donc souvent faible.

Dans chaque massif, il s'agissait de réaliser des observations en faisant varier les conditions écologiques (altitude, exposition, substrat, topographie). Mais ce choix devait être subordonné à la satisfaction d'un certain nombre de critères dendrométriques, afin de se rapprocher le plus possible des conditions de la loi de EICHHORN. Les conditions que nous nous étions imposées dans le protocole étaient les suivantes :

- peuplements fermés (au moins 50 % de couvert)
- parquets d'aspect régulier
- au moins 50 % de sapins dans l'étage dominant
- âge compris de préférence entre 60 et 140 ans.

Cette dernière condition, difficilement vérifiable avant sondage, n'a pas souvent été satisfaite. Nous verrons plus loin les problèmes qui en ont résulté.

Le protocole de relevés

On trouvera en annexe la fiche de relevé et le détail du protocole tel qu'il a été appliqué.

En résumé, les descripteurs relevés peuvent être regroupés en quatre catégories :

- **Localisation** de la station dans son environnement (altitude, pente, exposition, position topographique, géomorphologie du versant)
- **Substrat** : (roche, matériau, humus, sol)
- **Peuplement** :
 - mesure des diamètres, âge et hauteur dans l'étage dominant
 - notation de l'aspect des houppiers
 - notation du parasitisme par le gui
- **Flore** (relevé exhaustif en abondance - dominance)

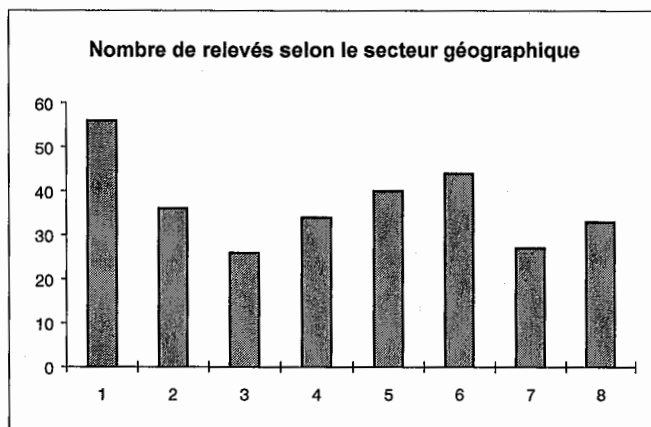
Les données recueillies - Caractéristiques écologiques des sapinières de la région PACA :

Répartition des relevés dans la zone d'étude

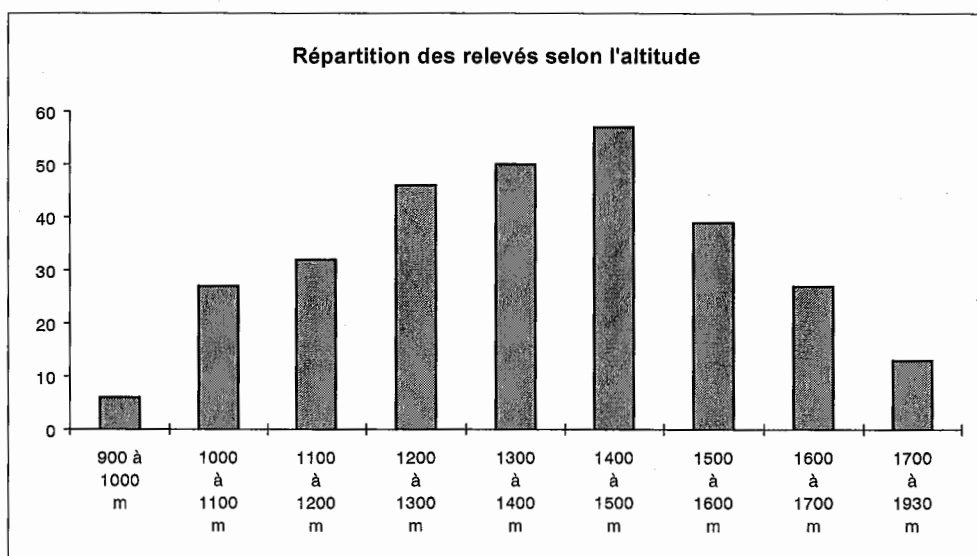
Au total, 297 relevés ont été réalisés, répartis comme suit au sein des départements et des secteurs géographiques.

Département	Effectif
Alpes de Haute-Provence	81
Hautes-Alpes	95
Alpes Maritimes	118
Var	1
Vaucluse	2

Secteur géographique	Effectif
1 - Roya, Vésubie	56
2 - Tinée	36
3 - Haut Esteron, vallée du Var	26
4 - Préalpes marno-calcaires	34
5 - Haut Verdon, bassin de Seyne	40
6 - Ubaye, Briançonnais, Queyras	44
7 - Embrunais, Bochaine	27
8 - Devoluy, Champsaur, Ecrins ouest	33

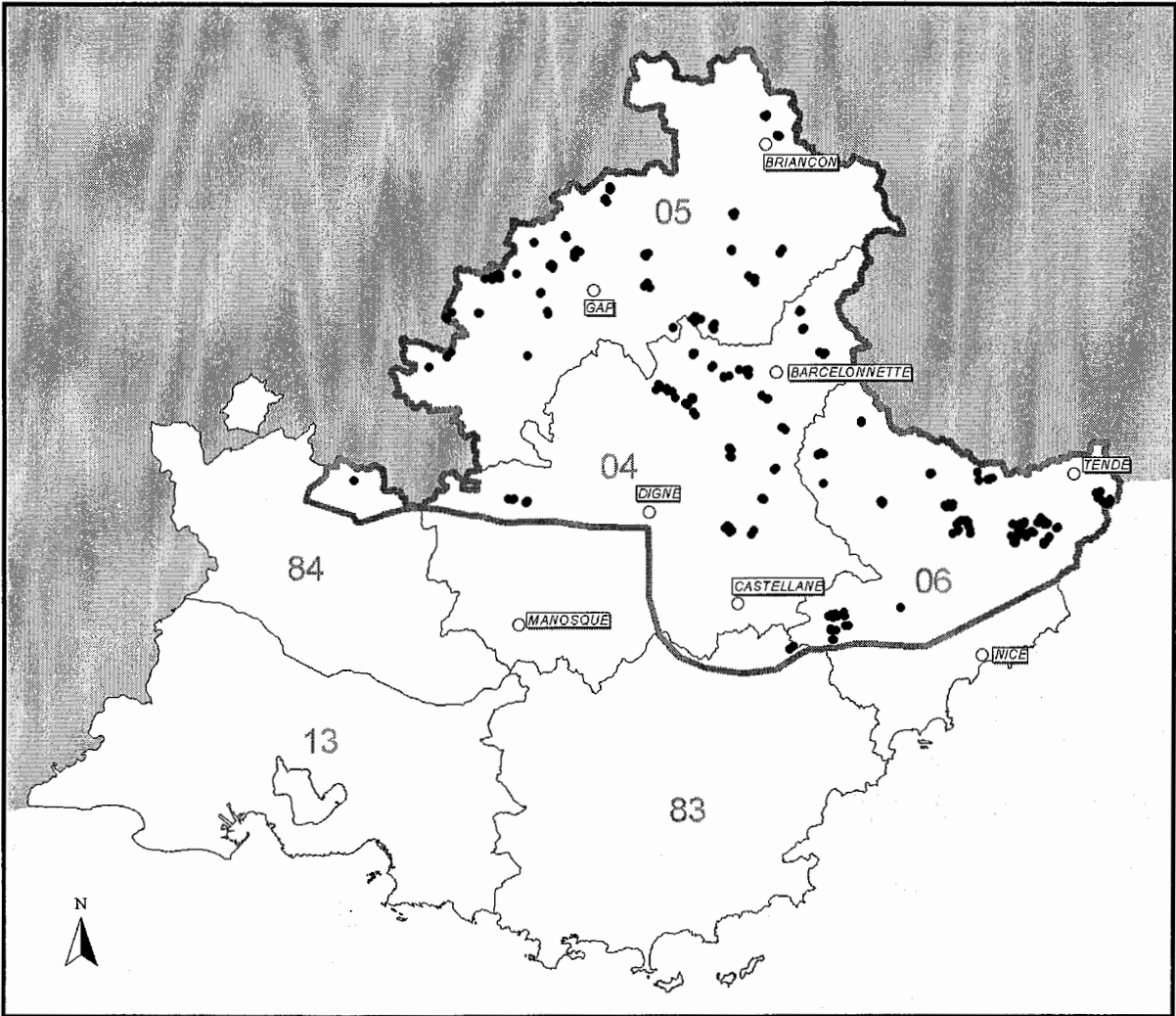


Répartition des relevés selon l'altitude

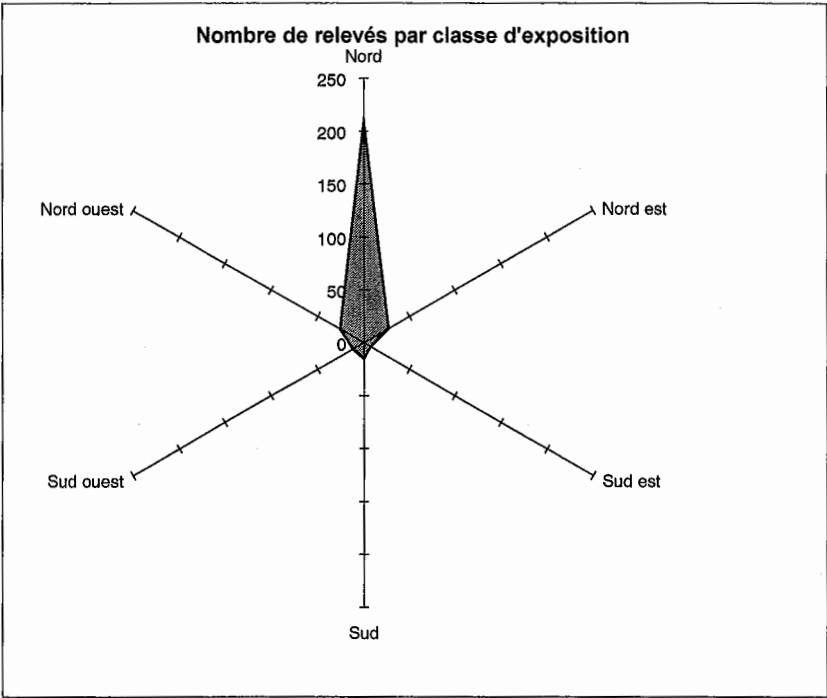


Les sapinières sont rares au-dessous de 1000 m et au-dessus de 1800 m. La moitié de l'échantillon est située dans une bande de 300 m de dénivelée, entre 1300 et 1600 m.

Situation de la zone d'étude et des relevés en sapinière
dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur



Répartition des relevés selon l'exposition



Près de 9/10e des sapinières sont situées en exposition de secteur Nord. 70 % de l'échantillon se situe entre 330 et 30°, c'est-à-dire plein Nord.

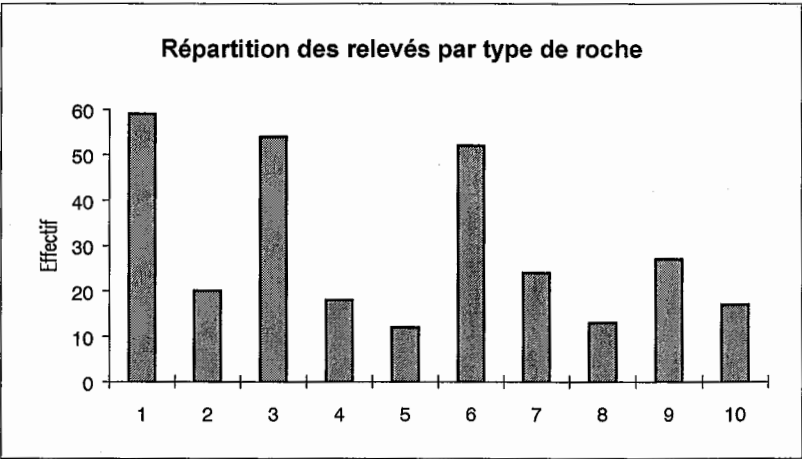
Seulement 11% des relevés se trouvent en adret. La proportion réelle est encore plus faible, puisque nous avons systématiquement recherché les expositions chaudes.

Répartition des relevés selon la roche

Les 3/4 des relevés se trouvent sur substrat calcaire, les roches siliceuses ne représentent qu'un quart de l'échantillon. Cette répartition correspond globalement à la réalité de la zone d'étude.

Roche ou matériau	
1 - Calcaire dur	
2 - calcaire siliceux	
3 - Calcaire marneux	
4 - Marnes	
5 - calcschistes	
6 - Colluvions calcaires	
7 - schistes	
8 - moraines	
9 - Grès siliceux	
10 - Roches cristallines	

effectif
59
20
54
18
12
52
24
13
27
17



Autres éléments remarquables

Pente :

Les sapinières de la région sont généralement situées sur de fortes pentes : 3/4 de l'échantillon présente des pentes supérieures à 40 %, et 20 % des relevés ont été faits sur des pentes excédant 70 %.

Humus :

La quasi totalité des humus observés sont des mulls (les horizons A sont bio macrostructurés), même si les litières sont souvent épaisses (horizons O de type moder fréquents).

Carbonatation / acidité :

Les pH mesurés sur le terrain révèlent des horizons A proches de la neutralité; Seulement 15 % des sols sont carbonatés dès la surface, et, à l'inverse, il n'y a que 12 % des horizons A qui montrent un pH inférieur à 5,5.

Position topographique :

Il est remarquablement peu fréquent de rencontrer des sapins croissant en fond de vallon. Dans cette position topographique, la sapinière s'interrompt pour laisser la place à des feuillus divers. Cette situation rassemble pourtant les meilleures conditions stationnelles, tant hydriques que trophiques.

Les sapinières de la région PACA sont cantonnées presque exclusivement en exposition Nord, entre 1000 et 1800 m d'altitude. La tranche altitudinale la plus fréquente se situe entre 1300 et 1600 m. On les trouve essentiellement sur roche calcaire.

Les peuplements sont situés sur des pentes généralement fortes.

La sapinière constitue un stade de maturation dynamique élevé. Cela se retrouve au niveau des sols puisque ceux-ci présentent des caractères d'évolution plus importants que ce qui est généralement observé dans la région.

Deuxième partie

Etude du tapis végétal sous sapinière

Rapide état des connaissances dans la région PACA

Phytosociologie

Plusieurs études concernent les sapinières des Alpes du sud. La classification phytosociologique étant souvent variable d'un auteur à l'autre, nous nous contenterons de dégager les grandes lignes des connaissances disponibles dans la bibliographie. Nous reproduisons à peu près ici l'excellent résumé réalisé par F. SAGNARD (1997) à ce sujet.

Quatre grands types de végétation sous sapinières ont été décrits de façon constante dans les Alpes du Sud, chacun de ces types correspondant à des conditions écologiques grossièrement identifiées.

♦ les sapinières des montagnes subméditerranéennes :

Il s'agit des groupements à sapin les plus thermophiles, comprenant les « sapinières à Buis » des Préalpes de la Provence et de la Côte d'Azur. Elles occupent les ubacs en-dessous 1200 m (BARBERO et QUEZEL, 1975).

Du point de vue phytosociologique, ces sapinières sont caractérisées par un grand nombre d'espèces transgressives des *Quercetalia pubescentis*, des pinales mésophiles de pin sylvestre et par des espèces mésoxérophiles du *Cephalanthero-Fagion*. Par contre, les caractéristiques du *Fagion* sont peu abondantes et n'ont généralement qu'un faible recouvrement (BARBERO et QUEZEL, 1975).

Du fait de leur situation écologique particulière, à la charnière de plusieurs séries de végétation, ces sapinières ont fait l'objet de nombreuses discussions. OZENDA (1981) les définit pour partie comme un faciès à sapin de la série mésophile du Hêtre et, dans les régions où *Fagus* manque, comme une sous-série à sapin de la série mésophile du Pin sylvestre. BARBERO et QUEZEL (1975) traduisent l'originalité floristique, biogéographique et syngénétique de ces sapinières par la création d'une nouvelle alliance, le *Buxo-Abieto-Fagion* qui s'intégrerait aux *Quercetalia pubescentis* et formerait alors la **série subméditerranéenne du Hêtre et du Sapin**.

♦ les sapinières de type médio-européen :

Le sapin en région PACA participe à trois séries de végétation qui s'intègrent pleinement dans le contexte médio-européen (BARBERO et QUEZEL, 1975). Ces sapinières possèdent en effet de grandes affinités avec plusieurs groupements décrits dans d'autres régions de l'arc alpin.

Série de la Hêtraie-Sapinière :

Cette série correspond au vaste complexe hygrophile à Hêtre et Sapin, bien connu dans les Alpes humides (Préalpes du Nord et Jura notamment). Le Dévoluy et le Champsaur sont entourés d'une ceinture de hêtraies-sapinières qui assurent la transition avec celles des Préalpes dauphinoises du Vercors et du Trièves (OZENDA, 1981). Ces groupements se caractérisent par la forte représentation des espèces du *Fagion* (*Asperula odorata*, les Dentaires, *Geranium nodosum*, *Epilobium montanum*...) et se rapportent au *Galio odorati-Fagenion*.

Au sud de Gap, les hêtraies-sapinières changent quelque peu de composition : rareté des Dentaires et de *Asperula odorata*, apparition d'un contingent d'espèces méridionales (*Trochiscanthes nodiflorus*, *Calamintha grandiflora*, *Salvia glutinosa*) (OZENDA, 1981). Elles forment une nouvelle association phytosociologique : le *Trochisceto-Abietetum* qui recouvre de grandes surfaces dans l'Embrunais (PIGEON, 1983), dans le nord du département des Alpes-de-Haute-Provence, et qui trouve sa limite méridionale sur les versants nord du Ventoux et de la Montagne de Lure (BARBERO et al. 1978).

Dans les Alpes-Maritimes, en-dessous de 1400 m d'altitude, BARBERO et BONO (1970) décrivent une variante ligure de la Hêtraie-sapinière de type méridional : l'*Abieti-Fagetum* à *Trochiscanthes nodiflorus*. Cette association se caractérise par une faible représentation des espèces du *Fagion* et par l'existence de différentielles régionales (*Cirsium erisithales*, *Aspidium aculeatum*...). Sur substrat siliceux, RAMEAU (1998) rassemble les sapinières de l'est du département dans le *Luzulo pedemontanae-Fagenion*.

Série interne du Sapin (OZENDA, 1981) ou Série de la Pessière-Sapinière (BARBERO et QUEZEL, 1975) :

Elle correspond aux sapinières des Alpes intermédiaires (selon l'acception d'OZENDA 1981), c'est à dire, à la zone où le Hêtre a déjà disparu mais où le Sapin pénètre encore. Elle se situe généralement au-dessus de 1400 m d'altitude dans les Alpes-Maritimes (dans les Alpes ligures et piémontaises, elle apparaît dès 1200 m, parfois 1000 m) (BARBERO et BONO, 1970), et prospère dans les vallées les plus internes du Mercantour.

Floristiquement, elles se distinguent par la présence notable d'espèces acidiphiles des forêts de conifères alpines (*Vaccinium myrtillus*, *Melampyrum sylvaticum*...) par la fréquence des espèces caractéristiques des *Betulo-Adenostyletea*, les espèces du *Fagion* restant abondantes (excepté dans les Alpes internes). Ces pessières-sapinières du Mercantour ont été regroupées par BARBERO et BONO (1970) dans l'*Abietetum sud-occidentale*, qui se rapporte à l'ordre des *Vaccinio-Picetalia*.

Série subalpine du Sapin :

Cette série comprend les sapinières à rhododendron, occupant les zones d'altitude à climat trop continental pour favoriser le développement de l'épicéa (BARBERO et QUEZEL, 1975). Dans les Alpes françaises, elle n'est que faiblement représentée dans le Briançonnais (CADEL et GILOT, 1963), à la base de l'étage subalpin.

Elles se distinguent de la pessière-sapinière par la présence d'un groupe d'espèces alticoles : le Rhododendron, *Festuca flavescens*, *Homogyne alpina*, *Luzula silvatica* ssp. *sieberi*... qui caractérisent le *Rhodoreto-Vaccinion*.

Phytoécologie

RAMEAU (1992) a réalisé une synthèse de diverses recherches portant sur les écosystèmes forestiers dans les Alpes du sud.

Il en a tiré une structuration en unités stationnelles établies sur des bases floristiques. Chaque unité stationnelle est définie par un assemblage particulier de groupes d'espèces indicatrices des caractères écologiques du milieu.

Ces unités stationnelles sont situées dans un plan reflétant les deux gradients principaux gouvernant les compositions floristiques :

- les niveaux trophiques et d'acidité
- les conditions de bilan hydrique, ce facteur étant considéré comme fondamental pour la fertilité forestière.

Les sapinières et hêtraies-sapinières sont réparties comme suit :

♦ Forêts acidiphiles et acidiclinales

- Pessière sapinière acidiphile hygrosiaphile
- Pessière sapinière acidiclinal hygrosiaphile
- Hêtraie sapinière acidiclinal hygrosiaphile

♦ Forêts neutrophiles à calcaricoles

- Hêtraies sapinières xéroclinales
- Hêtraies sapinières mésophiles
- Hêtraies sapinières hygrosiaphiles
- Hêtraies sapinières très hygrosiaphiles

Soit 7 grandes unités stationnelles définies par un cortège floristique et liées à certaines conditions écologiques.

L'apport de ce travail est constitué notamment par une bonne appréciation de la valeur indicatrice des espèces forestières dans les Alpes du sud. Il permet aussi d'identifier les facteurs écologiques importants dans la structuration du tapis végétal. Cependant les unités stationnelles définies ne peuvent pas encore être considérées comme des types de station au sens « opérationnel » pour le forestier. En effet, définie ainsi, une même unité peut recouvrir des niveaux de fertilité très différents selon les conditions physiques du milieu.

Ceci peut être illustré par un exemple simple :

<i>Sapinière en Altitude élevée</i>	<i>Sapinière en Altitude moyenne</i>
ETP faible Précipitations élevées	ETP et Précipitations moyennes
Conditions topo-édaphiques moyennes (substrat peu épais)	Conditions topo-édaphiques favorables (substrat épais)
Abondance des espèces hygrosiaphiles	
↓	
Une seule unité stationnelle : Sapinières hygrosiaphiles	
Fertilité très faible du fait d'un bilan énergétique défavorable (froid)	Fertilité élevée en l'absence de facteur limitant

Il reste donc à mieux séparer et quantifier l'influence des différents facteurs écologiques sur la végétation, pour aboutir à des types de stations définis plus précisément par les facteurs physiques du milieu.

Analyse des relevés phytoécologiques

Contrairement à la plupart des sylvofaciès rencontrés dans les Alpes du sud, le tapis végétal sous sapinière constitue un stade d'évolution dynamique avancé. On peut donc considérer qu'il reflète correctement les facteurs du milieu, sans trop de parasitage par les perturbations d'origine anthropique.

Toutefois, la structure du peuplement influe encore beaucoup sur l'expression des caractères du milieu par la flore (VARESE, 1989) : le meilleur développement floristique est atteint dans les structures irrégulières et jardinées de la sapinière, mais les coupes fortes (régénérations) induisent un cortège d'héliophiles voire même de xérophiles venant perturber l'analyse. A l'inverse, les sylvofaciès réguliers équiens, à couvert sombre (peuplements jeunes issus de colonisation récente) sont floristiquement appauvris, sauf en espèces sciaphiles de litières, peu indicatrices.

Donc, même dans un stade de haute évolution dynamique comme la sapinière, la valeur indicatrice du tapis végétal n'est pas constante.

Méthode utilisée

Très classiquement, nous avons utilisé l'analyse factorielle des correspondances (AFC) pour définir des groupes floristiques.

Le tableau analysé était composé de :

- 296 relevés (observations actives)
- 238 espèces (variables actives) rencontrées au moins 5 fois
- 47 descripteurs écologiques, éclatés, selon leurs modalités en 232 variables supplémentaires.

Outre l'intérêt de ce type d'analyse pour classer les espèces dans des groupes socio-écologiques, l'examen des corrélations entre espèces et descripteurs écologiques permet de comprendre quels sont les principaux facteurs qui influent sur les compositions floristiques.

Il est notamment apparu clairement lors de la première analyse réalisée en 1997, que les facteurs climatiques avaient de très loin un rôle prépondérant pour expliquer le tapis végétal.

Nous avons donc voulu inclure dans notre analyse toutes les informations relatives au climat dont nous pouvions disposer.

Les variables permettant d'estimer le climat

Il est difficile, pour un point quelconque, de connaître exactement les valeurs des différentes composantes du climat. Précipitations, températures, rayonnement ne peuvent être qu'estimés, soit par des descripteurs relevés sur le terrain (altitude, exposition), soit par des données effectivement mesurées, mais en des points plus ou moins éloignés de conditions du point de relevé (postes météorologiques).

♦ Le rayonnement

Peut être estimé par l'exposition, la pente et le relief environnant (BECKER, 1984). Cette donnée varie très peu dans notre échantillon, puisque les sapinières sont presque toutes en versant de secteur Nord.

♦ La température

En l'absence de variation significative de l'exposition, c'est l'altitude qui permet d'estimer, en valeur relative, la température.

♦ Les précipitations

Celles-ci varient également avec l'altitude. Mais la localisation géographique du relevé est également importante.

Si l'altitude constitue un bon descripteur de la température, elle est insuffisante pour rendre compte des variations de précipitations. Par ailleurs, les postes météo existant sont bien trop souvent éloignés des massifs pour nous permettre d'estimer les précipitations de façon satisfaisante. Enfin, si les études climatiques régionales existantes (RIPERT et AL, 1988) constituent une bonne approche synthétique, leur précision n'est pas suffisante à notre échelle de travail.

Pour améliorer notre estimation des précipitations en chaque point de relevé, nous avons utilisé l'outil Système d'Information Géographique (SIG) pour croiser deux couches d'informations :

- ① Une grille des précipitations mensuelles sur l'ensemble de la zone étudiée. Cette carte est élaborée par METEO-FRANCE selon un modèle qui fait intervenir le réseau des postes météo, l'altitude et la forme du relief (modèle AUREILHY). La précision du PIXEL est de 25 km².
- ② Le modèle numérique de terrain (MNT) de l'IGN, à la précision du 1/50 000e.

Le croisement MNT x précipitation permet d'obtenir l'altitude moyenne du PIXEL, d'en déduire l'angle de continentalité de GAMS ($G = \arccotg(\text{pluie} / \text{altitude})$), puis de donner une valeur de pluviométrie au relevé situé à une altitude donnée.

Ainsi, nous avons pu disposer pour chaque relevé, par calcul sur SIG :

- de 12 pluviométries moyennes mensuelles
- de 12 « angles de GAMS » mensuels

Concernant cette dernière valeur, plusieurs publications émanant notamment du laboratoire des écosystèmes alpins, dirigé par Richard MICHALET, à Grenoble, ont mis en évidence que la valeur de l'angle de GAMS était très explicative de la chorologie de nombreuses espèces.

Dans l'AFC, les variables permettant d'estimer le climat étaient :

- l'indice de rayonnement lumineux
- l'exposition du versant et de la station
- l'altitude
- les valeurs saisonnières (printemps - été - automne - hiver) et annuelles des précipitations et de l'angle de GAMS
- la valeur des précipitations et de l'angle de GAMS du mois de juillet (utilisé comme indice de creux estival).

Résultats de l'AFC sur les relevés floristiques

Le pourcentage d'inertie des premiers axes factoriels est le suivant :

Axe	1	2	3	4	5
Inertie	4,96	4,77	3,31	2,60	2,48

Le pourcentage d'inertie expliqué par les deux premiers axes (près de 10 %) est assez fort pour un tableau de données de cette taille.

Axe 1

L'axe 1 est caractérisé sur son pôle négatif par les espèces xérophiles à xéroclines (*Acer opalus*, *Cytisus sessiliflorus*, *Lonicera xylosteum*), plutôt calcaricoles, et surtout par le Buis, qui contribue très fortement à cet axe.

Le pôle positif est étiré par :

- des espèces hygrophiles de megaphorbiaies (*Adenostyle alliariae*, *Athyrium filix femina*, *Stellaria nemorum*)
- des espèces neutro hygroclines du montagnard moyen et supérieur (*Oxalis acetosella*, *Rosa pendulina*)
- des espèces acidiphiles à optimum alticole (*Festuca flavescens*, *Vaccinium myrtillus*).

La variable la plus fortement corrélée à cet axe est l'altitude. Les 6 classes d'altitude sont ordonnées sur l'axe.

Les autres valeurs élevées de corrélation (> 100) sont, côté positif :

- les angles de GAMS les plus faibles
- la région naturelle « Préalpes de l'Esteron »

L'axe 1 oppose donc les espèces qui croissent dans des conditions chaudes et sèches (Préalpes sèches, basses altitudes), à celles affectionnant un climat froid et humide (Champsaur, Valgaudemar, climat montagnard supérieur).

Axe 2

L'axe 2 est construit, côté négatif par les espèces dont l'optimum se trouve dans des conditions de bilan hydrique favorable, à basse altitude (*Hedera helix*, *Ostrya carpinifolia*, *Rubus fruticosus*, *Atropa belladonna*) ou dans l'étage montagnard moyen (*Dryopteris filix mas*, *Festuca altissima*, *Senecio fuchsii*, *Petasites albus*).

Côté positif, les espèces sont nettement alticoles, ou mieux représentées dans les régions les plus internes de la zone (*Vaccinium vitis idaeus*, *Pinus uncinata*, *Larix decidua*, *Melampyrum sylvaticum*, *Festuca flavescens*, *Rhytidadelphus triquetrus*).

Sur cet axe encore, les altitudes sont ordonnées, mais les corrélations moins fortes que sur l'axe 1.

C'est surtout un **axe de continentalité** qui est révélé ici, notamment par l'apposition des relevés à angles de GAMS faible à moyen (48 à 56 pour l'année) aux angles de GAMS élevés (supérieurs ou égaux à 60) qui caractérisent les Alpes internes. Ce sont ces valeurs qui montrent les plus fortes corrélations à l'axe.

Ainsi, s'individualisent très clairement sur cet axe, et dans cet ordre, les relevés situés dans la partie orientale des Alpes-maritimes (secteur Iguère), puis ceux proches du Dauphiné (Durbon, Champsaur, Valgaudemar), puis côté positif, les relevés du Haut-Verdon, Bassin de Seyne, Basse Ubaye, Haut Embrunais, et enfin, à l'extrémité positive, la Haute Ubaye et le Briançonnais.

On retrouve donc encore ici une explication climatique de l'axe, où l'altitude intervient plus faiblement, et où la signification biogéographique, traduite par les angles de GAMS est très nette.

L'axe 2 oppose les espèces affectionnant les conditions climatiques chaudes et humides (Alpes ligures, aux altitudes basses à moyennes) aux espèces qui acceptent de se développer dans des conditions froides et peu arrosées (Alpes internes).

Axe3

L'axe 3 est étiré, côté négatif, par les espèces qui n'ont été rencontrées qu'aux altitudes les plus basses de l'échantillon, dans les bas de pente des vallées des Alpes maritimes (*Castanea sativa*, *Hedera helix*, *Ostrya carpinifolia*, *Sesleria cylindrica*, *Solanum dulcamara*, *Ilex aquifolium*). Certaines espèces caractéristiques des sapinières pessières acidoclines contribuent aussi très fortement à cet axe (*Picea abies*, *Vaccinium myrtillus*, *Saxifraga cuneifolia*, *Scleropodium purum*).

Côté positif, les contributions les plus fortes sont fournies par *Fagus sylvatica* et *Galium odoratum*, en compagnie de *Cardamine heptaphylla*, *Galium aristatum*, *Mercurialis perennis*, *Polygonatum verticillatum*, *Acer pseudoplatanus*. Ces espèces sont presque toutes caractéristiques du *Galio-odorati-Fagenion*, très représenté dans la partie la plus nord-occidentale de notre échantillon (Bochaine, Champsaur).

L'axe 3 vient en fait discriminer les deux zones les plus arrosées qui étaient de ce fait très proches sur les axes 1 et 2. Les valeurs des précipitations et des angles de GAMS sont proches pour ces deux régions. Nous avons pu trouver *a posteriori* une cause bioclimatique à cette discrimination biogéographique : Nous savons maintenant qu'elle réside dans une différence de température à altitude constante si l'on se réfère à l'étude des températures sur la région PACA réalisée par T. PANINI (1999). La pertinence de ce critère avait été mise en évidence dans les Préalpes Drômoises (E.CORCKET, 1997). Un phénomène similaire dû à la proximité de la Méditerranée dans les Alpes ligures différencie sensiblement ce climat de celui des Alpes dauphinoises.

Axe 4

L'axe 4 est construit essentiellement côté négatif par *Buxus sempervirens*. Il s'y trouve en compagnie d'espèces mésoxérophiles de calcaire dur, d'altitude basses à moyennes (*Daphne laureola*, *Arrhenatherum elatius*, *Euphorbia amygdaloides*).

Côté positif, ce sont les espèces d'altitude équivalente mais présentes sur des substrats meilleurs rétenteurs d'eau (*Populus tremula*, *Cornus sanguinea*, *Convallaria maialis*, *Salvia glutinosa*).

L'axe 4 discrimine donc les espèces mésoxérophiles des sapinières à Buis sur calcaire dur, des espèces plus mésophiles de marnes et matériaux plus riches en fines des altitudes basses à moyennes.

Il est remarquable de constater que des critères édaphiques ne commencent à apparaître à peu près clairement qu'à ce niveau.

Axe 5

Enfin, l'axe 5 est étiré côté négatif par des espèces neutro-nitratophiles de l'étage montagnard moyen (*Geranium robertianum*, *Ajuga reptans*, *Geum urbanum*, *Urtica dioica*, *Myosotis sylvatica*, *Sambucus ebulus*). Cependant, les espèces qui contribuent le plus sont celles dont l'amplitude est assez large en présence-absence, mais qui présentent un recouvrement important dans les stations à bilan hydrique favorable et sol évolué du montagnard moyen et supérieur (*Rubus idaeus*, *Geranium nodosum*, *Picea abies*).

Discussion

L'étude du tapis végétal sous sapinière a montré que, outre l'altitude, les facteurs mésoclimatiques (liés à la localisation géographique des relevés) constituaient un facteur explicatif prépondérant des variations de compositions floristiques.

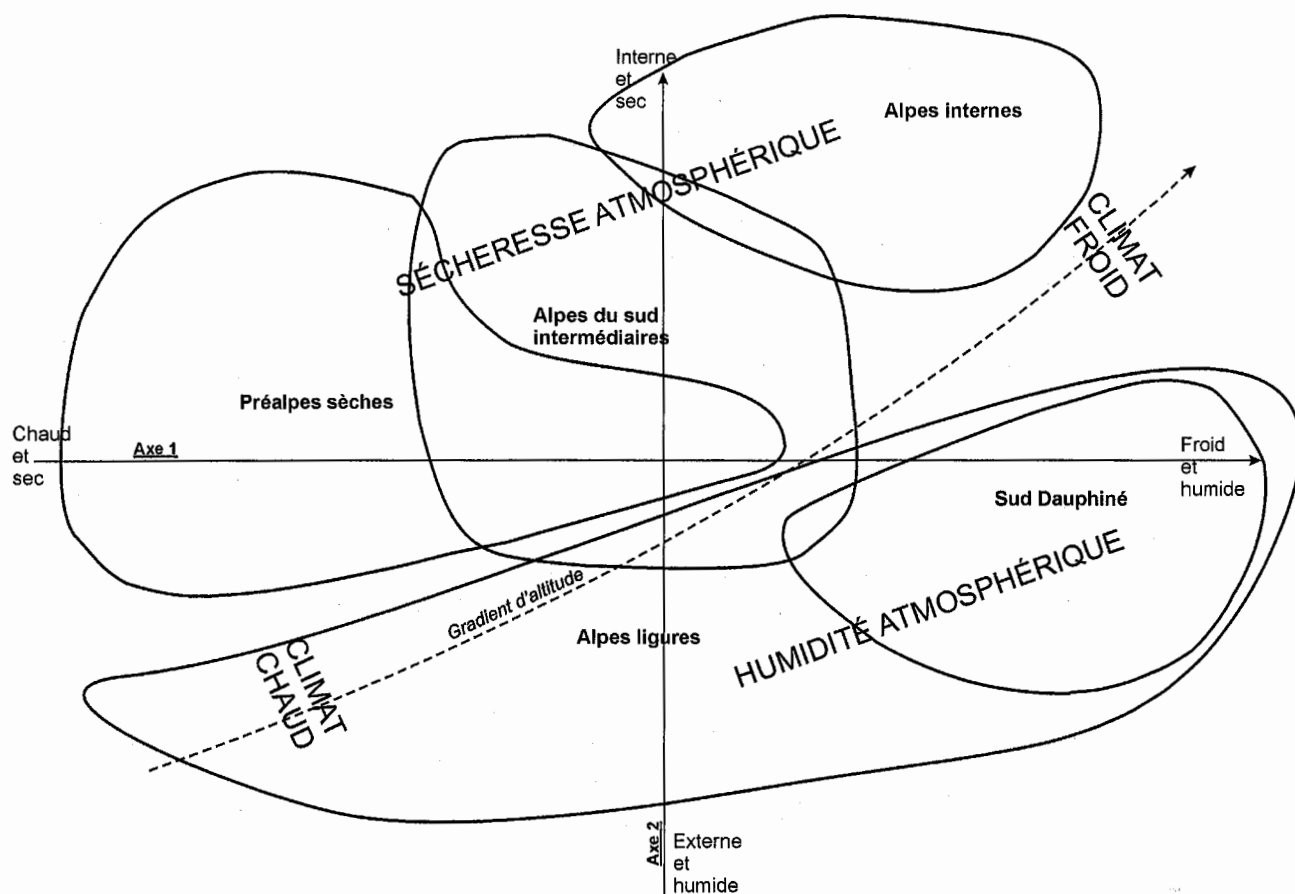
A l'échelle de travail à laquelle nous souhaitons arriver, c'est-à-dire la station forestière, cette hétérogénéité climatique de la zone d'étude constitue un obstacle, puisque les variations inter-régionales très fortes rendent difficilement lisibles la logique des variations locales. Cela est particulièrement vrai lorsque l'on veut, à l'échelle d'un versant relier les variations de niveau hydrique (bilan local sol-topographie) aux variations des compositions floristiques (indicateurs biologiques).

Il est donc nécessaire, pour atteindre la précision souhaitée, de changer d'échelle de travail, et de scinder notre échantillon en sous-ensembles présentant une homogénéité climatique suffisante.

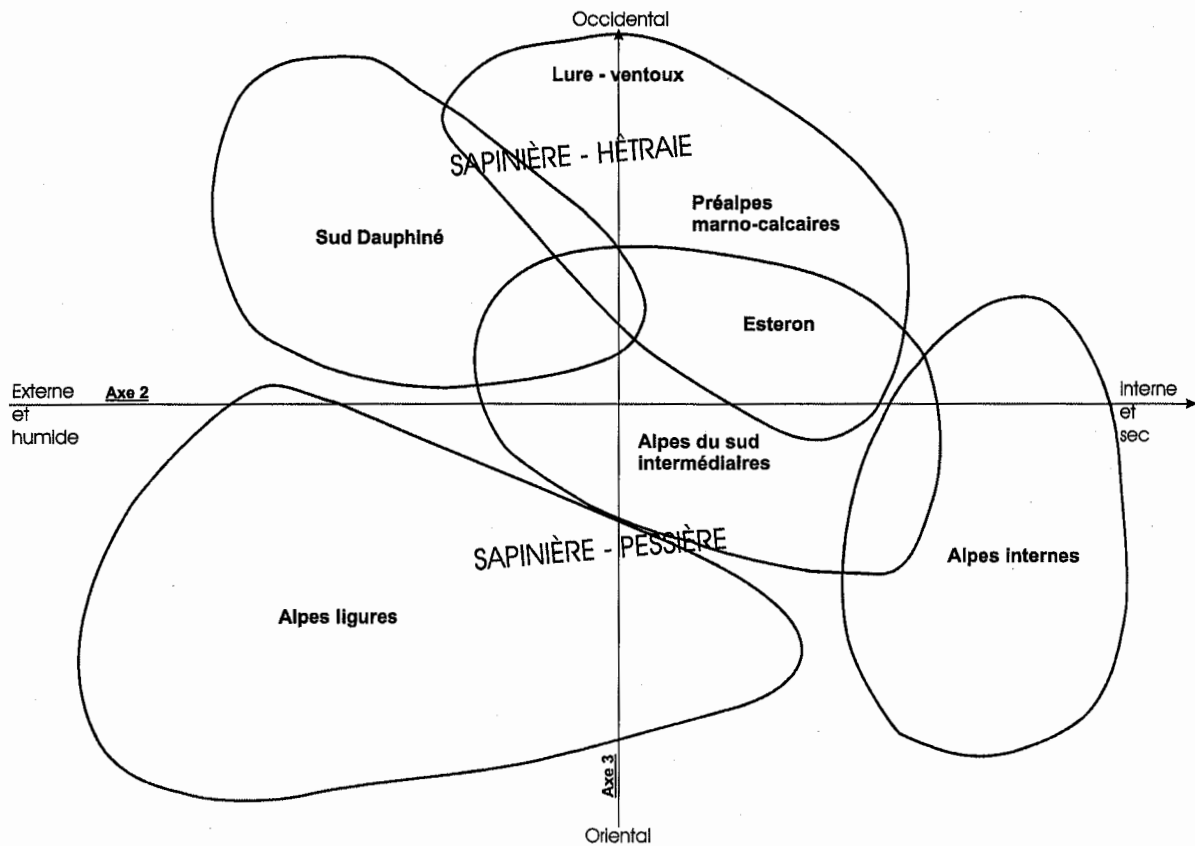
L'intérêt de ce changement d'échelle réside dans le fait que ce découpage n'est pas réalisé *a priori*, selon des limites géographiques ou climatiques choisies plus ou moins arbitrairement, mais qu'il est basé sur la comparaison entre composition floristique des relevés, et données climatiques.

Cette comparaison nous a permis d'établir des « seuils climatiques » sur lesquels nous avons assis les limites entre les différentes zones.

Les figures ci-dessous proposent une représentation simplifiée de la répartition des relevés dans les plans 1-2 et 2-3 de l'AFC. On voit que les relevés appartenant à un même ensemble géographique occupent une place bien précise dans ces plans.



Ensembles géographiques dans le plan factoriel 1 - 2



Ensembles géographiques dans le plan factoriel 2 - 3

Cette place peut être expliquée par l'action des facteurs climatiques, dont les combinaisons caractérisent les régions :

- la température plus la pluviométrie (Axes 1 et 2)
- la continentalité (pluviométrie et hygrométrie - Axe 3)

Un troisième facteur (vraisemblablement les températures relatives) sépare les hêtraies - sapinières (*Céphalanthero Fagion* et *Fagion sylvaticae*) des sapinières et sapinières pessières sans hêtre, internes et ligures (*Piceion abietis* et *Luzulo Fagion sylvaticae*).

Cette cohérence entre composition floristique et localisation géographique nous a naturellement conduit à rechercher les valeurs climatiques permettant d'établir des limites entre régions.

Ces valeurs ont été obtenues en superposant tout simplement la carte des relevés et celles des descripteurs climatiques qui présentaient les plus fortes corrélations aux axes de l'AFC.

Etablissement des limites entre grandes régions bioclimatiques

Nota : les limites suivantes, et les valeurs qui les définissent, sont établies selon les données calculées à l'aide du modèle AUREILHY, élaboré par Météo-France, et spatialisées sur Système d'Information Géographique. La donnée calculée peut, par effet de « lissage », différer sensiblement de la donnée de base issue du poste météo le plus proche.

◆ Alpes internes

Le groupe des relevés des Alpes internes peut être défini comme celui où la continentalité est la plus marquée. Tous les relevés se situent dans une zone où les angles de GAMS annuels sont supérieurs à 66° (60° selon les postes météo).

Cette limite correspond globalement aux régions du Briançonnais, Queyras et haute-Ubaye.

◆ Alpes intermédiaires humides, humides

Les relevés de ce groupe sont tous situés dans une auréole autour de la zone interne, qui comprend l'Embrunais, la basse Ubaye, le bassin de Seyne, et les hautes vallées du Verdon, du Var et de la Tinée. Seuls les relevés des forêts du Boscodon et de Crots présentent des espèces que l'on retrouve préférentiellement plus à l'Ouest.

Cette zone est à peu près délimitée par des valeurs d'angle de GAMS comprises entre 56 et 66°.

Des critères de hauteur de précipitations annuelles et estivales la distinguent également des trois régions suivantes

◆ Sud Dauphiné et Alpes ligures

Les caractères climatiques communs aux relevés de ces deux régions sont les suivants :

- pluviométrie annuelle supérieure à 1050 mm
- angles de GAMS annuels compris entre 50 et 56°

La différence climatique réside dans les températures : à altitude égale, les températures moyennes annuelles sont sensiblement plus basses dans le Dauphiné.

Les deux régions se distinguent floristiquement l'une de l'autre par l'abondance des espèces de hêtraie-sapinière dans le Dauphiné, alors que la rareté du hêtre et la fréquence des espèces de la sapinière pessière acidiphile caractérise plutôt les sapinières ligures.

Il faut également noter deux cas particuliers dans chacune des deux régions : les sapinières pessière du plateau du Devoluy d'une part, et du Boreon d'autre part, présentent un cortège qui les rapproche des relevés des Alpes internes (sapinières à fort développement de *Vaccinium myrtillus*, *Melampyrum sylvaticum* et *Festuca flavescens*).

◆ Préalpes sèches

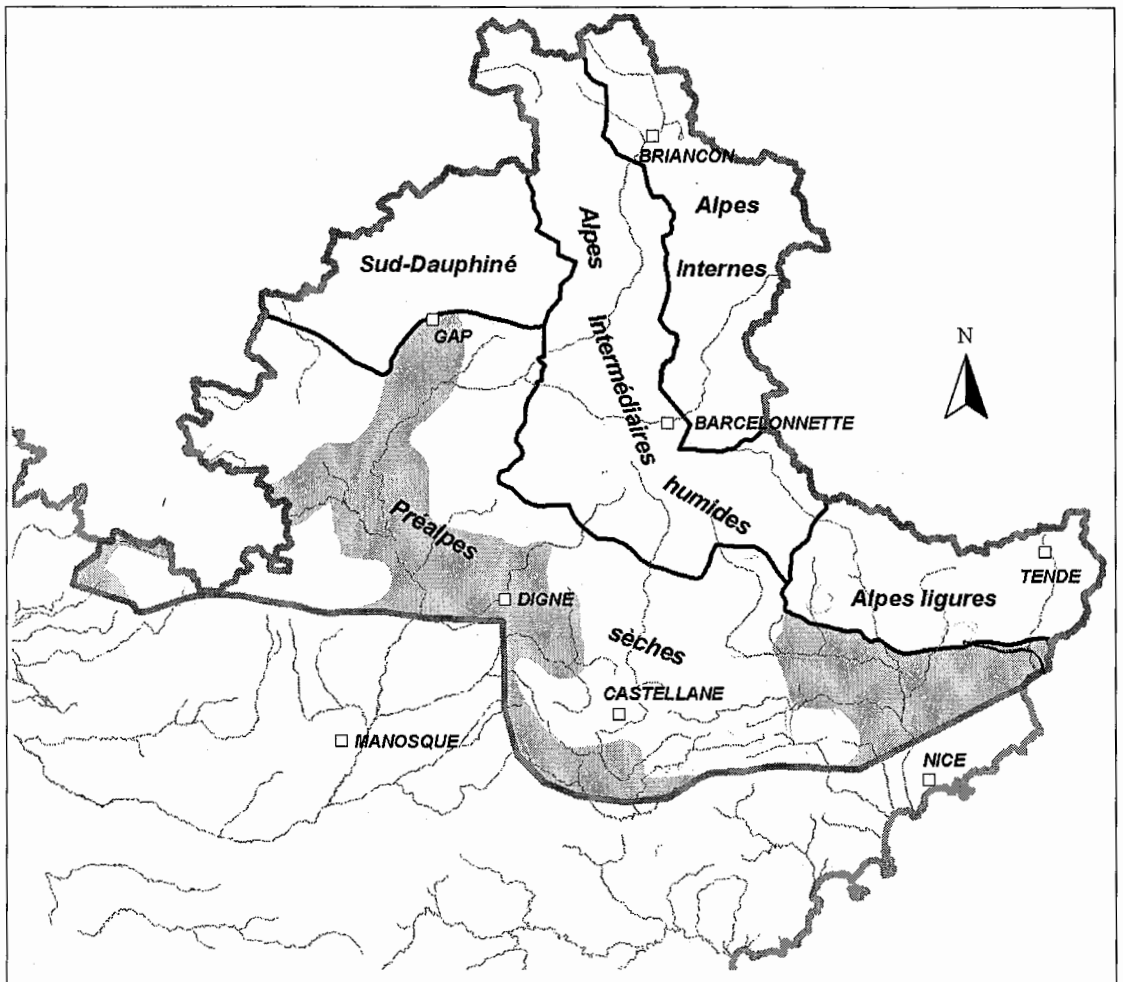
Il s'agit du reste de la zone étudiée et qui comprend les sapinières les plus exposées aux influences méditerranéennes.

Il est toutefois intéressant de constater que les peuplements forestiers où le sapin est dominant ne se rencontrent que sous certaines conditions.

Apparemment, l'importance du creux estival semble être un facteur limitant pour l'implantation de la sapinière.

Si on choisit la valeur de la pluviométrie de juillet pour rendre compte du déficit estival, on peut constater qu'il n'existe aucune sapinière au-delà d'une limite de pluie de juillet inférieure à 43 mm, sauf lorsque la pluviométrie totale est supérieure à 1050 mm (Haut Esteron). Cette limite constitue un élément important dans l'évaluation des possibilités d'extension du Sapin.

Les sapinières de la région PACA
 Limites des cinq régions climatiques



0 20 40 Kilomètres

Limites de la zone étudiée

Limites des régions climatiques

Climat défavorable au Sapin
 (pluie juillet < 43 mm et pluie annuelle < 1050 mm)

Les groupes floristiques socio-écologiques

Suite aux analyses explicitées plus haut, ainsi qu'à des analyses statistiques complémentaires (profils écologiques indicés - cf NOUALS 1996), 238 espèces ont été réparties dans 11 groupes floristiques. Ces groupes sont déclinés ci-dessous.

- Lorsque les espèces figurent dans la Flore Forestière Française (RAMEAU et al - 1989 1992), nous avons utilisé les noms proposés dans cet ouvrage. Dans le cas contraire, les noms d'espèces sont ceux retenus par R. PALESE et D. AESCHIMANN dans l'index de la Grande Flore en couleurs de Gaston BONNIER (réédition 1990).

- Ne figurent dans la liste ci-dessous que les espèces rencontrées au moins cinq fois. Les espèces très rares ne sont donc pas mentionnées.

- La notation de fréquence correspond au pourcentage de relevés dans lesquels cette espèce a été notée. Elle ne reflète que l'échantillonnage.

R : espèce rare, présente dans moins de 2,5 % des relevés.

PF : espèce peu fréquente, présente dans 2,5 à 10 % des relevés.

AF : espèce assez fréquente, présente dans 10 à 25 % des relevés.

F : espèce fréquente, présente dans 25 à 50 % des relevés..

TF : espèce très fréquente, présente dans plus de 50 % des relevés.

Groupe 0

Espèces de rochers ou de litière

0 -1 : Espèces saxicoles

<i>Polypodium vulgare</i>	Polypode vulgaire	AF
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Hypne cyprès	PF
<i>Moehringia muscosa</i>	Moehringie mousse	PF
<i>Asplenium trichomanes</i>	Cappilaire des murailles	PF

0 -2 : Espèces de litière

<i>Orthilia secunda</i>	Pyrole unilatérale	F
<i>Neottia nidus avis</i>	Néottie nid-d'oiseau	AF
<i>Goodyera repens</i>	Goodyère rampante	PF
<i>Monotropa hypopitys</i>	Monotrope sucepin	PF
<i>Pyrola chlorantha</i>	Pyrole à fleurs verdâtres	PF
<i>Epipogium aphyllum</i>	Epipogium sans feuilles	R

Les espèces figurant dans ce groupe révèlent peu les potentialités stationnelles.

Elles se développent plutôt dans des micro-écosystèmes relativement indépendants de la station.

Le groupe 0.1 est fréquent sur les blocs erratiques, les chaos d'éboulis grossiers, et les affleurements rocheux.

Le groupe 0.2 est particulièrement bien représenté dans les sapinières très fermées, où la lumière pénètre peu et où la litière se décompose lentement. C'est le cas notamment des jeunes sapinières colonisatrices, souvent non encore éclaircies.

Groupe 1

Mésophiles à hygrocènes de basse altitude

1 - 1 : Espèces supraméditerranéennes

<i>Ostrya carpinifolia</i>	Charme houblon	PF
<i>Evonymus latifolius</i>	Fusain à larges feuilles	PF
<i>Atropa belladonna</i>	Belladone	PF
<i>Ilex aquifolium</i>	Houx	PF
<i>Tilia platyphyllos</i>	Tilleul à grandes feuilles	PF
<i>Castanea sativa</i>	Châtaignier	PF
<i>Clematis vitalba</i>	Clématite vigne blanche	PF
<i>Hedera helix</i>	Lierre grimpant	PF
<i>Solanum dulcamara</i>	Morelle douce-amère	PF

1 - 2 : Espèces supraméditerranéennes à montagnardes

<i>Corylus avellana</i>	Noisetier	F
<i>Sanicula europaea</i>	Sanicle	AF
<i>Melica uniflora</i>	Mélique uniflore	AF
<i>Pseudoscleropodium purum</i>	Hypne pur	AF
<i>Plagiomnium undulatum</i>	Mnie ondulée	PF
<i>Cirsium erisithales</i>	Cirse érisithalès	PF
<i>Rubus fruticosus</i>	Ronce des bois	PF
<i>Ulmus glabra</i>	Orme de montagne	PF
<i>Symphytum tuberosum</i>	Consoude tubéreuse	R

Les espèces de ce groupe sont caractéristiques des altitudes basses de notre échantillon, mais demandent toutefois un niveau hydrique suffisant pour se développer.

Ces conditions sont réunies notamment à la base des sapinières des Alpes maritimes. Certaines espèces ne sont d'ailleurs fréquentes que dans ce département (*Ostrya carpinifolia*, *Castanea sativa*, *Solanum dulcamara*, *Plagiomnium undulatum*, *Cirsium erisithales*, *Ulmus glabra*).

Le groupe 1.1 ne s'élève guère au-dessus de 1300 m en ubac. Le groupe 1.2 a une amplitude altitudinale un peu plus grande (jusqu'à 1600 m).

Groupe 2

Xéroclines calcicoles du Montagnard inférieur

2 - 1 : Espèces supraméditerranéennes

<i>Acer opalus</i>	Erable à feuilles d'Obier	AF
<i>Mercurialis perennis</i>	Mercuriale pérenne	AF
<i>Coronilla emerus</i>	Coronille arbrisseau	AF
<i>Cephalanthera damasonium</i>	Céphalanthère de Damas	AF
<i>Quercus pubescens</i>	Chêne pubescent	AF
<i>Crataegus monogyna</i>	Aubépine monogyne	PF
<i>Acer campestre</i>	Erable champêtre	PF
<i>Salvia glutinosa</i>	Sauge glutineuse	PF
<i>Cornus sanguinea</i>	Cornouiller sanguin	PF
<i>Cephalanthera longifolia</i>	Céphalanthère à longues feuilles	PF
<i>Sanguisorba minor</i>	Petite pimprenelle	R

2 - 2 : Espèces supraméditerranéennes à montagnardes de calcaire dur

<i>Buxus sempervirens</i>	Buis	AF
<i>Cotoneaster nebrodensis</i>	Cotoneaster laineux	AF
<i>Campanula rotundifolia</i>	Campanule à feuilles rondes	AF
<i>Brachypodium pinnatum</i>	Brachypode penné	AF
<i>Campanula persicaefolia</i>	Campanule à feuilles de pêcher	AF
<i>Arabis pauciflora</i>	Arabette à fleurs peu nombreuses	AF
<i>Daphne laureola</i>	Daphné lauréole	AF
<i>Daphne mezereum</i>	Bois joli	PF
<i>Euphorbia amygdaloides</i>	Euphorbe faux amandier	PF
<i>Arrhenaterum elatius</i>	Fromental élevé	PF
<i>Primula veris</i>	Primevère officinale	PF
<i>Silene nutans</i>	Silène penché	PF
<i>Rosa canina</i>	Rosier des chiens	PF
<i>Carlina acaulis</i>	Carline à tige courte	PF
<i>Genista pilosa</i>	Genêt poilu	PF
<i>Phyteuma orbiculare</i>	Raiponce orbiculaire	PF
<i>Arabis alpina</i>	Arabette des Alpes	PF
<i>Brunella vulgaris</i>	Brunelle vulgaire	PF
<i>Festuca rubra</i>	Fétuque rouge	R
<i>Androsace chaixii</i>	Androsace de Chaix	R
<i>Pimpinella saxifraga</i>	Boucage saxifrage	R
<i>Lotus corniculatus</i>	Lotier corniculé	R
<i>Paeonia officinalis</i>	Pivoine officinale	R

2 - 3 : Espèces supraméditerranéennes à montagnardes, tous calcaires

<i>Lonicera xylosteum</i>	Camerisier à balais	F
<i>Viburnum lantana</i>	Viorne lantane	AF
<i>Cytissus sessiliflorus</i>	Cytise à feuilles sessiles	AF
<i>Pinus sylvestris</i>	Pin sylvestre	AF
<i>Melittis melissophyllum</i>	Mélitte à feuilles de mélisse	AF
<i>Polygala chamaebuxus</i>	Polygale petit-buis	PF
<i>Epipactis helleborine</i>	Epipactis à feuilles larges	PF
<i>Primula vulgaris</i>	Primevère acaule	PF
<i>Laserpitium latifolium</i>	Laser à feuilles larges	PF
<i>Campanula trachelium</i>	Campanule gantelée	PF
<i>Teucrium lucidum</i>	Germandrée luisante	PF
<i>Amelanchier ovalis</i>	Amélanchier à feuilles ovales	PF
<i>Prunus avium</i>	Merisier	PF
<i>Ctenidium molluscum</i>	Cténidie molle	PF
<i>Berberis vulgaris</i>	Epine-vinette	PF
<i>Juniperus communis</i>	Genévrier commun	PF
<i>Rhamnus alpina</i>	Nerprun des Alpes	PF
<i>Polygonatum odoratum</i>	Sceau de Salomon odorant	R

2 - 3 : Espèces supraméditerranéennes à montagnardes de marne et calcaire argileux

<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun	AF
<i>Convallaria maialis</i>	Muguet de mai	PF
<i>Epipactis atrorubens</i>	Epipactis pourpre noirâtre	R
<i>Galeopsis tetrahit</i>	Galéopsis tétrahit	R
<i>Carex alba</i>	Laîche blanche	R
<i>Populus tremula</i>	Peuplier tremble	R

Ce groupe dont l'effectif est très nombreux, indique lorsqu'il est bien représenté, un déficit hydrique par rapport à la moyenne des sapinières : soit le climat est relativement chaud (altitude basse ou exposition chaude), soit le bilan sol / topographie est défavorable.

Il est très caractéristique des Préalpes sèches, du Rosannais à l'Esteron.

Les espèces du groupe 2.1, typiquement supraméditerranéennes, sont cantonnées aux altitudes basses (moins de 1300 m en ubac).

Celles des autres sous-groupes, si elles ne sont pas rares jusqu'à 1600 m, et parfois plus, sont toutefois très nettement mieux représentées à moins de 1300 m.

Le sous groupe 2.2 est abondant sur substrat calcaire sec et filtrant (colluvions très caillouteuses, calcaire dur, notamment dans le Haut-Esteron).

Le sous groupe 2.3 se rencontre indifféremment dans toutes les régions et tous les substrats calcaires.

Le sous-groupe 2.4 rassemble quelques espèces collinéennes qui affectionnent des substrats non filtrants. On le rencontre plus particulièrement sur marne, ou sur sol peu caillouteux, plutôt compact.

Groupe 3

Très large amplitude, à tendance xérocline et calcicole

<i>Hieracium murorum</i>	Epervière des murs	TF
<i>Hylocomium splendens</i>	Hylocomie brillante	TF
<i>Hepatica nobilis</i>	Anémone hépatique	F
<i>Hieracium prenanthoides</i>	Epervière faux prénanthe	F
<i>Sorbus aria</i>	Alisier blanc	F
<i>Fragaria vesca</i>	Fraisier des bois	F
<i>Solidago virgaurea</i>	Solidage verge d'or	F
<i>Viola sylvestris</i>	Violette des bois	F
<i>Dicranum scoparium</i>	Dicrane en balai	F
<i>Carex digitata</i>	Laîche digitée	F
<i>Mycelis muralis</i>	Laitue des murailles	F
<i>Veronica officinalis</i>	Véronique officinale	F
<i>Vicia sepium</i>	Vesce des haies	AF
<i>Festuca heterophylla</i>	Fétuque à feuilles de deux sortes	AF
<i>Melampyrum nemorosum</i>	Mélampyre des bois	AF
<i>Helleborus foetidus</i>	Hellébore fétide	AF
<i>Pulmonaria saccharata</i>	Pulmonaire saupoudrée	AF
<i>Laburnum anagyroides</i>	Cytise aubour	AF
<i>Melica nutans</i>	Mélique penchée	AF
<i>Digitalis lutea</i>	Digitale jaune	AF
<i>Rosa montana</i>	Rosier des montagnes	PF
<i>Ribes uva crispa</i>	Groseiller à maquereaux	PF
<i>Vicia incana</i>	Vesce blanchâtre	PF
<i>Lathyrus pratensis</i>	Gesce des prés	PF
<i>Arabis turrata</i>	Arabette tourette	PF
<i>Dactylis glomerata</i>	Dactyle aggloméré	PF
<i>Silene vulgaris</i>	Silène enflé	R
<i>Betula pendula</i>	Bouleau verruqueux	R

Les espèces de ce groupe sont très ubiquistes, et n'ont guère de signification écologique. Elles sont très communes en sapinière.

Cependant, ce groupe est toujours plus représenté en conditions à tendance sèche, et en milieu calcaire ou calcique.

Groupe 4

Large amplitude altitudinale, calcaricole

4 - 1 : Espèces xéroclines

<i>Ranunculus gr. montanus</i>	Renoncule des montagnes s./	TF
<i>Sesleria albicans</i>	Seslérie blanchâtre	F
<i>Calamagrostis varia</i>	Calamagrostide des montagnes	AF
<i>Sesleria argentea ssp cylindrica</i>	Seslérie argentée	AF
<i>Pulsatilla alpina</i>	Pulsatille des Alpes	AF
<i>Aquilegia sp</i>	Ancolie	PF
<i>Rosa pimpinellifolia</i>	Rosier pimprenelle	PF
<i>Leucanthemum atratum</i>	Marguerite noirâtre	PF
<i>Campanula rapunculoides</i>	Campanule fausse raiponce	PF
<i>Cotoneaster integerrimus</i>	Cotoneaster commun	PF
<i>Pulmonaria angustifolia</i>	Pulmonaire à feuilles étroites	R
<i>Trifolium medium</i>	Trèfle intermédiaire	R

4 - 2 : Espèces mésophiles des Alpes internes ou intermédiaires

<i>Euphorbia dulcis</i>	Euphorbe douce	F
<i>Rhytidiadelphus triqueter</i>	Hypne triquètre	F
<i>Epilobium angustifolium</i>	Epilobe en épi	F
<i>Rubus saxatilis</i>	Ronce des rochers	F
<i>Carex austroalpina</i>	Laîche des Alpes méridionales	AF
<i>Larix decidua</i>	Mélèze d'Europe	AF
<i>Valeriana tripteris</i>	Valériane triséquée	AF
<i>Clematis alpina</i>	Clématite des Alpes	PF
<i>Veronica chamaedrys</i>	Véronique petit-chêne	PF
<i>Dactylorhiza fuchsii</i>	Orchis de Fuchs	PF

Ce groupe présente une très grande amplitude altitudinale, et est plutôt lié aux substrats calcaires ou calciques.

Il est particulièrement bien représenté dans les Alpes internes ainsi que dans l'auréole périphérique de celles-ci.

Le sous-groupe 4.1 dénote des milieux plus xériques, assez proches des Préalpes sèches.

Le sous-groupe 4.2 contient des espèces à plus large amplitude hydrique, mais dont la tendance continentale est plus nette. Il est peu révélateur des conditions hydriques du milieu.

Groupe 5

Mésophiles calcicoles de hêtraie sapinière

<i>Fagus sylvatica</i>	Hêtre	F
<i>Galium aristatum</i>	Gaillet aristé	F
<i>Luzula sylvatica</i>	Luzule des bois	F
<i>Lonicera alpigena</i>	Camerisier des Alpes	F
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Erable sycomore	AF
<i>Ribes alpinum</i>	Groseiller des Alpes	AF
<i>Lathyrus vernus</i>	Gesce printanière	AF
<i>Galium odoratum</i>	Aspérule odorante	AF
<i>Trochiscanthes nodiflorus</i>	Trochischante nodiflore	AF
<i>Adenostyles glabra</i>	Adénostyle des Alpes	AF
<i>Polygonatum verticillatum</i>	Sceau de Salomon verticillé	AF
<i>Lilium martagon</i>	Lys martagon	AF
<i>Cardamine heptaphylla</i>	Cardamine à sept folioles	PF

Les espèces de ce groupe ont un comportement mésophile (sauf *Cardamine heptaphylla*, plutôt hygrocline).

Leur amplitude altitudinale est assez grande, mais elles sont mieux représentées dans les étages montagnards moyen et supérieur (1300-1800 m en ubac).

Elles sont essentiellement **calcicoles**, ou même calcaricoles. Elles sont caractéristiques de la sapinière hêtraie, et sont particulièrement constantes à l'Est de la zone d'étude (sud Dauphiné jusqu'à l'Embrunais, Ouest des préalpes sèches).

Groupe 6

Large amplitude, à tendance hygrocline acidocline

6 - 1 : Espèces neutroacidoclines

<i>Sorbus aucuparia</i>	Sorrier des oiseleurs	TF
<i>Prenanthes purpurea</i>	Prénanthe pourpre	TF
<i>Luzula nivea</i>	Luzule blanc-de-neige	TF
<i>Rubus idaeus</i>	Framboisier	TF
<i>Geranium nodosum</i>	Géranium noueux	F
<i>Picea abies</i>	Epicéa commun	F
<i>Oxalis acetosella</i>	Oxalide petite oseille	F
<i>Veronica urticaefolia</i>	Véronique à feuilles d'ortie	F
<i>Epilobium montanum</i>	Epilobe des montagnes	F
<i>Lonicera nigra</i>	Camerisier noir	F
<i>Plagiomnium affine</i>	Mnie apparentée	AF
<i>Sambucus racemosa</i>	Sureau à grappes	AF
<i>Laburnum alpinum</i>	Cytise des Alpes	AF
<i>Poa nemoralis</i>	Pâturin des bois	AF
<i>Salix caprea</i>	Saule marsault	PF

6 - 2 : Espèces neutroclinales

<i>Geranium robertianum</i>	Géranium herbe-à-Robert	AF
<i>Urtica dioica</i>	Ortie dioïque	PF
<i>Ajuga reptans</i>	Bugle rampant	PF
<i>Myosotis sylvatica</i>	Myosotis des forêts	PF
<i>Moehringia trinervia</i>	Moehringie à trois nervures	PF
<i>Geum urbanum</i>	Benoîte commune	PF
<i>Sambucus ebulus</i>	Sureau yèble	R

Ce groupe rassemble les espèces les plus caractéristiques de la sapinière. Dans ce type de peuplement, il est à large amplitude ; la plupart des espèces y sont fréquentes, en toutes conditions.

Mais, à l'inverse du groupe 3, ce groupe est d'autant mieux représenté (soit en nombre d'espèces, soit en abondance dominante de celles-ci) que les conditions sont optimales pour le sapin. La représentation de ce groupe est maximum dans les étages montagnards moyen et supérieur, sur substrat peu sec, sol non carbonaté à légèrement désaturé.

Le recouvrement de certaines espèces est un bon indicateur de fertilité de la station (*Rubus idaeus*, *Oxalis acetosella*, *Geranium nodosum*).

Le sous-groupe 6.2, dont les espèces sont moins fréquentes, montre une tendance hygrocline encore plus nette, et rassemble des espèces affectionnant les sols riches en azote.

Groupe 7

Hygroclines à tendance alticole et calcicole

<i>Phyteuma spicatum</i>	Raiponce en épi	F
<i>Rosa pendulina</i>	Rosier des Alpes	F
<i>Aconitum vulparia</i>	Aconit tue-loup	AF
<i>Hieracium vulgatum</i>	Epervière vulgaire	PF
<i>Heracleum sphondylium</i>	Grande berce	PF
<i>Astrantia major</i>	Grande astrance	PF
<i>Ribes petraeum</i>	Groseiller des rochers	PF
<i>Maianthemum bifolium</i>	Maïanthème à deux feuilles	PF

On peut caractériser les espèces de ce groupe de trois façons :

- tendance alticole nette (optimum dans l'étage montagnard supérieur)
- plutôt calcicole
- hygrocline

Nota : dans de nombreux cas, et faute d'éléments diagnostiques, la distinction entre *Phyteuma spicatum* et *Phyteuma ovatum* n'a pu être faite. Il semblerait que *Phyteuma ovatum* soit nettement moins fréquente, et très nettement alticole (optimum à l'étage subalpin).

Groupe 8

hygrophiles

8 - 1 : Espèces hygrophiles

<i>Dryopteris filix mas</i>	Fougère mâle	F
<i>Calamintha grandiflora</i>	Calament à grandes fleurs	F
<i>Senecio fuchsii</i>	Séneçon de Fuchs	AF
<i>Petasites albus</i>	Pétasite blanc	AF
<i>Actaea spicata</i>	Actée en épis	AF
<i>Festuca altissima</i>	Grande fétuque	AF
<i>Ranunculus platanifolius</i>	Renoncule à feuilles de platane	AF
<i>Paris quadrifolia</i>	Parisettes à quatre feuilles	AF
<i>Aegopodium podagraria</i>	Herbe aux goutteux	PF
<i>Hordelymus europaeus</i>	Orge d'Europe	PF
<i>Cardamine pentaphyllos</i>	Cardamine à cinq folioles	PF
<i>Cardamine impatiens</i>	Cardamine impatiente	PF

8 - 2 : Espèces très hygrophiles.

<i>Athyrium filix femina</i>	Fougère femelle	AF
<i>Stellaria nemorum</i>	Stellaire des bois	AF
<i>Milium effusum</i>	Millet diffus	PF
<i>Viola biflora</i>	Pensée à deux fleurs	PF
<i>Saxifraga rotundifolia</i>	Saxifrage à feuilles rondes	PF
<i>Adenostyles alliariae</i>	Adénostyle alliaire	PF
<i>Dryopteris dilatata</i>	Dryoptéris dilaté	PF
<i>Thalictrum aquilegifolium</i>	Pigamon à feuilles d'ancolie	R
<i>Aruncus dioicus</i>	Barbe de bouc	R
<i>Veratrum album</i>	Vérâtre blanc	R

8 - 3 : Espèces hygrophiles de rochers suintants

<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	Gymnocarpium dryoptère	PF
<i>Cystopteris fragilis</i>	Cystopteride fragile	PF

Espèces à caractères hygrophile nettement marqué.

Les espèces du groupe 8.2 sont très hygrophiles, et se rencontrent en sols neutres à légèrement acides, riches (elles sont le plus souvent cantonnées aux fonds de vallon).

Le sous-groupe 8.3 comprend deux fougères affectionnant les ravins rocheux frais et les éboulis grossiers suintants.

Le caractère indicateur du groupe 8 est très important, surtout dans l'étage montagnard : il permet de détecter les meilleures potentialités stationnelles. Cette valeur indicatrice est toutefois moindre lorsque l'altitude s'élève : il devient plus ubiquiste au-dessus de 1700 m, alors que le froid devient un facteur limitant pour la croissance du sapin.

Groupe 9

Alticoles

9 - 1 : Espèces neutrophiles à neutrocalcicoles

<i>Geranium sylvaticum</i>	Géranium des bois	AF
<i>Chaerophyllum hirsutum</i>	Chérophylle hérissé	AF
<i>Gentiana lutea</i>	Gentiane jaune	PF
<i>Valeriana montana</i>	Valériane des montagnes	PF
<i>Alchemilla hoppeana</i>	Alchemille de Hoppe	PF
<i>Pinus uncinata</i>	Pin à crochets	PF
<i>Peucedanum ostruthium</i>	Impératoire	R

9 - 2 : Espèces acidiphiles

<i>Sorbus chamaemespilus</i>	Alisier nain	PF
<i>Homogyne alpina</i>	Homogyne des Alpes	PF
<i>Campanula rhomboidalis</i>	Campanule à feuilles en losange	R
<i>Rhododendron ferrugineum</i>	Rhododendron ferrugineux	R
<i>Vaccinium vitis idaea</i>	Airelle rouge	R
<i>Ranunculus nemorosus</i>	Renoncule des bois	R
<i>Soldanella alpina</i>	Soldanelle des Alpes	R

Les espèces de ce groupe sont très nettement alticoles. On les rencontre généralement à partir de 1800 m.

Certaines espèces (*Geranium sylvaticum*, *Chaerophyllum hirsutum*) peuvent être trouvées à des altitudes nettement plus basses. Elles indiquent alors des stations très bien alimentées en eau et peuvent alors être assimilées aux plantes du groupe 8.

Le sous-groupe 9.1 est plus fréquent sur substrat calcaire (pH neutres à basiques, souvent riches en éléments minéraux).

Le sous-groupe 9.2 est nettement acidiphile.

Groupe 10

Acidiphiles

10 - 1 : Espèces à large amplitude altitudinale

<i>Melampyrum sylvaticum</i>	Mélampyre des forêts	F
<i>Deschampsia flexuosa</i>	Canche flexueuse	AF
<i>Saxifraga cuneifolia</i>	Saxifrage à feuilles en coin	AF
<i>Lathyrus montanus</i>	Gesce des montagnes	PF
<i>Galium rotundifolium</i>	Gaillet à feuilles rondes	PF
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Flouve odorante	PF
<i>Agrostis capillaris</i>	Agrostide capillaire	PF
<i>Luzula pedemontana</i>	Luzule du Piémont	R

10 - 2 : Espèces à tendance alticole

<i>Vaccinium myrtillus</i>	Myrtille	F
<i>Festuca flavescens</i>	Fétuque jaunâtre	AF
<i>Luzula luzulina</i>	Luzule jaunâtre	PF

Ces espèces sont présentes principalement sur les substrats siliceux.

Ce groupe sera d'autant plus représenté (nombre d'espèces, et abondance dominance) que la station sera sèche.

Le sous-groupe 10.1 est à très grande amplitude altitudinale (sauf *Galium rotundifolium* et *Lathyrus montanus*, ne dépassant guère 1500 m).

Le sous-groupe 10.2 est particulièrement développé en altitude, où la Myrtille et la Fétuque jaunâtre peuvent former des tapis.

Troisième Partie

Eléments d'autécologie du Sapin pectiné

La croissance en hauteur

1 - L'indice de fertilité, et les problèmes qui lui sont liés

Principe et problèmes

L'analyse des relations entre milieu et croissance en hauteur repose sur les lois de EICHHORN selon lesquelles :

❶ La production en volume d'un peuplement équiennne, monospécifique et génétiquement homogène ne dépend que de l'âge du peuplement et de la station.

❷ La production en volume d'un peuplement n'est fonction que de sa hauteur dominante (quels que soient la station et l'âge du peuplement).

Il est difficile pour une essence telle que le sapin, et surtout en zone de montagne, de réunir les deux premières conditions de la première loi de EICHHORN pour les raisons suivantes :

- Les sapinières sont le plus souvent traitées en futaies jardinées, donc inéquiennes à l'échelle de la parcelle
- Les peuplements sont souvent en mélange avec d'autres essences (principalement épicéa, mélèze et hêtre)
- Enfin, la capacité du sapin à végéter longtemps sous les semenciers en poussant très lentement, induit des hétérogénéités d'âge non perceptibles avant sondage dans certains peuplements d'aspect régulier.

Nous nous sommes efforcés, lors du choix des placettes, de ne travailler que dans des parquets ne s'éloignant pas trop de ces conditions, sans pour autant être sûrs d'y parvenir totalement, surtout pour les peuplements âgés.

Détermination de l'indice de fertilité

Rappelons que nous disposons, pour plus des trois quart des relevés, du couple âge-hauteur des 1er, 3ème et 5ème plus gros arbres d'une placette de 600 m².

Pour pouvoir comparer les relevés entre eux, il nous a fallu ramener les hauteurs de chacun de ces arbres à une hauteur supposée atteinte à un âge commun de référence (100 ans), puis faire la moyenne de ces 3 hauteurs à 100 ans pour obtenir l'indice de fertilité de la placette (H 100).

Pour cela, nous avons bien sûr utilisé le modèle de croissance en hauteur bâti par le département des Recherches Techniques de l'ONF pour la région PACA en 1993.

L'équation de ce modèle, sous sa forme utilisable pour l'obtention du H 100 est la suivante :

$$H\ 100 = \frac{H - 1,30 - 0,08377 \times \text{Age}}{1,0839 \times [1 - f(\text{Age})]^{1,2482}} + 9,677$$

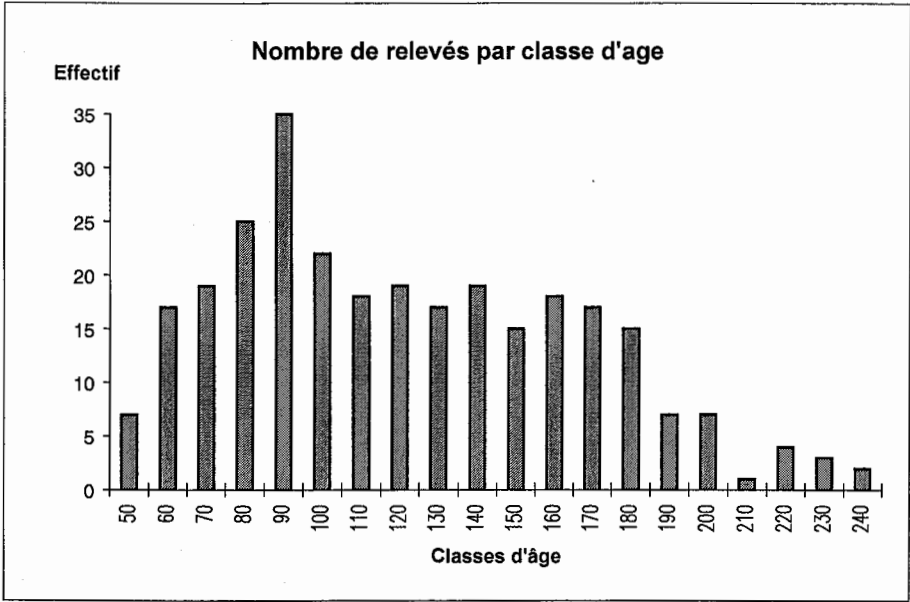
où : H 100 = hauteur à 100 ans de l'arbre mesuré

H = hauteur de l'arbre mesuré

$f(\text{Age}) = \exp(-0,01081 \times \text{Age}^{1,2045})$

Les âges des arbres sondés

L'âge moyen des arbres sondés est de 125 ans.



Le graphique ci-dessus fait apparaître la fourchette des âges obtenus. La première constatation qui s'impose est que, si l'essentiel de l'échantillon est compris entre 60 et 180 ans, un certain nombre de relevés dépasse 200 ans, âge constituant la limite de fiabilité du modèle de croissance.

Par ailleurs, si les arbres dont l'âge est proche de 100 ans sont les plus nombreux, il n'en reste pas moins que beaucoup de placettes ont un âge moyen éloigné de l'âge de référence, ce qui constitue un facteur d'imprécision car on augmente ainsi le risque d'erreur dû au modèle.

Une fois en possession de l'indice de fertilité, nous avons réalisé un tri des relevés en fonction des critères suivants :

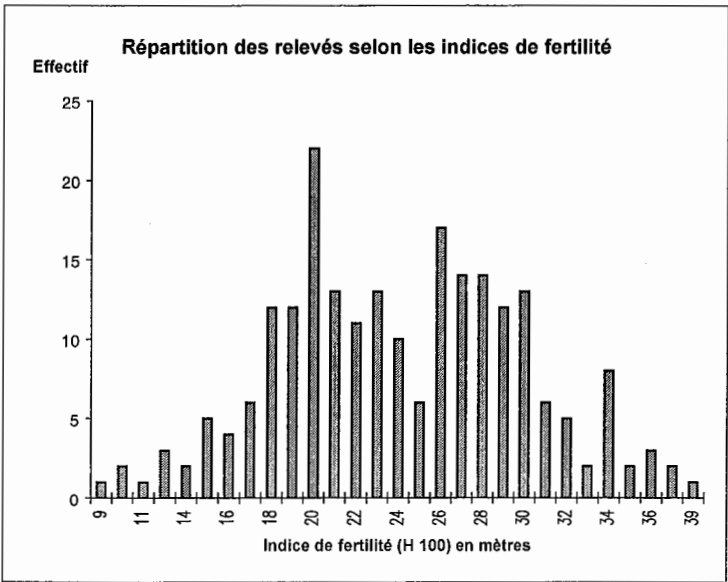
- 1 - élimination des relevés dont l'âge moyen sortait du domaine de validité du modèle de croissance en hauteur (environ 200 ans),

- 2 - dans les placettes d'âge très hétérogène, élimination des arbres âgés dont le H100 s'éloignait trop nettement des autres arbres de la placette.

Ainsi, 13 relevés ont été éliminés, ramenant l'échantillon à analyser à 222 observations.

Les indices de fertilité

L'indice de fertilité moyen des placettes est de 24,2 m, mais la fourchette des H100 est très ouverte puisqu'elle va de 9 à 39 m.



On peut observer par ailleurs que l'histogramme des H100 présente deux pics, l'un à 20 m, l'autre à 26 m, et que la moyenne correspond à une classe peu représentée.

Dans l'hypothèse d'une répartition gaussienne des indices de fertilité, nous aurions donc affaire à deux populations différentes, ou bien à une population unique végétant dans deux catégories de milieu très distinctes.

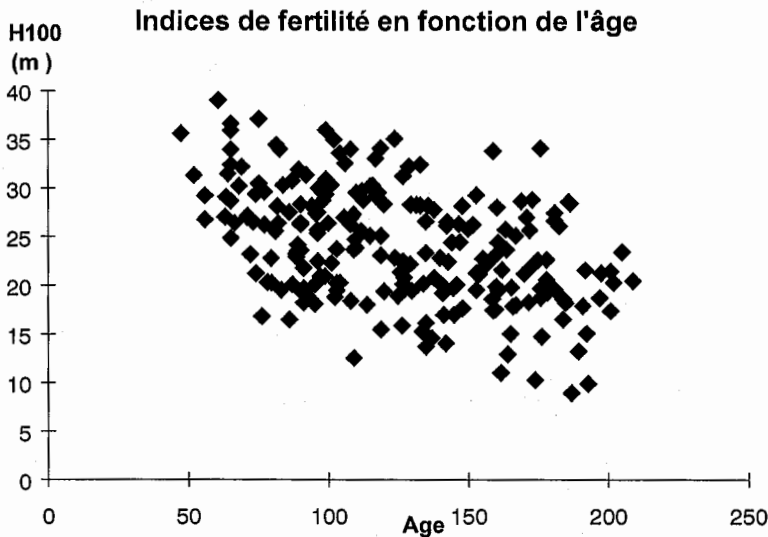
Le problème de la non indépendance entre âge et indice de fertilité

Le fait de ramener les hauteurs dominantes à un même âge de référence devrait théoriquement nous permettre de nous affranchir des différences d'âge entre placettes.

Mais plusieurs auteurs ont précédemment constaté que cet affranchissement n'était pas absolu (BECKER et Al., 1990 et 1994, NOUALS 1992, GILBERT et Al. 1994) et que les indices de fertilité provenant d'arbres vieux étaient significativement plus faibles que ceux provenant d'arbres jeunes.

Nous avons donc voulu examiner s'il existait ou non une dépendance entre le H 100 et l'âge des arbres.

Le nuage de points ci-dessous illustre clairement qu'il n'y a pas indépendance.



l'impression visuelle de ce graphe peut être statistiquement confirmée par une analyse de variance (cf page suivante) :

Test de Fischer F=11,97	Effectif	Moyenne des H 100	Test de Duncan
Moins de 80 ans	31	28,7 m	A
de 80 à 99 ans	43	25,7 m	B
de 100 à 129 ans	51	25,4 m	B
de 130 à 159 ans	45	22,2 m	C
de 160 à 189 ans	41	21,2 m	CD
Plus de 190 ans	11	18,9 m	D

On peut voir que l'indice de fertilité décroît significativement en liaison parfaite avec l'âge.

De nombreuses explications de ce phénomène peuvent être avancées, parmi lesquelles figure une possible erreur due au modèle ; des causes d'origine biologiques peuvent aussi être invoquées, comme le réchauffement climatique ou l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'air.

Si aucune de ces explications ne peut être repoussée à priori, il existe aussi deux raisons sylvicoles qui nous paraissent pertinentes pour le cas du sapin, sachant que celui-ci est traité essentiellement en futaie jardinée :

❶ le traitement en futaie jardinée supposant un prélèvement dans toutes les classes de diamètre, on peut supposer que des arbres poussant lentement peuvent passer dans l'étage dominant, contrairement à ce qui se passe en futaie régulière ; ainsi, dans une sapinière vieillie, les arbres qui poussaient le mieux ont pu être récoltés, et ne restent plus que les sujets dont la croissance était la plus lente. Les hauteurs dominantes mesurées ne reflèteraient alors pas la fertilité de la station.

❷ les arbres âgés se trouvent effectivement dans des situations moins favorables. Le diamètre d'exploitabilité est alors plus long à atteindre. Dans ce cas, les arbres sont conservés beaucoup plus longtemps sur pied. (d'autant plus que ces sapinières de milieu difficile ont souvent un objectif de protection, cas des sapinières de Lure, du Ventoux, du Briançonnais) Dans cette hypothèse, l'âge n'introduirait pas de biais.

Il est difficile de privilégier une de ces deux hypothèses, car il est probable que chacune d'elle puisse localement être vraie.

Quoiqu'il en soit, il est probable que cette dépendance a constitué une source d'imprécision dans nos analyses, et que l'influence de certains facteurs a pu être masquée. Nous ne saurons malheureusement jamais dans quelle mesure.

2 - Les relations milieu - croissance en hauteur

Pour étudier ces relations, nous avons utilisé une méthode analytique, c'est-à-dire c'est à dire que nous avons étudié l'influence de chaque descripteur du milieu isolément.

La méthode synthétique, qui permet de considérer l'ensemble des facteurs du milieu simultanément, est bien sûr préférable, car plus fonctionnelle. Elle peut être réalisée selon divers processus (segmentation, régression multiple, et bien sûr relations type de station - croissance). Mais pour la réaliser, l'étude analytique préalable est toujours nécessaire.

Ainsi les résultats analytiques présentés dans ce chapitre ont été réutilisés dans les phases suivantes de l'étude. Nous en avons tenu compte pour la structuration du milieu en types de station. Enfin, la formulation synthétique des relations milieu - croissance en hauteur sera présentée sous forme de relations stations - production : pour chaque type de station, un indice de fertilité moyen sera donné.

Etude analytique : les analyses de variance

Pour étudier l'influence de chaque facteur, nous avons donc effectué une série d'analyses de variances afin de comparer les moyennes des H100 pour chaque modalité des descripteurs écologiques étudiés.

Rappelons que l'analyse de variance est une méthode statistique qui, à l'aide d'un test dit de FISCHER teste l'hypothèse **H1** : toutes les moyennes des fertilités des diverses modalités du facteur étudié sont égales, contre l'hypothèse **H2** : pour au moins une de ces modalités, on obtient au moins une moyenne significativement différente des autres.

Cette hypothèse est appréciée par le calcul d'un seuil de significativité **P** : plus la valeur de **P** est faible, plus on peut accepter **H2** avec sûreté.

Par ailleurs, ce test donne une valeur **F** permettant d'estimer la quantité de variabilité des H100 expliquée par le facteur étudié : Plus la valeur de **F** est grande, plus le facteur influe sur la fertilité.

Les principaux résultats de ces tests sont exposés ci-dessous.

Pour chaque facteur écologique significativement influent, on trouvera les modalités classées depuis la plus favorable vers la moins favorable, avec l'effectif de chaque modalité, le H100 moyen, et le résultat d'un test de DUNCAN de comparaison des moyennes (les modalités ayant une lettre en commun ne sont pas significativement différentes).

Facteurs climatiques « calculés »

Nous regroupons sous ce vocable toutes les données climatiques non observées sur le terrain et issues de divers calculs effectués sur SIG.

Les données proviennent de Meteo-France. Les modèles utilisés sont issus d'études antérieures ou à paraître. Nous avons en particulier utilisé avec profit le modèle AUREILHY (Meteo-France) pour les données pluviométriques, ainsi que le travail réalisé par T. PANINI, en collaboration avec la CRAT (étude à paraître), pour les données thermiques et la partition de la région en zones pluviométriques.

Facteurs les plus influents : (Seuil de significativité du test de Fischer : $P \leq 5$ pour 1000).

Ils sont présentés ci-dessous par ordre de significativité du test de FISCHER;

◆ Grande région climatique

F = 28,04 - P < 0,0001	Effectif	Moyenne des H 100	Test de Duncan
Alpes ligures	66	27,8	A
Alpes intermédiaires humides	65	25,7	A
Sud Dauphiné	30	22,4	B
Préalpes sèches	45	20,4	B
Alpes internes	16	16,8	C

Le fait de trouver ce critère comme le plus significatif pour expliquer la croissance en hauteur du sapin permet de valider le découpage réalisé jusqu'alors sur des critères floristiques corrélés à des données climatiques.

La partition de la zone d'étude en cinq régions climatiques distinctes s'en trouve d'autant plus justifiée.

Ce découpage est peu différent de celui qui a été réalisé par T. PANINI (1999), à la suite d'une analyse de données pluviométriques sur 298 postes de la région PACA . La caractérisation climatique de ces régions, telle qu'elle apparaît dans le travail de PANINI, permet d'avancer des explications biologiques quant au comportement du Sapin vis à vis des facteurs pluviométriques

Les régions les plus favorables montrent des pluviométries totales élevées, mais surtout des creux estivaux peu marqués.

A noter que la région Sud Dauphiné, dont les caractéristiques pluviométriques sont proches de celles des Alpes ligures, montre des croissances significativement plus faibles que celle-ci. Cela pourrait être expliqué par des températures notablement plus basses à altitude équivalente.

Les préalpes sèches, sous influence méditerranéenne (creux estival marqué) sont assez défavorables.

Le climat des Alpes internes est le plus défavorable à la croissance du Sapin (pluviométrie faible et températures basses).

♦ Angle de GAMS

F = 12,57 - P > 0,0001	Effectif	Moyenne des H 100	Test de Duncan
49 à 51	53	26,8	A de
56 à 60	43	26,2	A 49 à
52 à 55	59	24,5	A 60
Moins de 49	34	20,8	B
61 et plus	33	20,2	B

Les valeurs de l'angle de GAMS ($G = \text{Arccotg pluie} / \text{altitude}$) qui expriment la continentalité sont très bien corrélées à la croissance du Sapin.

Un climat trop « interne » (froid et peu arrosé) est manifestement défavorable à la croissance.

Il en est de même pour un climat trop externe sur notre échantillon. Mais celui-ci s'accompagne également d'un renforcement des influences méditerranéennes (sécheresse estivale) qui sont certainement la véritable cause de la croissance plus faible.

Ces facteurs climatiques, qui correspondent à des situations géographiques délimitées, sont les plus influents de tous les facteurs analysés. Ils montrent bien la prépondérance du mésoclimat par rapport à tous les autres facteurs pouvant expliquer la croissance.

♦ Pluie de juillet

F = 9,18 - P > 0,0001	Effectif	Moyenne des H 100	Test de Duncan
5 - 59 à 62 mm	41	27,3	A
6 - plus de 62 mm	39	26,5	A
4 - 56 à 58 mm	40	24,9	A B
2 - 47 à 50 mm	36	22,9	C B
3 - 51 à 55 mm	33	21,4	C
1 - moins de 47 mm	33	20,7	C

Bien que les fertilités ne soient pas exactement ordonnées selon le gradient de pluie de juillet, on peut considérer qu'en deçà d'une valeur de 50 mm, la croissance du sapin est nettement ralentie. Par ailleurs, il faut noter qu'il n'y a pas de relevé montrant une valeur inférieure à 40 mm, et seulement une douzaine entre 40 et 45 mm. Cette donnée, qui exprime l'intensité du creux estival semble bien être un facteur limitant pour le Sapin.

♦ Température moyenne annuelle - F = 7,75 - P < 0,0001

Ce chiffre a été obtenu par calcul pour chaque point de relevé en utilisant le modèle obtenu par PANINI (non publié). Une correction systématique de - 1,4° pour les relevés d'ubac a été effectuée (DOUGUEDROIT - SAINTIGNON, 1974).

Une seule modalité se distingue de toutes les autres : il s'agit de la classe regroupant les températures les plus basses ($< 4,2^{\circ}$). Il s'agit de relevés d'altitude élevée situés en ubac.

Le froid excessif a donc un effet nettement dépressif sur la croissance.

A noter que les températures les plus élevées ($> 7^{\circ}\text{C}$) liées aux adrets ou aux basses altitudes correspondent à des moyennes de croissance correctes à bonnes.

◆ **Autres facteurs climatiques**

Pluviométrie estivale (Juin, Juillet, Août) - $F = 3,15$ - $P = 0,0091$

Sans être aussi significative que la pluie de juillet, la croissance est bien dépendante de ce facteur, puisqu'elle augmente régulièrement quand la pluviométrie estivale s'élève. Les modalités significativement différentes sont les valeurs les plus faibles (moins de 187 mm, H 100 = 21,6 m) et les plus fortes (plus de 230 mm, H 100 = 26,5 m).

Pluie de Printemps (Mars, Avril, Mai) et pluie d'Automne (Septembre, Octobre, Novembre)

Les tests effectués sur ces deux séries de données apparaissent également significatifs (respectivement, $F = 4,57$ - $P = 0,0006$ et $F = 2,56$ - $P = 0,028$), mais la valeur des indices de fertilité ne croît pas avec la hauteur des pluviométries. Ces variables révèleraient donc plutôt un régime pluviométrique lié à une situation géographique. Elles ne peuvent guère être considérées comme facteur explicatif de la croissance.

Pluviométrie totale - $F = 2,44$ - $P = 0,0355$

Si les valeurs extrêmes (moins de 870 mm et plus de 1150 mm) sont assez bien différenciées en terme de croissance du reste de l'échantillon, les valeurs moyennes (870 à 1150 m) non seulement ne sont pas significativement différentes entre elles, mais de plus ne sont pas logiquement réparties (la croissance ne varie pas dans le même sens que la pluviométrie totale). Ce facteur, bien que très utilisé pour définir les climats, n'est pas des plus pertinents pour expliquer la croissance du sapin.

Pluie d'hiver : ce facteur n'est pas significativement lié à la croissance.

Facteurs relevés sur le terrain

◆ **Couleur de l'horizon A**

$F = 7,61$ - $P = 0,0006$	Effectif	Moyenne des H 100	Test de Duncan
Clair	42	27,1 m	A
Foncé	163	23,6 m	B
Très foncé	17	21,8 m	B

Ce niveau de significativité peut paraître surprenant pour untel descripteur. Il constitue sans doute un bon intégrateur de données pédologiques, puisqu'en effet, les horizons A de couleur claire s'observent en général sur des sols bruns évolués, à faible charge en cailloux dans la partie supérieure, à horizon structural S bien différencié. Ils révèlent en général une excellente incorporation de la matière organique, et donc une bonne richesse minérale.

◆ **Altitude ($F = 4,86$ - $P = 0,0003$)**

Les relevés situés à plus de 1700 m montrent des croissances significativement plus faibles que tous les autres; Ce résultat est à rapprocher de l'analyse effectuée sur les températures estimées. Les tests statistiques sont meilleurs sur ce dernier car le modèle fait intervenir d'autres variables que l'altitude (distance à la mer, longitude).

◆ **Type de roche ($F = 4,38$ - $P = 0,002$)**

Il y a peu de modalités de roches significativement différents entre elles. Les roches les plus favorables sont les schistes et les marnes (substrats tendres et peu filtrants). Les roches les plus défavorables sont les calcaires durs ou siliceux (substrats durs et filtrants).

Note topographique de bilan d'eau ($F = 3,79$ - $P = 0,02$)

La modalité apports d'eau > pertes est significativement plus favorable que la modalité inverse. Aucun de ces deux cas ne se distingue du cas moyen (apports = pertes).

◆ Proportion d'éléments grossiers entre 25 et 35 cm

F = 3,71 - P = 0,006	Effectif	Moyenne des H 100	Test de Duncan
Moins de 10 %	33	26,7	A
de 10 à 30 %	57	24,6	A B
de 30 à 50 %	40	24,2	A B
de 50 à 70 %	53	24,0	B
plus de 70 %	39	21,6	C

On voit que la valeur de l'indice de fertilité progresse quand la charge en cailloux diminue, avec un seuil très nettement défavorable à partir de 70 % d'éléments grossiers.

◆ Profondeur de l'horizon C

F = 3,85 - P = 0,0049	Effectif	Moyenne des H 100	Test de Duncan
Plus de 60 cm	43	26,0	A
de 50 à 60 cm	43	25,0	A
de 40 à 50 cm	41	24,2	A
moins de 40 cm	39	21,3	B
horizon C non atteint	55	-	-

La fertilité fléchit significativement si l'horizon C est rencontré à moins de 40 cm.

◆ Profondeur à partir de laquelle on rencontre plus de 60 % d'éléments grossiers

F = 3,24 - P = 0,131	Effectif	Moyenne des H 100	Test de Duncan
Non atteint sur le profil	58	25,6	A
60 cm à 1 m	28	25,4	A B
40 à 60 cm	59	24,4	A B
20 à 40 cm	46	22,9	B C
moins de 20 cm	30	21,7	C

Discussion

A l'évidence, les facteurs écologiques gouvernant la croissance en hauteur du sapin sont en premier lieu les facteurs mésoclimatiques (pluviométrie estivale, continentalité, température). Lorsque ceux-ci sont synthétisés et spatialisés en unités géographiques (grandes régions climatiques ou zones pluviométriques), la conjonction de ces facteurs fait apparaître nettement les zones où le sapin semble le plus à son aise, et celles où au contraire il végète plus difficilement.

A un degré moindre, des facteurs écologiques locaux (altitude, type de substrat, position topographique, charge en éléments grossiers) ont une influence assez nette sur la croissance du sapin.

Il est probable que cette influence soit nettement mieux décelable à l'intérieur d'une zone climatiquement homogène.

Cette analyse conforte donc la nécessité de considérer séparément des entités climatiques distinctes au sein de la zone d'étude., avant d'aborder, au sein de chaque entité, la définition des types de station.

L'Etat sanitaire

1 - La notation de l'état sanitaire

Méthode de notation et nature de la note d'état des houppiers

On trouvera en annexe le protocole de notation de l'état des houppiers. Cette notation, réalisée sur 10 arbres de la placette ou proche de celle-ci, fait appel à un ensemble de critères à observer sur les houppiers et consiste à donner une note allant de 1 (arbre en très bonne santé) à 5 (arbre mort) à chaque arbre observé. La note affectée à chaque relevé est la moyenne de la note de ces dix arbres. Plus cette moyenne est élevée, plus l'état sanitaire de la placette est considéré comme mauvais.

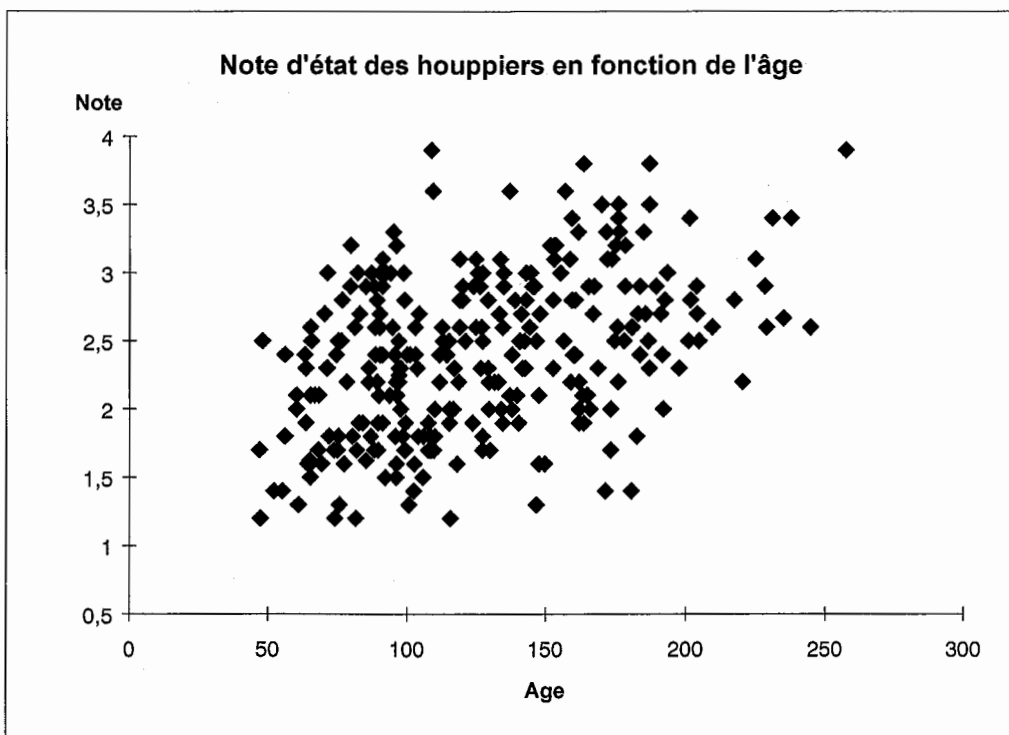
Il s'agit donc d'une notation qualitative, dans laquelle entre forcément une dose de subjectivité.

De plus, des événements ponctuels et passagers peuvent affecter sensiblement cette note (attaques de tordeuse du sapin en particulier).

On voit donc que cette notation peut être entachée d'une certaine imprécision.

Le biais introduit par l'âge

Le biais le plus important pouvant affecter cette note est l'âge. En effet, plus un arbre est vieux, plus il est susceptible d'avoir subi des accidents. Des signes de sénescence normaux (cîmes multiples, houppiers échancrés, branches sèches) amèneront à mal noter cet arbre. On voit d'ailleurs clairement, sur le graphe ci-dessous, que plus l'âge des arbres est élevé, plus la note d'état des houppiers a tendance à être mauvaise.



Nous avons d'ailleurs testé l'indépendance de la note par rapport à l'âge par une analyse de variance, et cette hypothèse a été rejetée au seuil de 0,1 % (valeur du test de Fischer $F = 44,20$, ce qui est très élevé).

Deux possibilités s'offraient alors à nous :

- soit chercher des relations entre état des houppiers et milieu, sans tenir compte de l'âge,
- soit réduire auparavant cette influence de l'âge avant de faire des analyses

Dans le premier cas, on sait que l'on travaille avec un échantillon fortement biaisé, dans le second, on réduit ce biais mais au prix d'artifices mathématiques discutables en toute rigueur. En effet, modéliser une moyenne résultant d'une variable qualitative et issue d'une notation subjective est loin d'être orthodoxe. C'est pourquoi nous avons décidé de tester les deux méthodes et de choisir celle dont les résultats paraissaient les plus proches de la réalité biologique.

Correction de la note moyenne d'état des houppiers

Pour quantifier l'influence de l'âge, nous avons par une regression linéaire, obtenu l'équation d'une droite donnant la note moyenne de houppier en fonction de l'âge. Cette équation s'écrit ainsi :

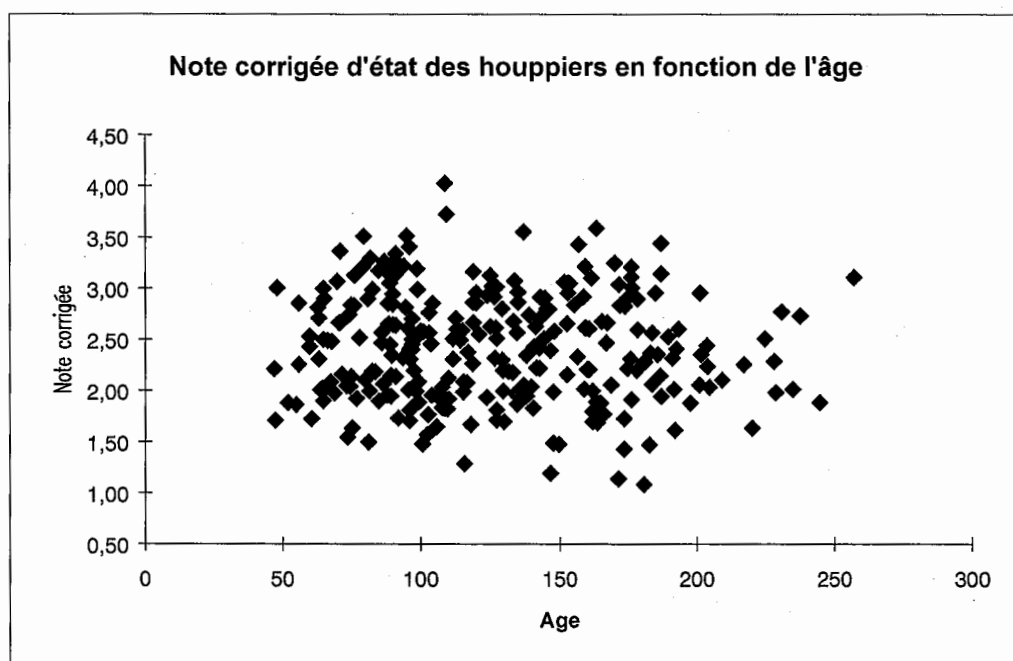
$$\tilde{N} = 0,0068 \times \tilde{A} + 1,47$$

(coefficient de corrélation $R = 0,4859$
coefficient de détermination $R^2 = 0,2361$)

Ensuite, en fonction de la pente de cette droite, nous avons corrigé la note de houppier par rapport à l'âge moyen de l'ensemble des relevés, en appliquant la formule suivante :

$$\tilde{N} \text{ corrigé} = N + 0,0068 (\text{âge moyen} - \text{âge})$$

Le nuage de points ainsi obtenu est figuré ci-dessous.



Comparaison des analyses sur la note de houppier brute et sur la note corrigée

En règle générale, ce sont les mêmes variables qui apparaissent comme significatives dans les deux séries d'analyse. Les valeurs du seuil de significativité et du test de FISCHER sont simplement meilleures pour la note corrigée, et certaines variables qui n'atteignaient pas le seuil de 0,5 % apparaissent alors comme significatives.

Seules quelques variables ne vont pas dans le même sens : il s'agit des modalités non indépendantes de l'âge des arbres. Par exemple, la modalité altitude > 1700 m, n'est plus considérée comme défavorable. En effet, la moyenne d'âge de ces peuplements étant très élevée, leur note brute était mauvaise, et a été fortement corrigée.

Nous avons donc décidé de retenir la note de houppier corrigée comme indicateur de santé des arbres, et donc comme variable à expliquer dans les analyses.

2 - Les relations milieu - santé des arbres

Comme pour la la croissance en hauteur, nous présentons ici les résultats des analyses de variance par ordre d'influence.

Attention : Plus la note d'état de houppier est élevée, plus l'état sanitaire de la placette est considéré comme mauvais.

Variables climatiques calculées

◆ Grande région climatique

F = 9,22 - P < 0,0001	Effectif	Note de houppier	Test de Duncan
Alpes ligures	82	2,27	A
Alpes intermédiaires humides	76	2,33	A
Sud Dauphiné	45	2,39	A
Alpes internes	21	2,64	B
Préalpes sèches	59	2,73	B

◆ Angle de GAMS

F = 4,04 - P = 0,0033	Effectif	Note de houppier	Test de Duncan
de 56 à 60	57	1,93	A
de 49 à 52	67	2,24	A B
de 52 à 55	76	2,26	A B
plus de 60	46	2,39	B
moins de 49	51	2,58	B

Ces deux facteurs, qui sont très significatifs, mettent en évidence les climats qui ne sont pas favorables au bon état sanitaire des sapinières. Il s'agit d'une part des Alpes internes et d'autre part des Préalpes, où les influences méditerranéennes sont nettement sensibles.

Les autres variables climatiques calculées n'apparaissent pas comme très significativement influentes.

Notons toutefois que les notes d'état des houppiers se dégradent de façon presque parfaitement parallèle à la valeur de la pluviométrie de juillet.

◆ Pluviométrie de juillet

F = 1,97 - P = 0,0836	Effectif	Note de houppier	Test de Duncan
Plus de 60 mm	51	2,06	A
de 54 à 57 mm	48	2,12	A
de 58 à 60 mm	54	2,19	A B
de 51 à 54 mm	47	2,32	A B
de 47 à 50 mm	53	2,40	A B
moins de 47 mm	44	2,53	B

Variables relevées sur le terrain

◆ Nature de la roche

F = 8,28 - P < 0,0001	Effectif	Note de houppier	Test de Duncan
Roche siliceuses dures (granit, grès)	55	2,14	A
Schistes	24	2,30	A B
Marnes et calcaires marneux	79	2,43	A B
Moraines	51	2,47	A B
Calcaires durs	74	2,65	B

◆ Présence d'un horizon de PH < 5,5 à moins de 30 cm de profondeur

F = 7,71 - P = 0,0059	Effectif	Note de houppier	Test de Duncan
Présence d'un horizon acide	37	2,21	A
Absence d'horizon acide	244	2,46	B

◆ pH de l'horizon A

F = 5,42 - P < 0,0001	Effectif	Note de houppier	Test de Duncan
de 5,5 à 5,9	35	2,13	A
moins de 5,5	34	2,22	A
de 6,0 à 6,4	47	2,44	B
de 6,5 à 6,9	68	2,48	B
effervescence à Hcl	38	2,53	B
de 7 à 7,5	50	2,61	B

Ces trois variables ont une signification convergente pour ce qui concerne l'état sanitaire : celui-ci est nettement meilleur sur les roches siliceuses, notamment les roches siliceuses dures. C'est sur ces substrats que l'on peut trouver des horizons acides.

A l'inverse, l'état sanitaire est significativement moins bon sur calcaire dur, ainsi que sur les sols calcaires peu évolués (rendosols, calcosols) carbonatés dès la surface.

◆ Affleurement rocheux

F = 5,50 - P < 0,0045	Effectif	Note de houppier	Test de Duncan
Pas d'affleurement	227	2,38	A
Affleurement présent sur moins de 5 % de la surface	33	2,61	A B
Affleurement sur plus de 5 % de la surface	23	2,67	B

◆ Bilan topographique

F = 3,84 - P < 0,0225	Effectif	Note de houppier	Test de Duncan
Apports > pertes	43	2,23	A
Apports = pertes	199	2,47	B
Apports < pertes	41	2,44	B

◆ Profondeur à partir de laquelle on rencontre plus de 60% d'éléments grossiers

F = 3,47 - P = 0,0087	Effectif	Note de houppier	Test de Duncan
Plus de 60 cm	28	2,27	A
Non atteint sur le profil	78	2,29	A
de 20 à 40 cm	67	2,46	A B
de 40 à 60 cm	70	2,56	B
moins de 20 cm	39	2,52	B

Ces trois variables montrent une nette influence du bilan hydrique stationnel sur la note de houppier. Cette influence est toutefois moindre que la localisation climatique, et la nature du substrat.

◆ Altitude

F = 3,33 - P = 0,0061	Effectif	Note de houppier	Test de Duncan
de 1450 à 1550 m	55	2,28	A
de 1550 à 1700 m	57	2,31	A
de 1350 à 1450 m	49	2,46	A B
plus de 1700 m	38	2,48	A B
de 1200 à 1350 m	52	2,48	A B
moins de 1200 m	32	2,69	B

Bien que le niveau de significativité du test de Fischer ne soit pas très élevé, le test de comparaison des moyennes est lui très significatif, et son résultat très intéressant. On peut résumer cette comparaison de la façon suivante :

La tranche altitudinale optimale pour l'état sanitaire peut être située à une altitude intermédiaire comprise de 1450 à 1700 m. La note d'état des houppiers faiblit mais reste proche de la moyenne au-dessus de 1700 m, et entre 1200 et 1450 m. Elle chute très nettement au-dessous de 1200 m, altitude au-dessous de laquelle le sapin sortirait de son optimum climatique.

Discussion

Les différentes analyses que nous venons de développer nous permettent de repérer quelles variables sont liées à l'état sanitaire des houpriers. Ces variables peuvent être regroupées en fonction de leur convergence pour expliquer la note de houpriers. Trois catégories peuvent être définies :

Les découpages géographiques selon des critères climatiques ou bioclimatiques

Ce groupe de facteur donne les résultats statistiques les plus nets. Toutefois, lorsque l'on descend à un niveau plus analytique (données météorologiques brutes), peu de critères apparaissent nettement. Seule l'intensité du creux estival semble un peu explicative. Le déterminisme climatique de l'état sanitaire n'est donc pas très clair.

Seule, au niveau local, l'altitude donne des résultats relativement nets. Celle-ci n'étant pas un facteur explicatif proprement dit, on peut supposer qu'elle intègre la variation conjointe de la pluviométrie et de la température.

La nature physico chimique du substrat

Là encore, s'il est clair que les substrats issus de roche siliceuse dures influent favorablement sur l'état sanitaire, il est difficile de connaître le déterminisme de cette influence. Est-elle de nature chimique, ou bien ces roches ont-elles un comportement hydrique plus favorable (roches peu filtrantes, laissant facilement circuler l'eau en surface)?

Le bilan hydrique local

Il apparaît que les modalités nettement distinctes (très défavorables ou très favorables) de certaines variables, ainsi que la pierrosité des substrats ont une influence sur l'état sanitaire. Le facteur déterminant est ici la réserve utile du substrat.

Ce groupe de variable montre toutefois des résultats statistiques moins nets que les deux précédents.

Essai de synthèse autécologique

Nous présentons ci-dessous, de façon volontairement simplifiée, les résultats exposés plus haut. Nous incluons dans cette présentation les données corrélées à la présence ou non de sapinière dans cette région.

Facteurs écologiques influant sur :

♦ La REPARTITION des sapinières

Sapinières absentes	Sapinières peu fréquentes	Sapinières fréquentes
• Pluviométrie de juillet < 43 mm (sauf si pluviométrie annuelle > 1050 mm)	Alpes internes	Pluie de juillet > 54 mm
• Expositions autres que secteur nord si altitude < 1500 m • Exposition nord et altitude < 800 m	Expositions autres que secteur nord	Exposition plein nord
• Altitude > 2000 m	Moins de 1000 m d'altitude Plus de 1800 m d'altitude	Altitude comprise entre 1300 et 1600 m

♦ LA CROISSANCE EN HAUTEUR du sapin

		Défavorables	Favorables
CLIMAT (bilan hydrique mésoclimatique)	Valeurs discriminantes	• Pluie de juillet < 51 mm • Altitude > 1700 m • Angle de GAMS > 60°	• Pluie de juillet ≥ 60 mm
	Région climatique	• Alpes internes • Préalpes marno-calcaires • Haut-Estéron	• Roya-Vésubie-Moyenne Tinée • Embrunais - Bassin de Seyne
BILAN hydrique local		• Topographie défavorable • Profondeur facilement prospectable inférieure à 40 cm • Sols très caillouteux (> 60 %) avant 40 cm	• Topographie favorable • Sols non caillouteux (< 10 %) jusqu'à 35 cm

♦ L'ETAT SANITAIRE des sapins

	Défavorables	Favorables
CLIMAT	Altitude < 1200 m	
	Pluie de juillet < 47 mm	Pluie de juillet ≥ 54 mm
	Préalpes marno-calcaires	Sud Dauphiné, Ecrins, Embrunais, Bassin de Seyne, Roya-Vésubie-Moyenne Tinée
Nature du substrat	Calcaires durs sols carbonatés	Roches siliceuses dures Sols acides
Bilan hydrique local	Affleurements rocheux	Topographie favorable Sols peu pierreux

Prépondérance des facteurs climatiques

La comparaison de ces trois tableaux montre à quel point le climat est l'élément prépondérant pour expliquer l'autécologie du sapin.

L'influence de l'intensité du creux estival est particulièrement démonstrative à cet égard. On voit comment le creux estival peut provoquer un fléchissement de la croissance. S'il devient plus important, c'est l'état sanitaire qui s'en ressent. Enfin, en dessous d'un certain seuil, le sapin devient sporadique et ne peut plus constituer l'essence dominante d'un peuplement. C'est certainement l'une des principales raisons pour laquelle les Alpes internes, les Préalpes marno-calcaires et le Haut Esteron, apparaissent comme des régions où le sapin, s'il est présent, n'est pas pour autant situé dans son optimum climatique.

Le deuxième élément important est la température. Si celle-ci est élevée, le bilan énergétique est favorable à la croissance (saison de végétation longue). Mais parallèlement, l'évapotranspiration potentielle (ETP) augmente, jusqu'à provoquer un déficit hydrique ayant des conséquences physiologiques. C'est pourquoi, à basse altitude, la croissance est peu affectée, mais l'état sanitaire souvent mauvais. A l'inverse, à altitude élevée, le bilan énergétique est défavorable au sapin, mais il n'y a pas de déficit hydrique. Les arbres sont donc en bonne santé, mais poussent très lentement.

La pluviométrie estivale et la température expliquent en grande partie la répartition et le comportement du sapin dans la région, à la fois sur le plan géographique (région climatique) mais également, dans une région donnée, sur les versants (altitude, exposition).

Les trois facteurs, **région, altitude, exposition, constituent le compartimentage initial** indispensable à l'approfondissement aux études de l'autécologie du sapin et des types de stations sous sapinière.

Nous pouvons ainsi dès à présent situer les seuils climatiques importants pour le Sapin. **Ces seuils climatiques nous permettront de spatialiser l'extension potentielle de la sapinière dans la Région.**

Importance du bilan hydrique local

A l'intérieur d'un compartiment climatique, croissance et santé du sapin vont être conditionnés par le bilan hydrique local, dont les composantes nécessaires et suffisantes vont être données par :

- la position topographique
- la profondeur facilement utilisable par les racines (profondeur de l'horizon C)
- la pierrosité du matériau prospectable

Il faut simplement noter que la croissance en hauteur est affectée plus facilement par les variations de ces facteurs : les conditions doivent être particulièrement défavorables pour que l'état sanitaire se détériore (du moins pour être perceptible par la méthode de notation utilisée).

Influence de la nature de la roche sur l'état sanitaire

S'il est vrai que l'état sanitaire est nettement meilleur sur roche siliceuse dure, et sols à tendance acide, nous n'avons pas su identifier avec certitude le facteur déterminant de cette préférence.

En effet, deux possibilités subsistent :

- soit les milieux siliceux sont plus favorables au sapin pour des raisons physiques ou chimiques.
- soit les milieux siliceux, qui ne sont présents sur la région que dans des conditions climatiques favorables (altitudes > 1200 m, régions climatiques pluvieuses), sont simplement corrélés au bon état sanitaire, mais non déterminants pour celui-ci.

La présence de Gui du Sapin

1 - Notation et importance

En même temps que l'appréciation de l'état sanitaire des houppiers, nous avons noté les atteintes par le gui, de façon très simple (présence ou absence de gui quelle que soit l'intensité de l'infestation).

Chaque relevé possède donc une note pouvant aller de 0 à 10 (c'est-à-dire de 0 à 10 arbres parasités sur 10 observés).

En fait, il s'avère que la grande majorité des sapinières n'est pas attaquée, puisque seulement 56 relevés sur 297 sont atteints (soit 19 %).

L'intensité de l'infestation peut être traduite par le nombre d'arbres attaqués. En effet, quand plus de la moitié des arbres sont atteints, les dégâts provoqués par le parasite sont déjà importants. La sapinière constitue alors un foyer de propagation du gui. 32 relevés étaient dans ce cas là (11 %).

Nous avons donc recherché si certains facteurs du milieu pouvaient être prédisposants à la présence de ce parasite.

2 - Relations milieu - présence du gui

Pour mettre en relation la présence du gui et les facteurs du milieu, nous avons utilisé la méthode des profils indicés. Ce test, plutôt utilisé auparavant en floristique (DAGET, GODRON, 1982 - LADIER, BOISSEAU, 1993), nous a permis de savoir si la fréquence du parasitage par le gui observée pour chaque classe du facteur considéré, est significativement différente de la fréquence attendue.

Les résultats de ce test apparaissent symbolisés par des signes + ou -, plus ou moins nombreux selon le seuil de significativité du test, de la manière suivante :

Seuil de la significativité	Gui plus fréquent qu'attendu	Gui plus rare qu'attendu
0,1%	+++	---
1 %	++	--
5 %	+	-
10 %	p	n
> 10 % (non significatif)	0	0
effectif insuffisant	•	•

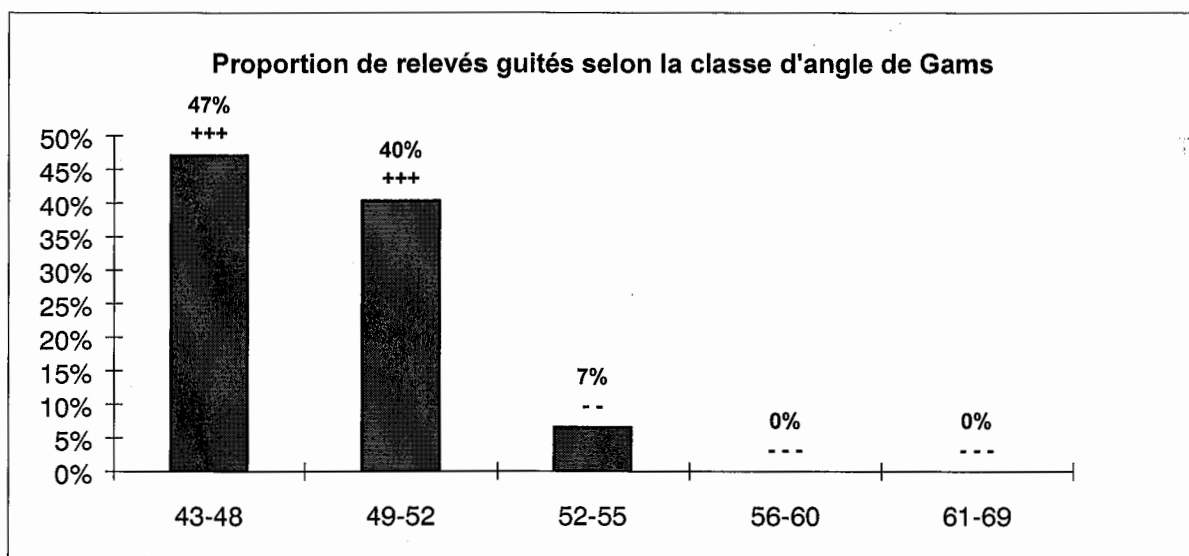
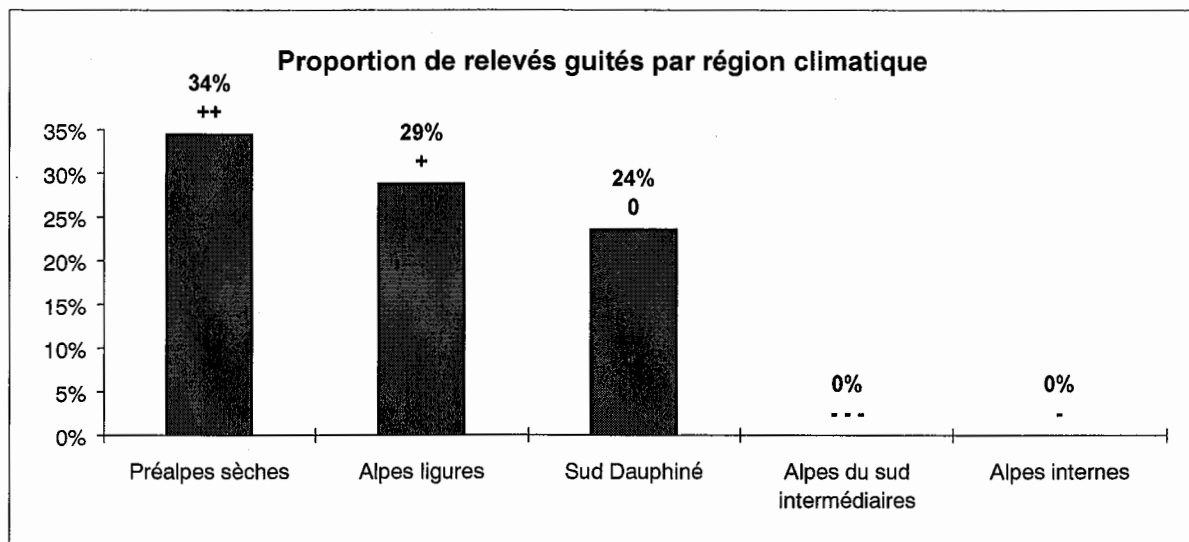
Nous présentons ci-dessous les variables pour lesquelles le test s'est révélé hautement significatif.

Le résultat est présenté sous forme d'histogrammes représentant la proportion de relevés touchés par le gui dans chaque classe de la variable. Le résultat du test statistique figure au-dessus de chaque barre d'histogramme.

Remarque : l'effectif de la classe du descripteur écologique influe beaucoup sur la significativité du test. Plus la fréquence d'une classe est élevée, plus le test statistique a de valeur.

◆ Importance de la situation géographique

Les facteurs climatiques qui se sont révélés très corrélés sont ceux liés à la répartition géographique des relevés : grande région climatique, zone pluviométrique, continentalité (exprimée par l'angle de Gams)

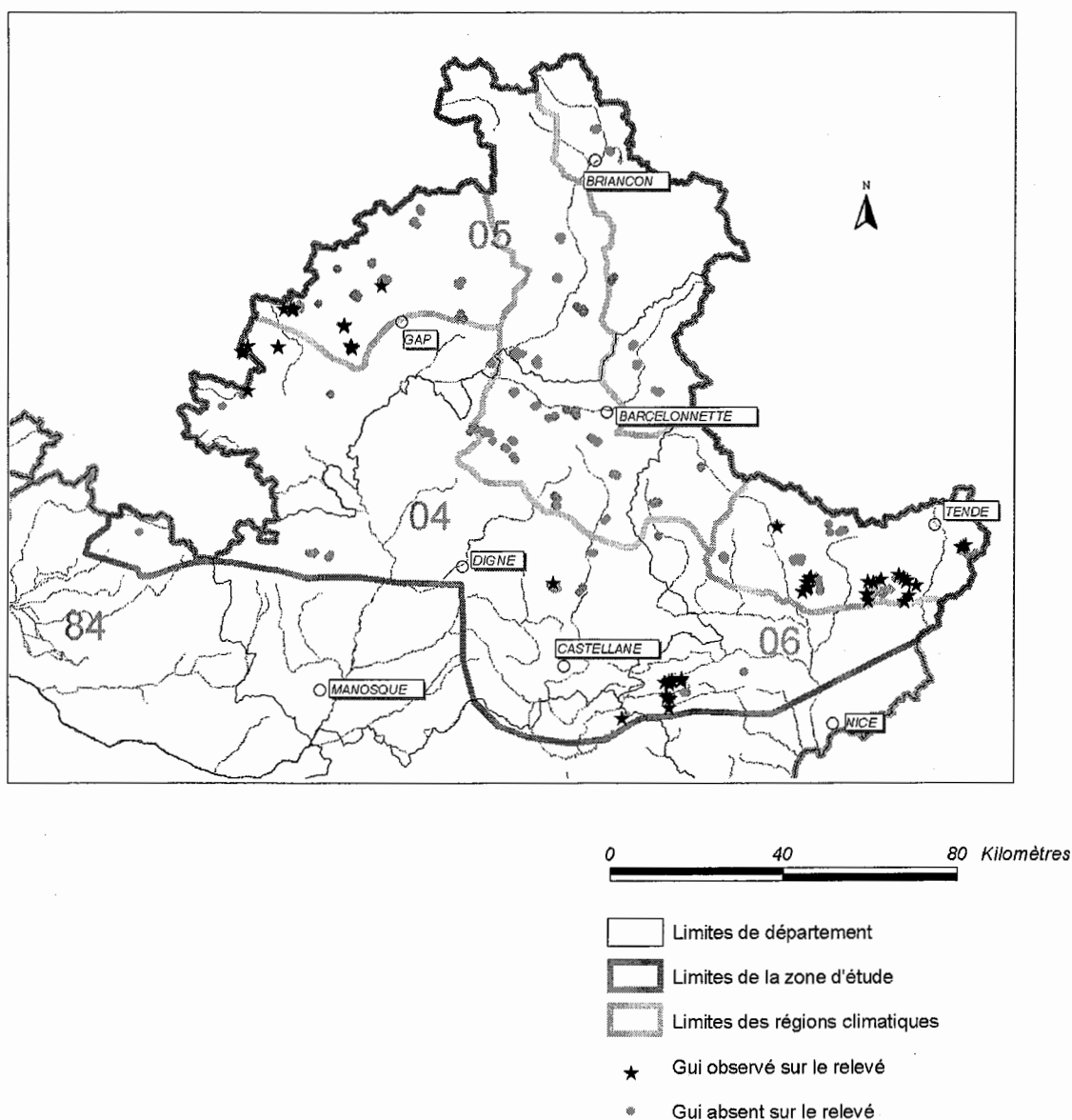


Cette série de graphes montre que, dans la région PACA, les sapinières touchées par le gui sont situées sur les parties les plus externes de l'aire du Sapin (angles de GAMS inférieurs à 52°).

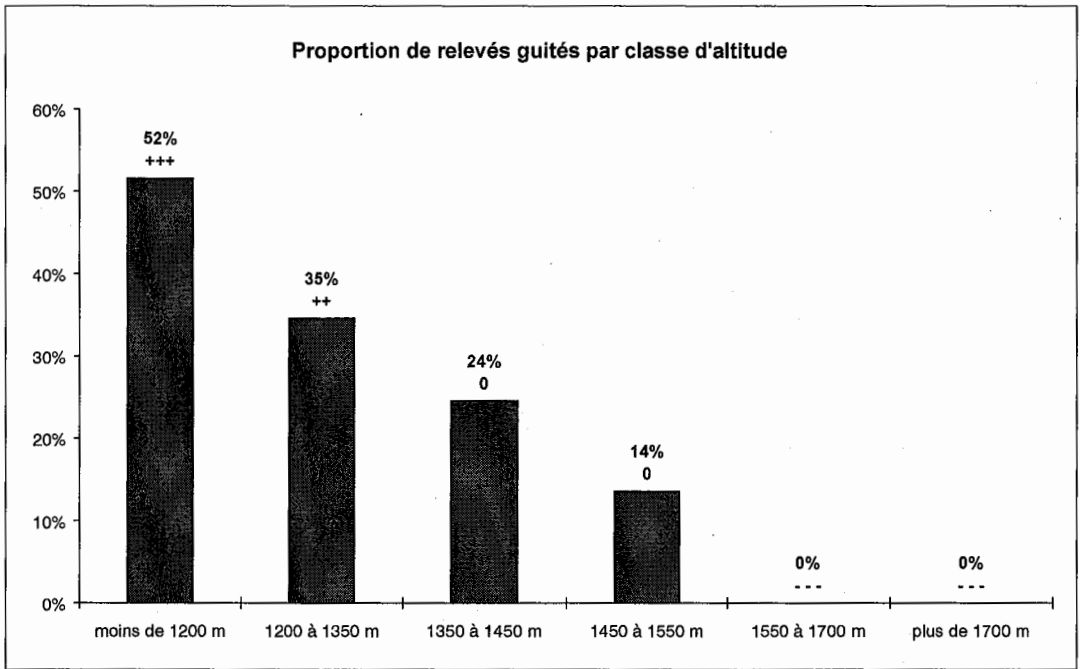
La carte suivante montre que trois foyers principaux peuvent être localisés : le sud Mercantour, le haut Esteron, et le piémont sud du Devoluy.

On voit que des zones bien arrosées (sud Dauphiné, Mercantour), peuvent être aussi touchées que des zones à priori plus sèches (Préalpes marno calcaires).

Situation des relevés touchés par le Gui du Sapin dans la zone d'étude



◆ Importance de l'altitude



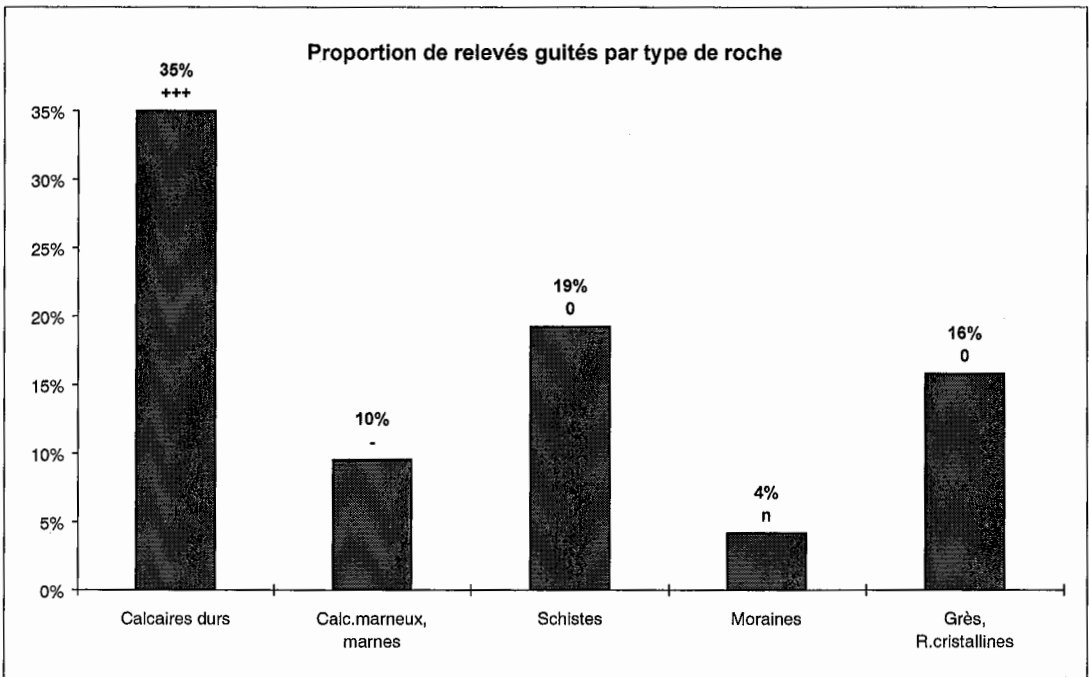
On voit que l'altitude a une très forte influence sur les attaques.

Cette importance est soulignée encore plus si l'on considère le nombre d'arbres touchés (reflétant la gravité de l'infestation).

A moins de 1400 m, plus de la moitié des relevés où le gui a été observé présente au moins 2 arbres touchés sur 10. Au-dessus de cette altitude, il n'y a majoritairement pas plus de 3 arbres touchés sur 10.

L'altitude maximale où le gui a été observé (deux arbres touchés sur 10) est 1530 m.

◆ Autres facteurs



Les calcaires durs semblent constituer un élément prédisposant (substrats très filtrants). Cela pourrait expliquer en partie la grande quantité de relevés touchés dans la région de l'Esteron, constituée de calcaires compacts, alors que les

Préalpes marno-calcaires sont moins touchées (substrats plus marneux, moins filtrants).

Par ailleurs, les zones à **présence d'affleurement rocheux** sont significativement plus touchées. Là encore, cette occurrence ne concerne pratiquement que l'Esteron.

Discussion

La combinaison de deux facteurs, situation géographique et altitude, suffit à expliquer l'essentiel de la localisation du gui dans les sapinières (cette tendance peut être aggravée dans une faible mesure par des conditions défavorables de niveau hydrique).

Nous ne sommes pas en mesure de discerner si l'influence de ces facteurs porte sur la biologie du parasite lui-même, ou bien sur le comportement de ses vecteurs (les grives notamment).

Mais qu'elle qu'en soit la cause initiale, le risque de parasitage par le gui ne doit pas être sans conséquence sur la gestion forestière. Les chiffres suivants peuvent en donner une idée :

Dans les Alpes ligures, près des trois quart des sapinières situées en dessous de 1200 m d'altitude sont touchées par le gui, et encore la moitié entre 1200 et 1350 m.

De même, dans le Haut Esteron, les trois quart des Sapinières sont touchées jusqu'à 1350 m.

La combinaison de deux facteurs, situation géographique et altitude, suffit à expliquer l'essentiel de la localisation du gui dans les sapinières.

En conséquence, la **présence quasi constante de gui dans les sapinières de basse altitude des régions des Alpes ligures et des Préalpes sèches** doit amener le gestionnaire forestier à adopter des règles sylvicoles adaptées. Elles devront tendre à éviter que ce parasite ne provoque des dégâts pouvant aller jusqu'au dépérissement des arbres, mais aussi ne constitue des foyers de propagation. L'abaissement de l'âge d'exploitabilité pourrait être une de ces règles.

Quatrième partie

Typologie des stations sous sapinière Possibilités d'extension du Sapin

Etablissement du catalogue des stations

1 - Partition de la zone d'étude

Dans tout ce qui précède, quel que soit le caractère étudié, la situation géographique du relevé s'est toujours révélé l'un des principaux, sinon le principal facteur explicatif tant du tapis végétal que de l'autécologie du sapin.

Or nous souhaitons un degré de précision pour la typologie qui nous permette de mettre en évidence les variations du milieu à l'échelle d'un massif forestier. Cela n'est possible qu'à l'intérieur d'une région d'une certaine homogénéité climatique, pour que l'effet des facteurs locaux ne soit pas masqué par celui des macro facteurs régionaux.

Nous avons donc adopté comme cadre d'étude la partition en cinq régions climatiques, telles qu'elles ont été définies en confrontant les groupes de relevés issus de l'AFC avec les données climatiques.

Les relevés de chaque région climatique ont été étudiés de façon spécifique.

La conséquence pratique en est l'élaboration d'un catalogue des stations sous sapinière pour chacune des régions climatiques définies.

Toutefois, nous avons conservé, pour l'ensemble de la zone d'étude, les groupes floristiques tels qu'ils ont été définis dans la deuxième partie.

En effet la signification des groupes d'espèces nous paraît plus solide si elle s'appuie sur un grand nombre de relevés. Simplement, un certain nombre d'espèces seront rares ou absentes dans certaines régions, et n'entreront donc pas dans la définition des stations. Par ailleurs, lors de tests de cartographie des stations, nous avons pu vérifier la validité de ces groupes floristiques sur l'ensemble de la zone d'étude

2 - Méthode de structuration

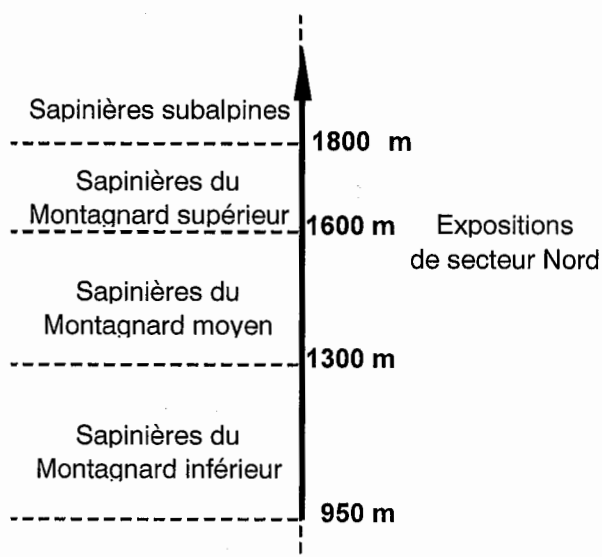
Classiquement, les relevés sont ordonnés sur un tableau en fonction de leur composition floristique.

Conformément aux résultats de l'AFC, le gradient principal est l'altitude.

Le premier niveau de structuration est donc toujours l'étage bioclimatique.

En ubac, ces limites peuvent être définies approximativement ainsi

Etages bioclimatiques pour les sapinières des Alpes du sud et leurs limites en ubac



Selon la région, les limites peuvent légèrement varier. Par exemple, dans le sud Dauphiné, où les températures moyennes annuelles sont plus basses à altitude égale, les espèces subalpines apparaissent dès 1700 m, et parfois plus bas.

A l'intérieur d'un étage donné, les relevés sont ordonnés en fonction du niveau hydrique révélé par les espèces végétales.

Cependant, si au sein d'une région il existe des substrats siliceux, l'opposition espèces acidiclinales - espèces calcicoles va rendre souvent peu lisible les variations de niveau hydrique.

Dans ce cas, la séparation **substrats siliceux** - **substrats calcaires** va constituer le **deuxième niveau de structuration**.

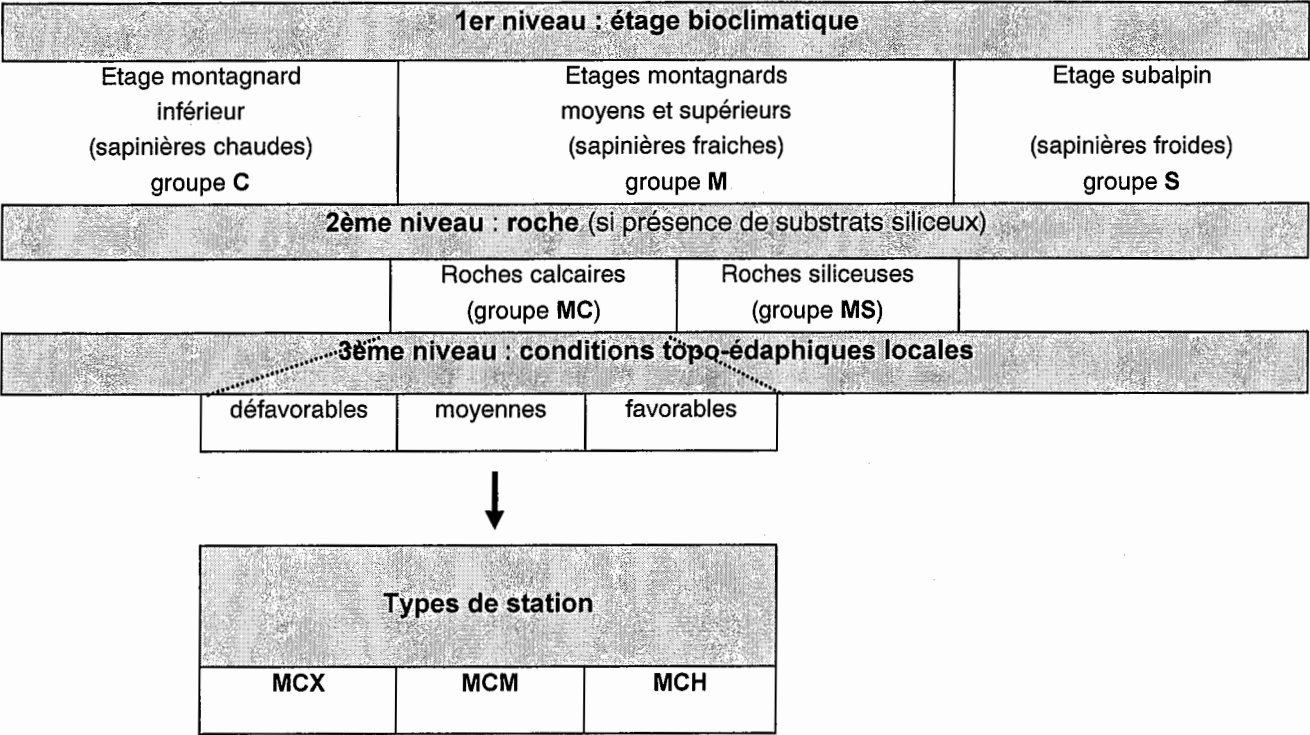
Le **troisième et dernier niveau de structuration** sera alors le **bilan hydrique local**. Ce sont en premier lieu les espèces végétales qui vont définir la station sur le plan hydrique. Mais certains types de peuplements ne possèdent pas les espèces pouvant révéler leur niveau hydrique. Il s'agit notamment des peuplements denses, peu éclaircis (peuplements d'âge inférieur à 90 ans, ou n'étant jamais parcourus par des coupes).

Il peut s'agir également de sapinières d'installation récente à l'échelle du massif. La dynamique végétale n'est pas encore parvenue à un stade de maturité suffisant pour que la plupart des espèces indicatrices soient représentées. C'est surtout vrai pour les espèces hygrosclaphiles (exemple : sapinières de St Vincent les Forts et du bassin de Seyne-les-Alpes).

Ce sont alors les caractères physiques (topographie, pierrosité, épaisseur prospectable) qui ont permis de raccrocher ces relevés aux groupes correspondants, définis préalablement par la flore.

En résumé, pour chacune des grandes régions climatiques, le tableau floristique est structuré de la manière suivante, selon une approche par échelles successives emboîtées.

REGION CLIMATIQUE



Chaque compartiment est ainsi considéré séparément des autres, même si des regroupements peuvent avoir lieu en fin de compte (exemple : stations neutrohygroclines de potentialité et de composition floristique semblables sur calcaire et sur silice)

Certains compartiments ne sont pas également subdivisés. Si les sapinières y sont peu représentées, la typologie sera plus simple, et plus sommaire. En règle générale, on trouvera tous les niveaux de structuration dans l'étage correspondant à l'optimum bioclimatique de la sapinière (montagnard moyen et supérieur) où l'on retrouve l'essentiel des surfaces en sapinière.

3 - Liaisons stations - production et stations - état sanitaire

Rappelons que nous disposons de mesures dendrométriques pour les trois quart des relevés, et d'observations de l'état des houppiers sur la quasi totalité.

Cela nous a permis, au fur et à mesure de l'ordonnement des tableaux, de vérifier la validité des types de station définis.

Les indices de fertilité et d'état sanitaire nous ont aidé à choisir le critère le plus pertinent pour déterminer les stations, et plus encore pour définir des seuils entre deux types voisins.

En règle générale, nous savons qu'il est dangereux d'orienter la définition des types selon les critères d'une seule essence. Cependant, s'agissant de sapinières de montagne, il est hautement improbable que le choix d'une autre essence soit fait. C'est pourquoi cette orientation nous a semblé plus fonctionnelle qu'une définition *a priori*.

Les types de station sont définis selon des critères floristiques et parfois géomorphologiques. Mais une certaine homogénéité vis à vis des potentialités du sapin a été recherchée, ce qui a pu orienter le choix de tel ou tel critère de discrimination.

Au final, pour chacune des cinq régions climatiques, **les types de station sont définis par**

- **l'étage bioclimatique**
- **la nature calcaire ou siliceuse du matériau parental**
- **le niveau hydrique local** identifié par l'ensemble flore / topographie

Pour chacun des types de station ainsi définis, nous donnons :

- un indice de fertilité moyen**, permettant de situer la productivité de la station
- une estimation de l'état sanitaire** d'après ce qui a été généralement observé sur les relevés du type
- un risque d'infestation par le gui du Sapin.**

Ces résultats seront développés dans quatre catalogues de stations pour quatre des cinq régions climatiques.

Pour ce qui concerne les Alpes internes, la faible surface concernée, et donc le peu d'observation dont nous disposons, ne nous permettra pas de réaliser un catalogue sous sapinière.

Nous incluerons les résultats obtenus sur cette région dans un document qui concernera surtout les mélèzeins. Une station sous sapinière pourra être rattachée à un type figurant à ce catalogue.

Les tableaux suivants présentent sommairement les résultats obtenus.

Sud Dauphiné (région D)

Etage bioclimatique									
Sapinières "chaudes" I (montagnard inférieur)		Sapinières "fraiches" M (montagnard moyen et supérieur)						Sapinières "froides" S (subalpin)	
Conditions topo-édaphiques locales									
tous substrats		sur substrat calcaire				sur substrat siliceux		tous substrats	
défavorables à moyennes	favorables	Cas partic. : Plateau du Dévoluy	C			S		quelconques	
			défavorables	moyennes	favorables	moyennes	défavorables		
			Calcaricole à calcicole		Neutrophile	Acidicline à acidiphile		Calcicole à acidicline	Acidiphile
Types de station									
DIX	DIH	DMCD	DMCX	DMCM	DMNH	DMSM	DMSX	DSN	DSS
Croissance faible	Croissance moyenne	Croissance très faible	Croissance faible à moyenne		Croissance moyenne à forte	Croissance moyenne à faible		Croissance très faible	
Etat sanitaire médiocre		Bon état sanitaire	Mauvais état sanitaire	Etat sanitaire moyen	Bon état sanitaire	Bon état sanitaire		Etat sanitaire moyen	
Très forts risques d'infestation par le gui		Risque d'infestation par le gui très faible	Très forts risques d'infestation par le gui à moins de 1500 m		Risques assez forts d'infestation par le gui	Faibles risques d'infestation par le gui		Risque d'infestation par le gui nul	
		Végétation proche des sapinières subalpines	Faible importance spatiale			Faible importance spatiale			

Alpes intermédiaires humides (région M)

Etage bioclimatique									
Sapinières "chaudes" I (montagnard inférieur)		Sapinières "fraiches" M (montagnard moyen et supérieur)					Sapinières "froides" S (subalpin)		
Conditions topo-édaphiques locales									
tous substrats		Sur calcaire C			Sur silice S		tous substrats		
défavorables à moyennes	favorables	défavorables	moyennes	favorables	très favorables	moyennes à défavorables	quelconques		
		Calcaricole à calcicole			neutrophile	acidicline à acidiphile	calcicole à acidicline	acidiphile	
Types de station									
MIM	MIH	MMCX	MMCM	MMCH	MMNH	MMSM	MSN	MSS	
Croissance faible à moyenne	Croissance forte	Croissance faible à moyenne	Croissance moyenne	croissance forte	Croissance très forte	?	Croissances faibles		
Etat sanitaire médiocre	Etat sanitaire moyen	Etat sanitaire moyen	Etat sanitaire moyen	Etat sanitaire bon	Etat sanitaire excellent	?	Etat sanitaire moyen		
Risques d'infestation par le Gui faibles (aucune attaque observée)									
		Faible importance spatiale	◀ ▶ regroupement possible		Substrats siliceux rares sur la zone				

Alpes ligures (région L)

Eta e bioclimatique												
Sapinières "chaudes" I (montagnard inférieur)				Sapinières "fraîches" M (montagnard moyen et supérieur)				Sapinières "froides" S (subalpin)				
Conditions topo-édaphiques locales												
Tous substrats			Sur substrat calcaire -C		Sur substrat siliceux -S		Tous substrats					
défavorables	moyennes	favorables	défavorables	moyennes à favorables	favorables à très favorables	moyennes à défavorables	quelconques					
			Calcaricole	Calcicole à neutrophile	Neutrophile à acidophile	Acidophile	Neutroacidi- ciline	Acidophile				
Types de station												
LIX		LIM	LIH		LMCX	LMCH	LMSH		LMSX	LSNC	LSS	
Sous type a : Topo défavorable	Sous type b : Exposition chaude		Sous type a : Sols profonds peu caillouteux	Sous type b : Bas de versant confiné			Sous type m : Montagn. moyen	Sous type s : Montagn. supérieur				
Croissances faibles à moyenne		Croissances fortes	Croissances très fortes		Croissances moyennes	Croissances fortes à très fortes		Croissances moyennes	Croissances faibles			
Etat sanitaire mauvais		Etat sanitaire médiocre à correct			Etat sanitaire moyen	Etat sanitaire excellent		Etat sanitaire moyen	Bon état sanitaire			
Très forts risques d'infestation par le gui Les sapinières des altitudes les plus basses sont les plus gravement touchées					Risques d'infestation par le gui faibles, devenant nuis au-dessus de 1500 m (sauf expositions chaudes)					Risques d'infestation par le gui nuis		

Exemple de clef de détermination des types de station forestière sous sapinière : Les Alpes ligures

0 - détermination de l'étage bioclimatique

- | | |
|---|-------------|
| ▶ . Altitude < 1200 m | ▶ roupe L I |
| ▶ . Buis ou Erable à feuilles d'Obier recouvrant plus de 25 % de la surface | ▶ roupe L I |
| ▶ . Au moins 3 espèces du groupe 1.1
ou 3 espèces du groupe 2.1
(généralement jusqu'à 1300 m en ubac, et jusqu'à 1600 m en exposition chaude) | ▶ roupe L I |
| ▶ . Altitude > 1800 m | ▶ roupe L S |
| ▶ . Autres cas
(généralement de 1300 à 1800 m en ubac) | ▶ roupe L M |

I - groupe LI : étage montagnard inférieur (sapinières "chaudes")

- | | |
|--|--------------------|
| ▶ . Position topographique nettement convexe | ▶ LIX sous -type a |
| ▶ . Exposition sud ou intermédiaire non confinée (de 85 à 275°) | ▶ LIX sous-type b |
| ▶ . Bas de versant confiné (toutes expositions) | ▶ LIH sous-type b |
| ▶ . Au moins 3 espèces du groupe 8
(sols profonds, peu caillouteux) | ▶ LIH sous-type a |
| ▶ . Autres cas | ▶ LIM |

II - groupe LM : étages montagnards moyen et supérieur (sapinières "fraîches")

- | | |
|---|---------|
| ▶ . Substrat calcaire | |
| ▶ . Concavité, replat
ou au moins 3 espèces du groupe 8 | ▶ LMCH |
| ▶ . Autres cas
(Seslerie abondante et groupe 8 peu ou pas représenté) | ▶ LMCX |
| ▶ . Substrat siliceux | |
| ▶ . Myrtille recouvrant au moins 5 % de la surface
et au moins 2 autres espèces du groupe 10 | |
| ▶ . Moins de 2 espèces du groupe 8.2 | ▶ LMSX |
| ▶ . Au moins 2 espèces du groupe 8.2 | |
| ▶ . Altitude < 1600 m | ▶ LMSHm |
| ▶ . Altitude > 1600 m | ▶ LMSHs |
| ▶ . Myrtille recouvrant moins de 5 % de la surface | |
| ▶ . Altitude < 1600 m | ▶ LMSHm |
| ▶ . Altitude > 1600 m | ▶ LMSHs |

III - Groupe LS : étage subalpin (sapinières "froides")

- | | |
|---|--------|
| ▶ . <i>Festuca flavescens</i> très abondante
(> 25 % de la surface)
et myrtille fréquente ou abondante | ▶ LSS |
| ▶ . <i>Festuca flavescens</i> et / ou myrtille
simplement fréquentes | ▶ LSNC |

Possibilités d'extension du Sapin

La réponse à cette question a été l'une des principales motivations de l'étude.

La problématique principale consistait à y répondre sans l'aide du tapis végétal.

En effet, deux options s'offraient à nous :

- soit reconstituer l'ensemble des chaînes dynamiques possibles ; cela nous aurait alors posé des problèmes de faisabilité aussi bien méthodologique que pratique (ampleur de l'éventail des phases à envisager).
- soit, à chacune des étapes de l'étude, identifier des éléments de réponse de type abiotique. Ceux-ci pouvaient d'ailleurs être issus de la flore. C'est pourquoi nous avons systématiquement cherché à relier les caractères floristiques à des critères physiques du milieu.

Pour connaître les limites écologiques de l'extension potentielle du sapin, nous avons trouvé des éléments de réponse de type abiotique dans :

- la **situation** des sapinières actuelles
- l'étude de l'**autécologie** du sapin
- les liaisons entre types de **station et production** et types de **station et état sanitaire**.

Nous savons donc :

- au delà de quelles limites climatiques (mésoclimat, altitude, exposition) on ne trouve pas de sapinières (même si des arbres isolés peuvent être rencontrés)

Mais nous savons en outre :

- pour ces mêmes facteurs climatiques, quelles sont les modalités optimales pour le Sapin, ou à l'inverse, quelles en sont les valeurs qui se révèlent limitantes.
- quels sont les critères édaphiques et topographiques qui influent sur la croissance et l'état sanitaire.

A l'aide de ces éléments, nous avons élaboré des **clefs de détermination**, permettant d'estimer l'avenir d'une régénération de sapin sous un peuplement d'une autre essence.

Ces clefs permettent d'aboutir à une prédiction du comportement du Sapin permettant des choix sylvicoles tels que ceux-ci :

- Exclusion du Sapin comme essence principale
- Choix du Sapin sans objectif de production
- Choix du Sapin avec objectif de production

Ces clefs font appel à des critères moins fins que les clefs de détermination des stations. Elles présentent en effet des critères de seuils (altitude et exposition) très systématiques (la flore n'intervenant pas pour moduler ces limites). Par ailleurs, à partir d'un certain degré de précision, nous n'avons plus assez de critères physiques pour aller plus finement dans la prédiction. Le résultat peut agglomérer alors deux ou trois types de station. Enfin, ces clefs sont conçues pour apprécier la potentialité de la station vis-à-vis du Sapin. Cela veut dire qu'elles pourront regrouper des milieux très différents si ceux-ci sont susceptibles de donner des peuplements équivalents. Ces outils ne doivent donc pas être utilisés pour réaliser des cartes des stations *sensu-stricto*.

Pour illustrer ce travail, nous présentons, à titre d'exemple, la clef de détermination valide pour la région des Alpes intermédiaires humides. Cette clef permet d'identifier cinq situations possibles.

Exemple d'outil de détermination des possibilités d'extension du Sapin :

Le cas des Alpes intermédiaires humides

En fonction de l'exposition, de l'altitude, du substrat et de la topographie, la clef ci-contre permet d'estimer l'avenir d'une régénération de sapin sous un peuplement d'une autre essence, à partir du comportement de sapinières existantes dans des conditions analogues. Le cheminement dans cette clef permet d'aboutir à l'une des cinq possibilités déclinées ci-dessous.

◆ 0 - Absence de référence en conditions climatiques défavorables

Aucune sapinière adulte n'a été trouvée dans ces conditions. Il est donc prudent d'en exclure le Sapin comme essence principale. Il peut éventuellement être conservé en tant qu'accompagnement.

◆ 1 - Mauvais état sanitaire - production faible à moyenne

La sapinière peut s'installer de façon pérenne mais sera soumise à de fortes contraintes hydriques, limitant ainsi la durée de survie et la croissance des arbres.

◆ 2 - Risque de mauvais état sanitaire - production élevée

Situations soumises à de forts aléas climatiques (chaleur et sécheresse estivale), mais des facteurs topographiques ou édaphiques favorables, ainsi qu'une saison de végétation longue, assurent une forte croissance. Il existe peu de référence de sapinières âgées dans ce cas sur les Alpes intermédiaires humides.

***A propos du Gui du Sapin :** celui-ci est à notre connaissance absent des Alpes intermédiaires humides. Ce parasite, responsable de nombreux dépérissements dans les régions plus externes, trouve des conditions favorables à son expansion dans les sapinières de basse altitude.*

L'extension de la sapinière dans les cas 1 et 2 doit donc être prudente. L'âge d'exploitabilité des arbres devra être bas pour éviter l'installation des foyers de propagation.

◆ 3 - Etat sanitaire moyen - production faible

Le risque de sécheresse climatique étant réduit ou nul, l'état sanitaire des sapins sera correct, mais les conditions ne sont pas favorables à la croissance pour cause de mauvais bilan hydrique (stations sèches des étages montagnards moyen et supérieur) ou énergétique (stations situées dans l'étage subalpin).

◆ 4 - Bon état sanitaire - production moyenne à forte

L'absence de facteurs réellement limitant pour le Sapin, induit pour celui-ci de bonnes conditions de végétation. Ces conditions deviennent optimales en sol évolué sur marnes noires ou moraines (bassin de Seyne, forêts de Crots-Boscodon) et assurent des croissances parmi les plus fortes de la région PACA.

Alpes intermédiaires humides : Potentialités du Sapin

Clef de détermination

I - Les expositions de secteur nord (275 à 85°)

Altitude > 1750 m		3
Altitude de 1300 à 1750 m	• Topographie nettement drainante	3
	• Plus de 50 % d'éléments grossiers à moins de 25 cm, hors concavités et replats	3
	• Autres cas	4
Altitude 1000 à 1300 m	• Bas de versant confiné ou concavité, replat	2
	• Sol profond sur marne noire ou marno calcaire	2
	• Autres cas	1
Altitude < 1000 m	• Altitude 850 à 1000 m	
	• Sol profond sur marne noire ou bas de versant confiné	2
	• Autres cas	0
	• Autres cas	0

II - Les expositions sud et intermédiaires (86 à 274°)

Altitude > 1500 m	• Bas de versant confiné	4
	• Secteur sud (100 à 260°) et pente > 50%	0
	• Autres cas	3
Altitude de 1300 à 1500 m	• Bas de versant confiné	2
	• Exposition intermédiaire (85 à 100° ou 260 à 275°)	1
	• Autres cas	0
Altitude < 1300 m	• Bas de versant confiné entre 1000 et 1300 m	2
	• Autres cas	0

Bibliographie

- **ARCHILOQUE A., BOREL L., DEVAUX J.P.**, 1974. Notice de la carte de végétation des Alpes au 1/50 000e, feuille d'Entrevaux, in Bull. de la carte de végétation de la Provence et des Alpes du Sud.
- **ARCHILOQUE L., BOREL L., LAVAGNE A.**, 1970. Notice de la carte de végétation des Alpes au 1/50 000e, feuille de La Javie, in Bull. de la carte de végétation de la Provence et des Alpes du Sud.
- **AUBERT G., BOREL L., LAVAGNE A., MOUTTE P.**, 1965. Notice de la carte de la végétation des Alpes au 1/50 000e, feuille d'Embrun Est - 1965 - Université de Grenoble.
- **BARBERO M.**, 1970. A propos des Hêtraies des Alpes maritimes et Ligures. Annales de la faculté des Sciences de Marseille, Tome XLIV - p. 43 à 74.
- **BARBERO M.**, 1984. Zonage et caractérisation des principales séries forestières de végétation des Alpes du sud. Problèmes posés par les forêts d'altitude. Documents d'Ecologie Pyrénéenne, III - IV - 8 p - 41- 48.
- **BARBERO M., BONO G.**, 1970. Les sapinières des Alpes maritimes de l'Authion à la Ligurie, et de la Stura au Tanaro, in Veröffentlichungen des geobot. Inst. Zürich 140 à 167.
- **BOISSEAU B., NOUALS D., RIPERT C.**, 1992. Guide technique du forestier méditerranéen français "Stations forestières" - Cemagref Aix-en-Provence.
- **BOISSEAU B.**, 1996. Ecologie du Pin pignon et du Pin brutia : détermination d'un indice de fertilité en fonction du milieu. Rev. For. Fr - XLVIII - 4-1996. pp321-335.
- **BONNASSIEUX D.**, 1998. Catalogue des types de stations forestières sous les mélèzeins dans les Alpes du sud : 2 - l'est Ecrins, l'Embrunais, le haut-Var et le haut-Verdon. ONF - Cellule Régionale d'Appui Technique, 91 p + annexes.
- **BONNIER G.**, 1990. La Grande Flore en couleurs de Gaston Bonnier - Editions BELIN.
- **BRESSET V.**, 1971. Les forêts de Sapin du Boréon, in Riviera scientifique, Fasc. 1, 1971 p. 9 à 22.
- **BRESSET V.**, 1984. Relations entre pédologie, géomorphologie et végétation dans les sapinières oriento-pyrénéennes. Documents d'Ecologie Pyrénéenne III-IV - 6 p. 65 - 70.
- **BRETHES A.**, 1989. La typologie des stations forestières, recommandations méthodologiques - Revue forestière française - XLI-1.
- **CADEL G., GILOT J.C.**, 1963. Notice de la carte de végétation des Alpes au 1/50 000e, feuille de Briançon. Doc. carte de végétation des Alpes I, 91-140.
- **CORCKET E.**, 1996. Diversité des écosystèmes forestiers du Diois, des Baronnies et du Devoluy drômois - Préétude. DEA, Université J. Fourier Grenoble. 33 p.
- **COSTE H.**, 1990. Flore descriptive et illustrée de la France - Librairie scientifique et technique Albert Blanchard - Paris.
- **DAGET Ph., GODRON M.**, 1985. Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés - Masson.
- **DRAPIER J.**, 1985. Les difficultés de régénération naturelle du Sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. Etude écologique, in Revue Forestière Française XXXVII - 1 - 1985 p. 45 à 54.
- **FADY B.**, 1996. Etude de la variabilité génétique des populations d'*Abies alba* en France - INRA - 10 p. + annexes.
- **FOURNIER P.**, 1990. Les Quatre Flores de France - Editions Lechevalier.

- **JABIOL B., BRETHES A., PONGE J.F., TOUTAIN F., BRUN J.J.**, 1995. L'Humus sous toutes ses formes - ENGREF Nancy.
- **LAURENS D.**, 1998. Sylviculture du Sapin pectiné en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport de synthèse. ONF - région PACA. 45 p + annexes
- **LAVAGNE A., ARCHILOQUE A., BOREL L., DEVAUX J.P., MOUTTE P.**, La végétation du Parc Naturel Régional du Queyras. Commentaire de la carte phytocéologique au 1/50 000e, in Revue Biologie-Ecologie méditerranéenne, Tome X n° 3 , p. 175 à 248.
- **MICHALET R. PETETIN A., SOUCHIER B.**, 1995. Catalogue détaillé des stations forestières du Sud Isère. Laboratoire des écosystèmes alpins, Centre de biologie alpine, Université Joseph Fournier, Grenoble.
- **NOUALS D., JAPPIOT M.**, 1996. Les stations forestières des plateaux et monts de Vaucluse et des versants sud des montagnes de Lure et du Ventoux, Cemagref Aix-en-Provence. 272 p.
- **NOUALS D.**, 1997. Possibilités d'extension du Sapin pectiné en Provence Alpes Côte d'Azur - Autécologie du Sapin pectiné et typologie des stations forestières sous sapinière - Rapport intermédiaire. ONF - Cellule Régionale d'Appui Technique, 72 p + annexes.
- **NOUALS D.**, 1998. Le Sapin pectiné dans les préalpes sèches : stations forestières, croissance, état sanitaire, possibilités d'extension. *Forêt méditerranéenne*, t.XIX, n° 2, pp 127-134.
- **OBERLINKELS M., CADEL G., PAUTOU G., LACHET B.**, 1990. Zonation biogéographique des Alpes dauphinoises à partir de l'étude comparative des sapinières à *Abies alba* et des pessières à *Picea abies* - Ann. Sc For. 20 p - 461 - 481.
- **OZENDA P.**, 1985. La végétation de la chaîne alpine - Masson.
- **PANINI T.**, 1999. Etude sur les potentialités forestières des terres agricoles délaissées en Région Provence-Alpes-côte d'Azur - CRPF PACA
- **PIGEON V.**, - Etude stationnelle des forêts de Boscodon et de Crots - ENGREF.
- **PIGEON V.**, 1990. Catalogue des stations forestières des pays du Buëch - ENGREF.
- **RAMEAU J.C.**, 1992. Dynamique de la végétation à l'étage montagnard des Alpes du Sud. Première approche d'une typologie des hêtraies et hêtraies sapinières. Les applications possibles au niveau de la gestion. Revue Forestière Française XLIV - 5 -1992- p. 393 à 412.
- **RAMEAU J.C., MANSION D., DUME G.**, 1993. Flore Forestière Française - Tome 2 - Montagnes. I.D.F.
- **ROCCHIA L.**, 1998. Contribution à la mise au point d'un catalogue de stations forestières sous sapinière en région PACA. Mémoire B.T.S. Gestion forestière
- **ROVELLI E.**, 1994. L'Abete bianco (*Abies alba* Mill.) sul gran Sasso d'Italia : distribuzione, storia, ecologia. Monti e boschi n° 2 1994, p. 22 à 26.
- **SAGNARD F.**, 1997. Structuration de la variabilité écologique, génétique et adaptative du Sapin pectiné dans les Alpes sud-occidentales. DEA. Université d'Aix-Marseille III - INRA Bormes - les - Mimosas. 28 p + annexes.
- **VARESE P.**, 1993. Les types de station forestière et la dynamique de la végétation au bois du chapitre (F.D. de Gap - Chaudun) - ENGREF.

Annexe :

Protocole de terrain et codage de la fiche de relevé



Direction régionale de Provence Alpes Côte d'Azur

Cellule Régionale d'Appui Technique

Actiplus - Z.I. St-Joseph

04100 MANOSQUE

**Typologie des stations forestières des sapinières
de la région PACA**

**Protocole de terrain
et
codage de la fiche de relevé**

I. Choix, taille et forme de la placette

Critères écologiques

Les massifs à prospector sont choisis à la suite d'un plan d'échantillonnage stratifié. A l'intérieur de chaque massif, on réalise un ou plusieurs relevés, selon la taille du massif et sa variabilité supposée. Les critères de choix des placettes sont de trois ordres :

- aspect du peuplement,
- position topographique
- type de station phytoécologique (d'après la prétypologie proposée par J.C. Rameau, in RFF

XLIV - 1992).

Critères dendrométriques

S'agissant de peuplements le plus souvent irréguliers, la loi de EICHHORN n'est en toute rigueur pas applicable. Nous pensons toutefois pouvoir observer des différences significatives d'indices de fertilité selon les milieux, même si les résultats obtenus n'ont qu'une faible valeur prédictive.

Rappelons qu'il ne s'agit pas ici d'étudier la productivité du sapin, mais de distinguer les milieux où sa croissance est correcte à bonne, de ceux où elle est médiocre.

On s'efforcera simplement de se rapprocher dans la mesure du possible des conditions de la loi de EICHHORN, en choisissant des parquets d'aspect régularisé, comprenant au moins 50% de sapins dans l'étage dominant, l'âge de référence pour le calcul de l'indice de fertilité étant fixé à 100 ans. L'âge estimé des sapins devra être compris entre 60 et 140 ans, afin de minimiser les erreurs de calcul de l'indice de fertilité (les erreurs peuvent être dues soit au modèle, soit au phénomène souvent observé de rythmes de croissance actuellement beaucoup plus rapides qu'ils ne l'étaient au début du siècle). Le modèle de croissance utilisé sera bien entendu celui bâti par le département des recherches techniques de l'ONF en 1993 sur la région PACA.

Forme et taille de la placette

La placette sera d'une surface approximative de 600 m², et de forme à peu près circulaire.

Le point central correspondra à peu près à l'emplacement de la fosse pédologique. Le rayon de la placette sera de 14 m environ, et ses limites seront sommairement mesurées au décimètre dans quatre directions à partir du point central.

II Identification

Numéro de relevé

4 chiffres (1 puis n° d'ordre du relevé à trois chiffres).

Code département : 1 : Bouches du Rhône
 2 : Var
 3 : Vaucluse
 4 : Alpes de Hautes-Provence
 5 : hautes Alpes
 6 : Alpes Maritimes

- Date : en clair.

- Auteurs : initiales des personnes ayant réalisé le relevé.

L'emplacement du relevé sera reporté le plus précisément possible sur carte au 1/25 000^e, par une croix suivie du numéro de relevé.

III Localisation

Secteur : Groupe de régions naturelles dont les peuplements de sapins sont apparentés au sens phytogéographique. Le découpage est un hybride des petites régions naturelles Cemagref (RIPERT, NOUALS 1988) et des divisions phytogéographiques observées dans les peuplements de sapins de la région.

- 1 - Turini - Roya (Est Vesubie)
- 2 - Ouest Mercantour (Ouest Vesubie)
- 3 - Préalpes de Grasse, vallée du Var
- 4 - Préalpes sèches intermédiaires
- 5 - Préalpes sèches externes
- 6 - Haut Verdon, Bassin de Seyne
- 7 - Ubaye, Briançonnais, Queyras
- 8 - Bochaine, Piemonts du Champsaur, Embrunnais
- 9 - Dévoluy - Champsaur - Ecrins Ouest.

Coordonnées Lambert III, X et Y notées *a posteriori* au bureau, d'après carte au 1/25 000^e.

IV Caractéristiques stationnelles

Altitude : variable continue, en mètres.

Pente : variable continue, en %.

Distance à la crête : variable continue, codée *a posteriori* d'après carte, en mètres.

Angle écran : variable continue, en %. Pente mesurée depuis la placette par rapport au sommet du versant opposé. S'il n'y a pas de versant susceptible d'intercepter les rayons du soleil, coder 0.

Expo du versant : variable discrète, comprenant 8 modalités, renseignée à l'aide de la carte IGN - Il s'agit de l'orientation dominante du versant.

- 1 - Nord
- 2 - Nord-Est
- 3 - Est
- 4 - Sud-Est
- 5 - Sud
- 6 - Sud-Ouest
- 7 - Ouest
- 8 - Nord-Ouest

Expo placette : variable continue, mesurée en degrés, à la boussole.

Unité paysagère : notée en clair, le plus précisément possible (versant calcaire marneux en pendage inverse, versant gréseux en pente douce etc.). Codé *a posteriori*.

Topographie hectométrique : type de topographie à l'intérieur de l'unité de paysagère.

- 1 - Haut de pente
- 2 - Mi pente
- 3 - Bas de pente
- 4 - Replat sur versant
- 5 - Replat sommital ou collet
- 6 - Croupe sur versant
- 7 - Plateau
- 8 - Tête de vallon
- 9 - Fond et berge de vallon ou de doline.

Topographie stationnelle : forme de la placette à l'intérieur du type topographique : (profil en long ou en travers)

- 1 - Convexe
- 2 - Rectiligne
- 3 - Concave.

Note synthétique de bilan d'eau : note subjective visant à synthétiser les trois variables précédentes sous le seul aspect de l'économie de l'eau. 4 modalités :

- 1 - Apports < pertes
- 2 - Apports $\approx$ pertes
- 3 - Apports > pertes
- 4 - Apports >> pertes

V - Substrat

La partie *pédologie* de la fiche de relevé comprend deux types de notation :

- des variables à saisir comprenant des variables élémentaires ou synthétiques dont toutes les rubriques seront obligatoirement remplies et codées en vue d'être saisies .
- une description du profil, qui comprendra uniquement un schéma annoté et éventuellement des observations. Ces données ne seront pas saisies.

Ouverture de la fosse

La fosse pédo idéale est celle qui permet de décrire un profil depuis l'humus jusqu'à la roche en place, ce qui n'est pas souvent humainement possible avec une pioche. Le compromis sera donc le suivant :

- Obstacle majeur proche de la surface : on cherchera à décrire au mieux "l'obstacle" (forme d'altération, fissuration, compacité etc...).
- Pas d'obstacle majeur : le profil sera décrit sur au moins 50cm ($\Rightarrow$ creuser à 55 cm au moins et décrire une face de la fosse proche de la verticale). Il n'est pas interdit d'aller plus profond!

- Affleurements rocheux : noté en %. Partie de roche non détachée de la roche en place, visible à la surface du sol.

- Affleurements de pierres et blocs détachés de la roche en place :

- 1. Moins de 10% de la surface
- 2. De 10 à 30%
- 3. De 30 à 60%
- 4. Plus de 60% de la surface.

- Substrat géologique (carte), roche (observée), matériau(x) parental(aux) à noter en clair de façon très explicite, regroupement et codage *a posteriori*.

- Type d'humus (propriété à observer : niveau d'activité biologique)

Eumull à amphimull actif	↗carbonaté	1
(structure grumeleuse nette)	↘décarbonaté	2
Mesomull à oligomull moyennement actif (A peu épais,	↗carbonaté	3
(structure grumeleuse fine, ou moyennement développée)	↘décarbonaté	4
Dysmull (horizon F + Str. peu développée) non carbonaté		5
Hemimoder, moder		6
Dysmoder, mor		7

- Epaisseur moyenne de la litière (horizon OLn exclu) notée en cm

Codage des caractères de l'horizon A à moins de 20 cm

- Couleur (Utiliser le code Munsell)

1. Clair (lignes 8 à 4)
2. Sombre (ligne 3, sauf chroma 1 et ligne 2.5 pour chroma >2)
3. Noir ou très sombre (ligne 2.5 et chroma 1 ou 2), ou ligne 3 et chroma 1

- Epaisseur

1. Moins de 5 cm
2. De 5 à 10 cm
3. De 10 à 20 cm
4. Plus de 20 cm

- Texture (classes simplifiées *)

- Structure (classes simplifiées *)

- pH (à noter en clair) Le pH est mesuré directement sur le terrain avec un pHmètre de type HANNA : l'échantillon prélevé est dilué dans une petite quantité d'eau à pH proche de 7.

- Présence d'éléments grossiers calcaires : non → 0, oui → 1 ;

Codage des caractères de l'horizon situé entre 25 et 35 cm (si limite d'horizon dans cette tranche, prendre l'horizon inférieur, sauf si celui-ci est le matériau parental peu altéré).

- Nature du matériau décrit (en clair)

- Texture (classes simplifiées *)

- Structure (classes simplifiées *)

- Charge en éléments grossiers (estimée en % d'après grilles code Munsell)

* : voir page suivante

Notation simplifiée de la texture et de la structure

Classes de texture simplifiées (RU, matériau parental)

1. *S ou SL* - Texture à dominante sableuse et très filtrante
2. *SA ou LS* - Forte proportion de sable, mais moyennement filtrante
3. *La* - Nette dominance des limons (*)
4. *LA, AL* - Equilibrée - Argile et limons en proportion importante, l'un pouvant dominer l'autre (*)
5. *Al, AS, A, AA* - Nette dominance argileuse

* : Sable possible mais en faible proportion

Classes de structure simplifiées (activité biologique, et secondairement, matériau parental)

- 1.- Structure grumeleuse très développée, à gros agrégats très nets et stables
- 2.- Structure grumeleuse très développée à petits agrégats nets, très poreux
- 3.- Structure polyédrique subanguleuse ou grumeleuse nette
- 4.- Structure polyédrique subanguleuse ou grumeleuse peu nette et/ou peu stable
- 5.- Structure polyédrique anguleuse
- 6.- Structure massive ou particulière
- 7.- Structure lithique (héritée de la roche mère)

Notation de la nature des éléments grossiers

(si hétérogénéité, coder la nature dominante ; si pas de dominance nette, coder 9)

- 1.- Calcaire dur
- 2.- Calcaire tendre ou calcaire marneux
- 3.- Dolomie, calcaire dolomitique, grès siliceux à ciment calcaire
- 4.- Silex ou chailles
- 5.- Schistes, micaschistes, gneiss feuilleté tendre
- 6.- Roches cristallines (Granite, gneiss dur, quartz etc...)
- 7.- Grès siliceux
- 8.- Roches éruptives basiques (basaltes, andésites etc...)
- 9.- Autres cas, ou très hétérogène

Codage *a posteriori* de la roche observée

- 1.-Calcaire pur et dur
- 2.-Calcaire dur à impuretés siliceuses
- 3.-Calcaire marneux ou argileux, marno-calcaires à calcaire dominant
- 4.-Marnes, marnes glissées, marno-calcaires à marnes dominantes
- 5.-Calcaires tendres -à impuretés siliceuses,
-Calcaires tendres-à cortex décarbonaté
-Calcschistes
- 6.-Matériau allochtone calcaire épais (colluvions épaisses, grèzes, éboulis)
- 7.-Moraine
- 8.-Schistes, en place ou allochtones
- 9.-Grès siliceux, en place ou allochtone
- 10.-Roches cristallines

Codage *a posteriori* du matériau observé

- 1.-Altérite de calcaire dur
- 2.-Altérite de calcaire argileux
- 3.-Altérite de marne
- 4.-Altérite de roche siliceuse
- 5.-Colluvion calcaire pierreuse
- 6.-Colluvion silico-calcaire pierreuse
- 7.-Colluvion siliceuse pierreuse
- 8.-Colluvion ou altérite épaisse non pierreuse
- 9.-Moraine calcaire ou silico-calcaire
- 10.-Moraine siliceuse

Variables synthétiques

Ces variables sont exprimées en cm, et leurs valeurs correspondent à la profondeur d'apparition ou de disparition d'un critère pédologique important ; ces valeurs sont issues de ce qui vient d'être observé dans la description du profil.

- Profondeur d'observation (profil observé jusqu'à ... cm)
- Profondeur d'apparition d'une réaction à HCL ($\Rightarrow$ à partir de réaction localisée dans l'horizon, ou visible sur grains)
(0 : réaction dès la surface à 99 : aucune réaction sur le profil)
- Profondeur d'acidité
(profondeur jusqu'à laquelle le pH reste inférieur à 5 (0 à 99 cm)
Le test pH n'est réalisé que dans les cas de réaction HCL nulle
- Présence d'un horizon acide à moins de 30 cm (pH<5.5 : non $\rightarrow$ 0, oui $\rightarrow$ 1)
Nota : cette variable est prévue pour le cas des matériaux acides mais dont l'horizon A est enrichi par l'incorporation de la litière.
- Profondeur d'apparition de la roche peu altérée
(marne compacte, blocs jointifs, arène compacte, moraine brute, etc...). Niveau non atteint : 99.
- Profondeur d'apparition d'un horizon comprenant plus de 30 % d'éléments grossiers
(cas non rencontré : 99)
- Profondeur d'apparition d'un horizon comprenant plus de 60 % d'éléments grossiers
(cas non rencontré : 99)
- Nota : pour les deux variables précédentes, on ne tiendra pas compte des éventuels éboulis de surface, pavages dus à l'érosion superficielle etc*
- Profondeur prospectée par les racines
(= profondeur en dessous de laquelle les racines deviennent très peu nombreuses, c'est à dire moins de 1 par dm²)

VI Le peuplement

a) Type de peuplement : 3 modalités prévues :

- 1 - Irrégulier pied à pied
- 2 - Irrégulier par parquets
- 3 - Régulier ou régularisé.

b) Mesures dendrométriques. Choix des arbres à mesurer

Les mesures seront faites sur les 1er, 3e et 5e plus gros arbres de l'étage dominant. Les arbres mal conformés (loups, jumelles, fourchus, cîmes cassées, baïonnettes etc.) seront éliminés. Seront également éliminés les arbres dont l'âge s'éloigne visiblement de l'âge moyen des 5 plus gros arbres mesurés.

L'âge sera estimé par sondage à la tarière de Pressler à 1,30 m.

La hauteur sera mesurée au dendromètre SUUNTO.

Mesure de la hauteur

La mise à distance se fera soit à la mire SUUNTO, soit au décamètre.

Dans le cas de mesure au décamètre, celui-ci sera fixé au tronc de l'arbre à hauteur des yeux de l'opérateur.

On reportera sur la fiche :

- la hauteur apparente de l'arbre (mesure à la cîme + mesure au pied)
- la mesure au pied en indiquant le signe + si cette valeur a été ajoutée, et - si elle a été retranchée à la mesure de la cîme
- la hauteur lue sur le normographe, pour tenir compte des corrections de pente (corriger à l'aide du normographe correspondant à l'appareil utilisé pour la mise à distance)
- l'appareil utilisé pour la mise à distance, ainsi que la distance de mesure.

c) Etat sanitaire

La notation se fera sur 10 arbres bien observables individuellement, choisis dans l'étage dominant ou codominant. On ne tiendra compte que du tiers supérieur du houppier. Chaque arbre observé sera noté selon 5 modalités.

- 1 : Port conique
Bordure du houppier régulière
Pas de perte foliaire (< 5 %)
Peu ou pas d'échancrure dans le houppier
- 2 : Houppier compact, à dominance apicale marquée
Perte foliaire de l'ordre de 25 % maximum
Pas de branche sèche
Houppier pouvant être irrégulier.
- 3 : Houppier présentant des échancrures
Transparence du houppier, pertes foliaires
Cîme "rameuse"
Aiguilles courtes, en écouvillons
Quelques branches sèches
Légère descente de cîme, cîme comprimée.
- 4 : Nette descente de cîme
Houppier étroit dans la partie supérieure (2 formes de houppier)
Forte perte foliaire, houppier transparent
Aiguilles courtes
Port en "sablier"
- 5 : Arbre mort.

Si une cause d'un éventuel problème sanitaire est observable, on la notera en observation.

Parasitage par le gui

On notera sur chaque arbre l'absence (0) ou la présence (1) de gui.

VII La végétation

- Caractère généraux.

Recouvrement en 1/10 des 3 strates arborescente, arbustive, herbacée, et muscinale.

Coefficient d'abondance du sapin aux 3 stades : arbres (> 7 m), arbuste (0,4 à 7 m), semis (< 0,4 m). Celui-ci sera codé comme indiqué ci-dessous.

- Relevé de la végétation.

Une liste d'espèces supposées fréquentes (cf. RAMEAU) figure sur la fiche, avec leur code en 4 lettres.

On notera sur le terrain les coefficients d'abondance dominance de Braun-Blanquet pour ces espèces ainsi que pour celles ne figurant pas sur la liste.

On codera *a posteriori* :

- Le code 4 lettres des espèces ne figurant pas sur la liste,
- Le code numérique (1 à 6) correspondant aux coefficients de Braun-Blanquet (+ à 5) pour toutes les espèces.

Notation de l'abondance-dominance

- + : Individus très peu abondants, recouvrement inférieur à 5%,
- 1 : individus peu abondants à abondants, recouvrement inférieur à 5%,
- 2 : individus abondants à très abondants, recouvrement compris entre 5 et 25%,
- 3 : individus en nombre variable, recouvrement compris entre 25 et 50%,
- 4 : individus en nombre variable, recouvrement compris entre 50 et 75%,
- 5 : individus en nombre variable, recouvrement supérieur à 75%.

D. NOUALS
Juin 1996

Résumé

Ce document est la restitution d'une étude consacrée aux sapinières de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Cette étude visait d'une part à connaître et caractériser les milieux sous sapinière (typologie des stations) et, d'autre part, à déterminer les limites de l'extension potentielle du Sapin dans les Alpes du sud (autécologie).

La première partie du document décrit la **méthode d'investigation et l'échantillon recueilli**. 297 relevés phytocéologiques ont été réalisés, accompagnés de notation sur l'état de santé des arbres, et, sur 222 relevés, de mesures d'âge et de hauteur dominante. Malgré une surface de sapinières relativement réduite, l'immensité de la zone d'étude induit une très grande diversité des conditions géologiques et climatiques. L'unité de l'échantillon réside dans le fait que la quasi totalité des sapinières est située en versant nord, entre 1000 et 1800 m d'altitude, dans les trois départements alpins de la Région.

La deuxième partie consiste en une **étude du tapis végétal** sous sapinière. Les facteurs agissant le plus sur les compositions végétales sont les facteurs climatiques, au premier rang desquels figure l'altitude. Les différents régimes pluviométriques apparaissent également comme un facteur déterminant (pluviométrie totale, estivale, et continentalité). L'analyse spatiale a permis d'observer une nette concordance entre compositions floristiques et données pluviométriques (modélisées et calculées pour chaque point de relevé grâce à l'utilisation d'un S.I.G.). Cette concordance a pu être traduite par la délimitation de cinq régions bioclimatiques.

Cette partition est validée dans la deuxième partie par l'étude des relations entre **facteurs du milieu et croissance**, et **facteurs du milieu et état sanitaire** : dans les deux cas, la région biogéographique se révèle le premier facteur explicatif des variations de croissance et d'état sanitaire. Viennent ensuite l'altitude, puis les conditions topographiques et édaphiques influant sur le bilan hydrique local.

Une analyse particulière a été réalisée sur la **présence du Gui du Sapin**. A l'heure actuelle, seules les zones les plus « externes » de la région PACA sont affectées par ce parasite. Dans ces régions, la proportion de sapinières touchées décroît avec l'altitude et devient nulle vers 1500 m.

La méthode de **structuration en types de station forestière** figure dans la quatrième partie. Un catalogue des stations sera écrit pour chacune des cinq régions bioclimatiques définies. A l'intérieur de chaque région, la même démarche par emboîtement d'échelle est présentée : l'étage bioclimatique constitue un premier niveau, puis les roches calcaires sont séparées des substrats siliceux. Enfin le type de station est défini selon les conditions de bilan hydrique local, révélées par la flore et la topographie.

Pour chaque type de station, on pourra disposer des éléments suivants :

- indice de fertilité moyen (hauteur dominante à 100 ans),
- estimation de l'état sanitaire,
- risque d'infestation par le Gui du Sapin.

Enfin, pour chaque région, un outil permettant d'estimer les **possibilités d'extension du Sapin** est présenté : il est fondé sur les éléments acquis lors de l'étude, et notamment :

- la situation des sapinières existantes
- l'autécologie du Sapin dans la région PACA
- les liaisons stations-production et station-état sanitaire.

L'outil se présente sous forme de clefs permettant de prévoir le devenir d'une régénération de sapin sous un peuplement d'une autre essence. Elles font appel à des critères abiotiques indépendants de l'évolution dynamique de la végétation.