

ANALYSE STATISTIQUE DE LA CARTE DE LA VEGETATION DU VERCORS PAR SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

STATISTICAL ANALYSIS OF VEGETATION MAP BY MEANS
OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM IN THE VERCORS MOUNTAINS.

par Christian ROLLAND

Université Joseph Fourier, Centre de Biologie Alpine, "Laboratoire Ecosystèmes Alpins", BP 53X - GRENOBLE Cedex France

Résumé - L'utilisation du Système d'Information Géographique (SIG) ARC-Info permet d'étudier la répartition de la végétation en fonction des facteurs topographiques. En croisant par superposition un modèle numérique de terrain à la carte de végétation à 1/25 000 du massif du Vercors (1756 km²), on détermine successivement pour chaque série de végétation son amplitude de répartition en fonction de l'altitude, de la pente et de l'exposition. Ceci permet d'analyser quantitativement les liens existant entre la topographie et la distribution spatiale de la couverture végétale. Les méthodes utilisées pour obtenir des profils écologiques ainsi que les amplitudes de répartition des séries de végétation (basées sur le concept d'entropie) sont exposées ici. Les résultats sont détaillés pour chacune des séries, en mettant l'accent sur les différents types de hêtraies.

Mots-clés - Système d'Information Géographique, végétation, Modèle Numérique de Terrain, Vercors, amplitude écologique.

Summary - The Geographical Information System (GIS) ARC-Info was used to analysed the repartition of the vegetation according to the topography.

A numerical map of the topography is superimposed to the vegetation map of the Vercors mountains, covering 1756 km² (scale 1/25000). The repartition along the altitude, the slope and the exposure is successively studied for each kind of vegetation, thus providing quantitative information on ecological amplitude of the series. The methods used here to obtain ecological profiles and amplitudes are described (using entropy calculation). The results emphasize the differences among Beech forests.

Key words - Geographical Information System (GIS), vegetation, altitude, Vercors, ecological repartition.

INTRODUCTION

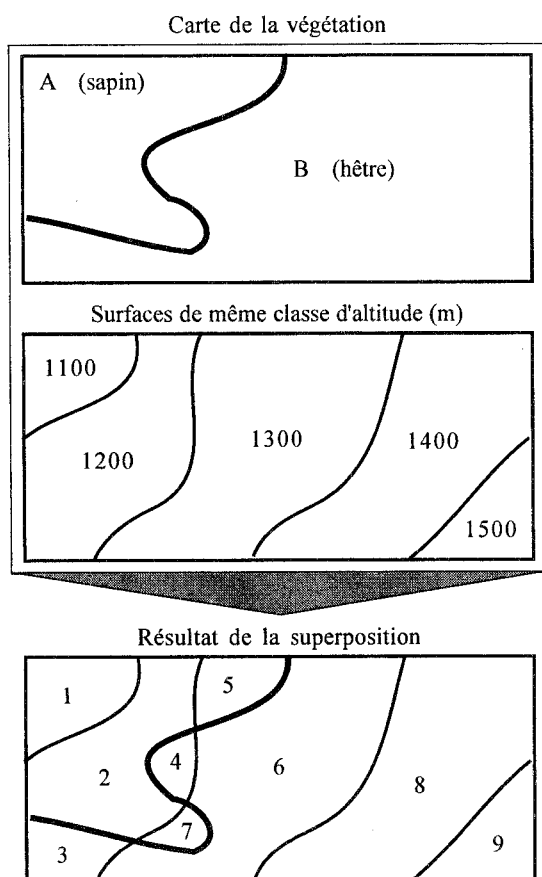
Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) sont des logiciels de cartographie de plus en plus utilisés (Dubost, 1993), car ils permettent une mise à jour simple des informations qu'ils contiennent et de travailler sur plusieurs échelles. Outre ces avantages pratiques, ils offrent surtout l'intérêt de pouvoir **combiner simultanément** des informations issues de plusieurs cartes thématiques différentes.

C'est ce dernier aspect qui sera mis ici à profit, pour analyser quantitativement la **répartition de la végétation dans le massif du Vercors** en fonction de trois principales variables stationnelles : l'**altitude**, la **pen**te, et l'**exposition**.

Une telle analyse est bien sûr possible directement à partir de cartes de végétation classiques imprimées sur fond topographique IGN, (cela se fait en France depuis 1926), mais il est alors difficile d'estimer précisément les **surfaces** exactes d'une série de végétation donnée en fonction d'un paramètre topographique, l'altitude par exemple. On parvient cependant à une estimation approchée au moyen d'un quadrillage de points superposé à la carte, mais cette méthode, utilisée par exemple par Douguédroit (1972) pour étudier la répartition des forêts des Alpes du Sud, est fastidieuse et parfois peu précise. L'intérêt du SIG est de faciliter considérablement ce type d'analyse statistique, et de fournir des chiffres précis, à partir de cartes numérisées.

METHODES

Schéma de principe du croisement de 2 cartes



Traitement des bases de données associées aux cartes

Relevés floristiques, photo-interprétation puis saisie de la carte (digitalisation)

Carte 1 = Végétation

Polygone	Légende	Surface
P1	A (sapin)	S_p1
P2	B (hêtre)	S_p2

+

Carte 2 = Altitude

Modèle numérique de terrain (MNT)
Calculs d'altitude, de pente, et d'exposition

Polygone	Légende	Surface
Q1	1100 m	Sq_1
Q2	1200 m	Sq_2
Q3	1300 m	Sq_3
Q4	1400 m	Sq_4



Croisement avec PC-Arc Info

Carte 3 = Végétation x Altitude

Polygone	Légende 1	Légende 2	Surface
R1	A (sapin)	1100 m	Sr_1
R2	A (sapin)	1200 m	Sr_2
R3	B (hêtre)	1200 m	Sr_3
R4	B (hêtre)	1200 m	Sr_4
R5	A (sapin)	1300 m	Sr_5
R6	B (hêtre)	1300 m	Sr_6
R7	A (sapin)	1300 m	Sr_7
R8	B (hêtre)	1400 m	Sr_8
R9	B (hêtre)	1500 m	Sr_9

Logiciel spécifique



Analyse statistique des données

	A (sapin)	B (hêtre)	TOTAL
1100 m	Sr_1	*	Sq_1
1200 m	Sr_2	Sr_3 + Sr_4	Sq_2
1300 m	Sr_5 + Sr_7	Sr_6	Sq_3
1400 m	*	Sr_8	Sq_4
1500 m	*	Sr_9	Sq_5
TOTAL	Sp_1	Sp_2	S_total



Microsoft - Excel :

- Calcul de profils, barycentre, amplitude
- Graphiques des profils

Figure 1 - Schéma de principe du croisement de deux cartes thématiques utilisant le logiciel ARC-Info, à partir de 2 cartes (végétation et classes d'altitude) et des bases de données associées à chacune d'entre elles.

Le croisement de cartes par SIG consiste à superposer deux cartes thématiques différentes et à redécouper les surfaces cartographiées en zones homogènes plus petites selon leurs intersections. Les deux cartes initiales possèdent chacune une légende comportant respectivement N_1 et N_2 types distincts, donc la carte finale issue de leur intersection comportera une légende à $N_1 \times N_2$ types.

Cependant, si ce principe de base semble simple, l'utilisation des résultats ainsi obtenus l'est nettement moins. En effet, un tel traitement rend rapidement l'information cartographique totalement illisible, la légende de la carte d'intersection étant très volumineuse et les surfaces élémentaires très petites et de forme compliquée. Comme l'information cartographique augmente de façon multiplicative, elle devient ainsi très riche, mais en contrepartie la carte issue de l'intersection est souvent trop complexe et paradoxalement peu utilisable sous forme de carte! Il s'avère donc nécessaire d'extraire statistiquement de la **base de données** qui lui est associée l'information qu'elle contient.

La base de données informatique issue du croisement comporte en effet pour chaque surface élémentaire, appelée "polygone", un calcul de superficie, ainsi que les deux légendes correspondantes. On cumule alors les surfaces ayant les mêmes caractéristiques, pour toutes les $N_1 \times N_2$ combinaisons possibles, afin d'obtenir un tableau des surfaces S_{ij} à double entrée, à N_1 lignes et N_2 colonnes (la figure 1 en donne un exemple schématique).

Logiciel et cartes utilisés

On utilise ici le Système d'Information Géographique PC-ARC-Info, et quatre cartes thématiques numérisées :

- **La carte de végétation** du Vercors réalisée à 1/25 000 par photo-interprétation d'images aériennes en noir et blanc panchromatique et infrarouge, associée à des relevés de terrain (Gobert *et al.*, 1963), (Ritter, 1972), (Chatain, 1978), (Haack, 1980, 1983), (Richard & Pautou, 1982), (Lierdeman, 1987), (Colombini, 1991), (Petetin, 1993). Cette carte couvre l'ensemble du territoire du Parc Naturel Régional du Vercors (soit 62 communes et 1756 km²), et comporte 36 principaux types de végétation différents (Faure, 1968; Gobert, *et al.*, 1963; Haack, 1980).

- **La carte des altitudes**, issue d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) fourni par l'Institut Géographique National (IGN) sur une grille carrée de 80 mètres de côté au sol. Elle est simplifiée en regroupant les altitudes en 24 classes de 100 mètres d'amplitude (0-99 m, 100-199 m, etc.).

- **La carte des expositions**, regroupées en 8 secteurs angulaires de 45° de large, le premier secteur étant centré sur le Nord (de N-NE à N-NO), est également dérivée du même MNT par calcul.

- **La carte des pentes**, elle aussi calculée à partir du MNT, comporte 9 classes de pentes tous les 10° (0-9°, 10-19°, etc.).

La carte de végétation (dont la légende comporte $N_1 = 36$ types de végétation) est successivement superposée avec les trois autres cartes relatives à la topographie (avec respectivement $N_2 = 24, 8$ et 9 classes pour les altitudes, expositions et pentes). L'ensemble du territoire étudié est délimité par la bordure actuelle du Parc Naturel Régional du Vercors.

Transformation en profils et amplitude écologique

Les cumuls de surfaces de type S_{ij} sont transformés en profils (Daget & Godron, 1982), étant donné que les différentes classes n'ont pas toutes la même surface. Ainsi, les classes d'altitude entre 800 et 1200 m sont les plus

fréquentes, en raison des vastes plateaux de l'étage montagnard du massif du Vercors.

Altitudes en mètres	Surface en km ²
0 à 199	41,8
200 à 399	116,8
400 à 599	174,8
600 à 799	270,3
800 à 999	351,9
1000 à 1199	317,3
1200 à 1399	256,8
1400 à 1599	150,6
1600 à 1799	60,9
1800 à 1999	13,8
2000 à 2199	0,8
2200 et +	0,02

Pour chaque type de végétation (v), la fréquence $F(v,a)$ (en %) selon l'**altitude** (a) est donnée par :

$$F(v,a) = \frac{\text{Surface}(v,a)}{\sum_{\text{Végétation}} \text{Surface}(v,a)} \times 100 \quad \text{en \%}$$

Ceci permet de corriger simplement les différences de superficies entre tranches d'altitude.

La somme de ces fréquences est normalisée à 100% pour obtenir des profils, exprimés en pourcentages.

$$P(v,a) = \frac{F(v,a)}{\sum_{\text{altitudes}} F(v,a)} \times 100 \quad \text{en \%}$$

Les profils peuvent être caractérisés par deux paramètres, le barycentre et l'amplitude de répartition.

Le **barycentre** $G(v)$ de la série de végétation (v) est défini comme étant son altitude moyenne pondérée :

$$G(v) = \frac{\sum_{\text{altitude}} a \times P(v,a)}{\sum_{\text{altitude}} P(v,a)}$$

Au lieu de calculer l'**amplitude** altitudinale de répartition $A(v)$ à partir des deux classes extrêmes non vides ($A = \text{Min} - \text{Max}$), il est préférable de la définir à partir de l'entropie $S(v)$ pour prendre en compte la **forme détaillée du profil**, par la relation suivante :

$$S(v) = - \sum_{\text{altitude}} [(P(v,a)/100) \times \text{Ln}(P(v,a)/100)]$$

$P(v,a)/100$ représente la probabilité de rencontrer la végétation de type (v) dans la classe d'altitude (a), et L représente la largeur d'une classe. L'amplitude de répartition vaut alors :

$$A = \text{Exp}(-S) \times L$$

On procède de même pour les **expositions**, dont la répartition en 8 classes ne conduit pas à des surfaces égales dans chaque classe. En effet, l'orientation générale Nord/Sud des vallées du massif du Vercors privilégie la fréquence des expositions Est et Ouest des versants, avec moins d'ubac ou d'adrets francs.

Expositions	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pourcentage	9,2	9,3	17,8	11,4	7,7	10,2	19,9	14,4
Ecart à 12,5 %	-3,3	-3,2	5,3	-1,1	-4,8	-2,3	7,4	1,9

On observe ainsi 17,8% d'expositions Est, alors qu'une répartition isotrope en 8 classes conduirait en théorie à $100/8 = 12,5\%$. Pour corriger cet effet, on transforme de même les superficies par exposition en profils.

Enfin, on transforme de façon identique les superficies selon la **pente** en profils, étant donné que les pentes faibles et moyennes (moins de 30°) sont les plus représentées, avec 85,5% de la superficie totale.

Classe de pente	Pourcentage
0 à 9°	31,8
10 à 19°	31,5
20 à 29°	22,2
30 à 39°	11,8
40 à 49°	2,0
50 à 59°	0,6
60 à 69°	0,2
70 et +	0,0

RESULTATS

On présente ici les profils obtenus pour l'ensemble des 36 types de végétation du Vercors selon successivement l'altitude, l'exposition et la pente. La légende de l'ensemble des figures comportant les **numéros** utilisés est rassemblée sur la figure 2.

Complexité des cartes

Nous avons reporté dans le tableau suivant le nombre de polygones sur chacune des cartes prise séparément **avant**, puis **après le croisement** avec la carte de végétation.

Fichier	Classes	Avant	Après
Végétation	36	23 844	23 844
Altitude	24	2 067	40 019
Pente	8	20 093	78 038
Exposition	8	30 654	94 716

Il en ressort à quel point les cartes initiales sont particulièrement complexes, car elles sont réalisées à 1/25 000 et s'étendent sur tout un massif (1756 km²). Ceci implique un nombre de polygones après croisement particulièrement élevé (typiquement de l'ordre de 50 000), donc des calculs d'intersections et de surfaces assez longs, impossibles à réaliser sans SIG.

Répartition altitudinale de la végétation

Les profils selon l'altitude apportent beaucoup d'informations, notamment sur la **limite supérieure** des formations (Ritter, 1972; Soutade *et al.*, 1981; Ozenda, 1985). De plus, ils font ressortir de nettes différences de

comportement selon les formations (fig. 3). Ainsi, certaines séries présentant un profil en "pyramide", comme la chênaie sessile (n°8) ou les groupements à frêne et aulne (n°32), et se raréfient rapidement dès que l'on s'élève en altitude.

Certaines se localisent dans un étage altitudinal bien marqué, comme la pinède à crochets (n°29) ou la lande d'abandon agricole à genévrier (n°17), tandis que d'autres sont pratiquement ubiquistes, comme par exemple les taillis clair de hêtre à buis (n°20), ou les bois clairs de pin sylvestre (n°27). Ce dernier cas illustre bien la grande **amplitude écologique** de cette essence.

La forme irrégulière de certains profils (bi-modaux) est une conséquence des **effets anthropiques** sur la répartition de la végétation, puisqu'on observe ce phénomène pour les landes d'abandon agricole (n°7), les pelouses à brome et brachypode (n°12), ou encore les pinèdes sylvestres recolonisant les friches (n°21) et la surface agricole utile (n°35).

Répartition selon l'exposition.

Les profils de répartition de la végétation selon l'exposition sont représentés classiquement en coordonnées polaires (Ellenberg & Klötzli, 1972), selon 8 classes d'exposition (N, NW, W, SW, S, SE, E, et NE) (fig. 3). Certaines formations sont peu représentées dans le Vercors, comme la lande à fougère aigle (n°9) qui est silicole, ou la lande à saule et molinie (n°34), qui disparaît en altitude (représentant seulement 0,11 km²). Leurs profils de répartition selon l'exposition ne sont donc pas vraiment significatifs. En revanche, les autres profils, plus réguliers, illustrent clairement le fait que de nombreuses formations présentent une **orientation privilégiée**. Ainsi, les hêtraies-sapinières (n°25) ou les chênaies sessiles à érable et tilleul (n°8) s'installent préférentiellement sur les ubacs francs, laissant les pleins adrets aux landes à genévrier évoluant vers la chênaie pubescente (n°7), aux taillis à buis (n°20) ou aux reboisements de pin noir (n°10). De la même manière, les expositions Est sont la prédilection des hêtraies mésoxérophiles (n°19) ou des pinèdes sylvestres du montagnard inférieur (n°21). En revanche, la chênaie-hêtraie de transition du collinéen au montagnard (n°14) ou les bois clair de pin sylvestre du supraméditerranéen (n°4) se montrent assez indifférents à l'exposition, leur amplitude d'excentrement étant quasiment nulle.

Répartition selon la pente

La pente apparaît elle aussi être un facteur écologique de grande importance (fig. 5). Les pelouses sèches (n°12) et les landes d'abandon agricoles (n°17) sont plus fréquentes sur pentes modérées, témoignant simplement de la préférence de l'agriculture pour les terrains relativement plats, faciles à cultiver. Les versants sont en revanche préférentiellement occupés par les forêts. On remarquera plus particulièrement la nette opposition des profils de la chênaie-hêtraie (n°14) de celui de la lande d'abandon évoluant vers la chênaie-hêtraie (n°15), qui illustre particulièrement bien l'impact anthropique sur la végétation : la formation boisée a subsisté surtout sur pentes fortes, tandis que les pentes intermédiaires (voisines de 30°) autrefois défrichées pour l'agriculture sont progressivement recolonisées par les mêmes essences, seules les pentes les plus faibles continuant à être exploitées.

Total: 1756 km²

Séries de végétation		Superficie totale		Répartition en altitude		Exposition préférentielle			Pente	
		Somme km ²	% du total	Barycentre mètres	Amplitude mètres	Ecarts	Angle degrés	Exposition	Barycentre degrés	Amplitude degrés
Etage collinéen										
Série supraméditerranéenne.										
1	Chênaie pubescente supraméditerranéenne	42,1	2,40	589	645	5	-22	NW	26	19
2	Taillis clair supraméditerranéen sur pente forte.	57,6	3,28	549	664	26	179	S	30	21
3	Lande de recolonisation à Genêt scorpion ou à Genêt cendré et G. commun.	27,6	1,57	484	602	24	185	S	24	21
4	Bois clair de Pin sylvestre du supraméditerranéen.	28,4	1,62	638	765	3	27	NE	29	20
Série de la Chênaie pubescente septentrionale.										
5	Chênaie pubescente septentrionale.	26,8	1,53	435	691	23	174	S	40	22
6	Taillis clair de Chêne pubescent sur pente forte à Buis.	3,2	0,18	497	585	17	248	W	38	17
7	Lande à Genévrier résultant d'abandon agricole et évoluant vers la Chênaie pubescente.	7,9	0,45	418	700	47	152	SE	20	17
Série de la Chênaie sessile.										
8	Chênaie sessile à Erable et Tilleul, Charme ou à Châtaignier.	21,8	1,24	187	493	37	-21	N	34	23
9	Lande à Genévrier Genêt à balais et Fougère aigle évoluant vers la Chênaie Hêtraie.	0,1	0,01	547	257	82	-14	N	12	13
Formations spécifiques.										
10	Reboisement de Pin noirs.	28,3	1,61	692	871	13	165	S	29	19
11	Lande ouverte sur pente forte avec érosion.	8,0	0,46	543	661	59	193	S	34	19
12	Pelouse sèche thermophile ou mésophile, ou pelouse à Brome dressé et Brachypode.	34,8	1,98	459	821	12	-38	NW	17	19
Séries de transition collinéen - montagnard.										
13	Chênaie-Hêtraie de transition sub-montagnarde d'influence méditerranéenne.	29,9	1,70	884	739	12	217	SW	31	21
14	Chênaie-Hêtraie de transition du collinéen au montagnard.	54,0	3,08	619	868	5	-59	NW	48	21
15	Lande de transition à Genévrier à Genêt cendré évoluant vers la Chênaie Hêtraie.	46,0	2,62	811	675	18	225	SW	25	22
Etage montagnard										
Séries du montagnard inférieur.										
16	Hêtraie mésophile du montagnard inférieur.	78,7	4,48	818	798	26	28	NE	39	23
17	Lande d'abandon agricole à Genévrier évoluant vers la Hêtraie mésophile.	8,3	0,47	949	434	24	1	N	15	18
18	Hêtraie sèche méridionale sur pente forte.	27,0	1,54	965	704	21	-54	NW	39	20
19	Hêtraie mésoxérophile sur versants chauds.	27,7	1,58	1032	679	52	99	E	65	16
20	Taillis clair de Hêtres à Buis n'évoluant pas.	48,5	2,76	1143	797	27	179	S	55	20
21	Pinède sylvestre du montagnard inférieur.	36,7	2,09	846	953	29	105	E	20	19
Séries du montagnard moyen et supérieur.										
22	Hêtraie mésophile du montagnard moyen et supérieur.	103,1	5,87	1191	726	10	-10	N	33	22
23	Lande du montagnard à Genévrier, Sorbier, résultant d'abandon agricole.	29,6	1,69	1253	832	14	200	S	32	21
24	Pelouse du montagnard à Luzerne et Avoine élevée.	45,7	2,60	1261	727	7	42	NE	20	20
25	Hêtraie-Sapinière avec ou sans Epicéas, présence de Sapins.	255,8	14,57	1200	712	18	-5	N	36	24
26	Plantation d'Epicéas ou de Mélèzes ou présence d'Epicéas.	23,2	1,32	1204	1189	25	-60	NW	33	22
27	Bois clair de Pins sylvestres.	36,8	2,10	811	1039	11	144	SE	22	18
Séries de transition montagnard - subalpin.										
28	Pessières claires du montagnard supérieur et du subalpin avec ou sans Pin à crochets.	63,5	3,62	1438	540	44	-57	NW	16	18
Etage subalpin										
29	Pinèdes de Pins à crochets.	14,8	0,84	1622	421	25	-63	NW	30	22
30	Landes subalpines à Genévrier nain, Raisin d'ours et Rhododendron.	17,5	1,00	1454	735	31	226	SW	28	22
31	Pelouses subalpines.	132,1	7,52	1906	910	18	-59	NW	45	24
Formations spécifiques										
32	Groupement des bords d'eau à Frêne et Aulnes.	5,4	0,31	110	272	28	-86	W	16	18
33	Saulaie.	0,5	0,03	911	635	41	207	SW	56	17
34	Lande à Saule et Molinie.	0,0	0,00	150	100	89	269	W	5	10
35	Surface agricole utile.	384,0	21,87	624	1567	10	269	W	42	23
36	Rochers.	0,2	0,01	1378	543	26	-65	NW	47	16

Figure 2 - Séries de végétation du Vercors, avec numéros et superficie cumulée (km²). La répartition **altitudinale** est caractérisée par son barycentre et son amplitude (en m), celle selon l'**exposition** par le pourcentage d'excentrement et l'angle d'orientation préférentielle, et celle selon la **pente** par son barycentre et son amplitude (en degrés).

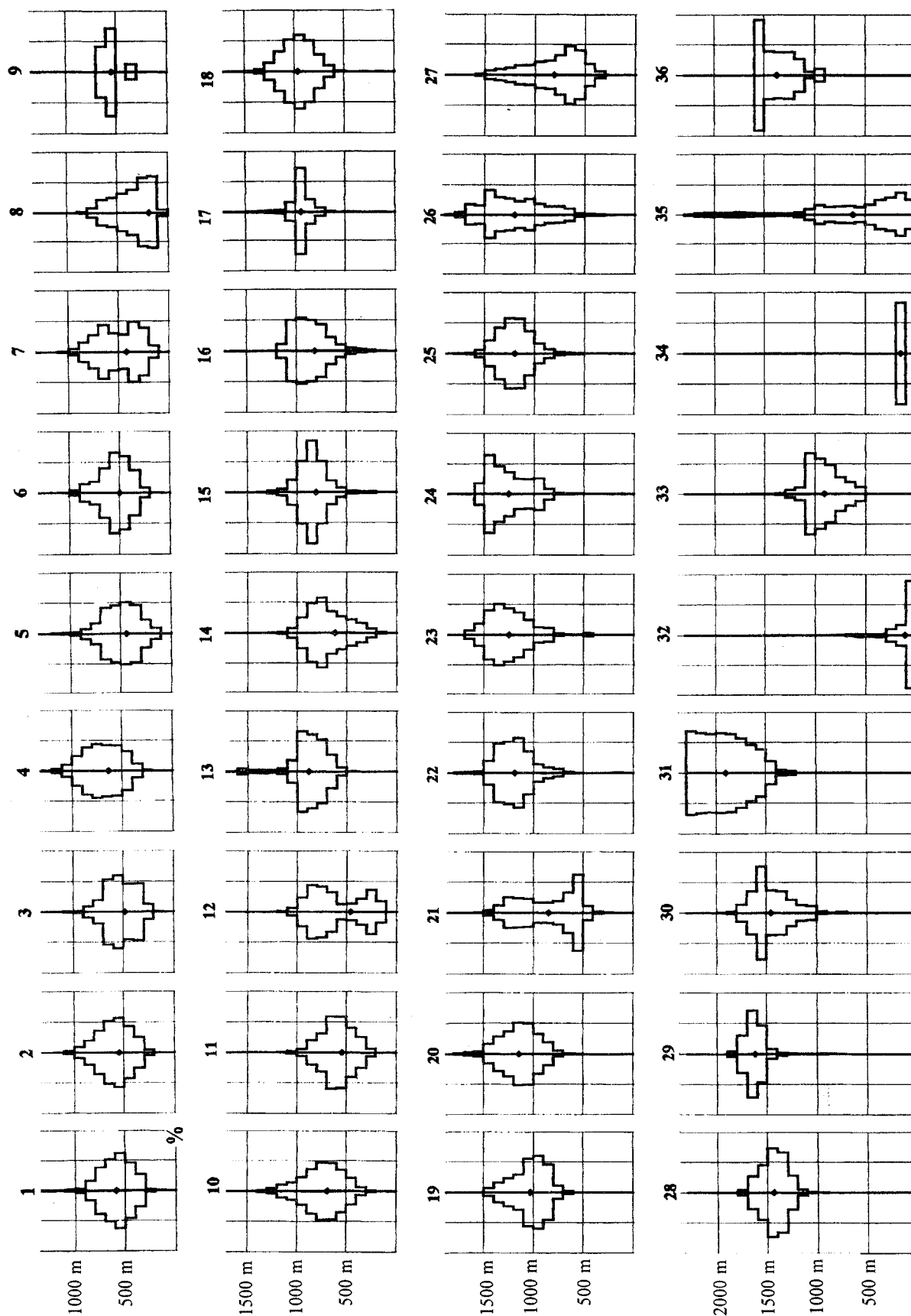


Figure 3 - Profils de répartition en pourcentage des séries de végétation du Vercors selon l'altitude, par classes de 100 m. Le barycentre est indiqué par un losange noir.

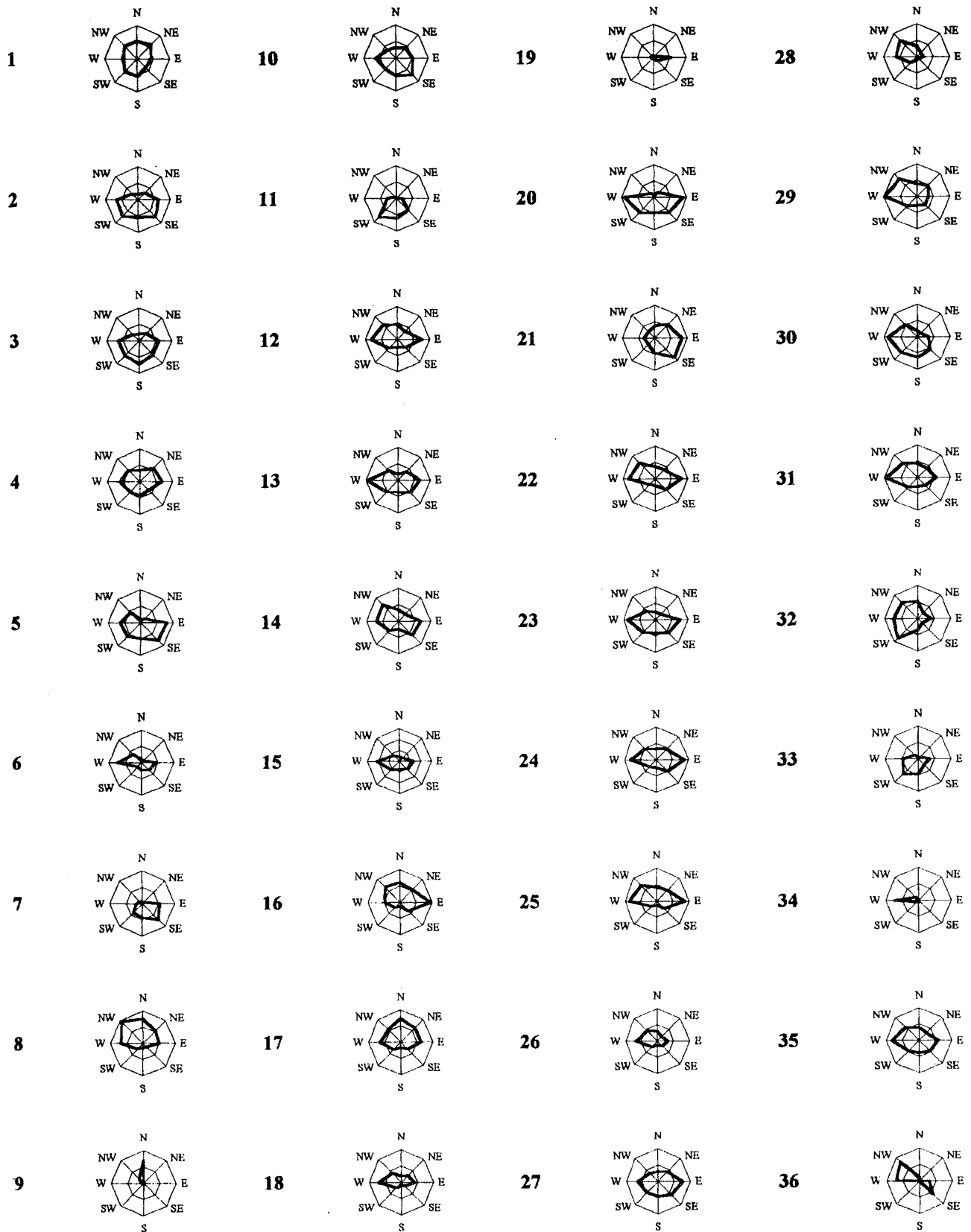


Figure 4 - Répartition des séries de végétation du Vercors selon l'exposition (profil en %), répartie en 8 classes.

TABLEAU I - Répartition des huit types de hêtraies selon l'altitude, l'exposition et la pente

Num.	Type de hêtraie	Surface km ²	Répartition en altitude		Exposition préférentielle			Pente	
			Barycentre	Amplitude mètres	Ecart en %	Angle degrés	Exposition	Barycentre	Amplitude degrés
14	Chênaie-hêtraie de transition au montagnard.	54	619	868	5	-59	NE	48	21
16	Hêtraie mésophile, montagnard inférieur.	79	818	798	26	28	NW	39	23
13	Chênaie-hêtraie d'influence méditerranéenne.	30	884	739	12	217	SE	31	21
18	Hêtraie sèche méridionale sur pente forte.	27	965	704	21	-54	NE	39	20
19	Hêtraie mésoxérophile sur versants chauds.	28	1032	679	52	99	W	65	16
20	Taillis clair de hêtres à buis.	48	1143	797	27	179	S	55	20
22	Hêtraie mésophile, montagnard moyen et supérieur.	103	1191	726	10	-10	N	33	22
25	Hêtraie-sapinière.	256	1200	712	18	-5	N	36	24
	TOTAL	625							

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'ensemble de ces résultats illustre bien l'intérêt d'un SIG pour étudier la répartition de la végétation, de façon précise et **quantitative**, en corrigeant les inégalités d'échantillonnage par des calculs de **profils**. Les limites d'étages et le détail de la répartition des essences apparaissent alors clairement, même si certaines classes (d'altitude par exemple) sont plus abondantes que d'autres sur le site étudié. De plus, ils permettent de définir les **optimums écologiques** de chacune des séries, ainsi que de mettre en évidence les chevauchements qui marquent des transitions entre elles.

De manière plus synthétique, le tableau de la figure 1 récapitule les barycentres et amplitudes écologiques obtenus pour chacune des formations selon les trois facteurs étudiés ici.

Le cas du **hêtre**, qui est l'un des feuillus dominants du massif puisque les 8 principales formations comportant cette essence recouvrent en tout 625 km² (soit 35,6% du total), peut ainsi être analysé en détail (tableau I).

Il en ressort que chacune des séries occupe une zone bien délimitée, caractérisée par un barycentre altitudinal qui suit un **étagement progressif**. Cependant, leurs amplitudes respectives sont relativement comparables (679 à 868 m), ce qui caractérise des possibilités d'extension de chaque série selon une amplitude thermique limitée, de 3,7 à 4,7°C (calculée avec un gradient de 0,55°C/100 m).

C'est la série **mésoxérophile** qui présente l'amplitude la plus réduite, non seulement en altitude (679 m), donc en température, mais aussi selon la pente (en moyenne 65°

avec 16° d'amplitude seulement) et l'exposition (fort excentrement (52%) du profil dans l'exposition Est). Ceci témoigne d'une convergence de facteurs permettant une forte insolation. Il en va d'ailleurs de même pour le taillis clair de hêtre à buis, surtout localisé en adret sur pentes fortes. A l'opposé, la hêtraie-sapinière présente un optimum de développement en ubac (N), avec une relative indifférence à la pente (barycentre 36°, amplitude 24°).

La méthode illustrée ici est bien sûr généralisable à d'autres massifs. Il est cependant nécessaire d'analyser une superficie relativement importante, ce qui implique un travail préliminaire important de numérisation des cartes.

En outre, cette technique devrait permettre par la suite de faciliter la photo-interprétation d'images satellites, en combinant ce type d'analyse avec les méthodes classiques de la photo-interprétation (Laporte, 1988; Colombini, 1991). En effet, la connaissance précise de l'amplitude de chaque série peut améliorer la discrimination lors de l'analyse guidée d'images satellites, souvent difficile lorsque l'on se base uniquement sur les seuls critères radiométriques, en particulier pour discriminer les différents types de conifères, (Lointier & Pieyns, 1981; Pautou *et al*, 1992; Osterman, 1992).

Enfin, ce procédé ne se limite pas seulement à l'étude de la végétation, mais pourrait s'appliquer également à d'autres domaines de recherche, tels que l'étude des risques naturels (avalanches, glissements de terrain, inondations) ou de l'hydrographie, en combinant un modèle numérique de terrain avec des données géologiques par exemple.

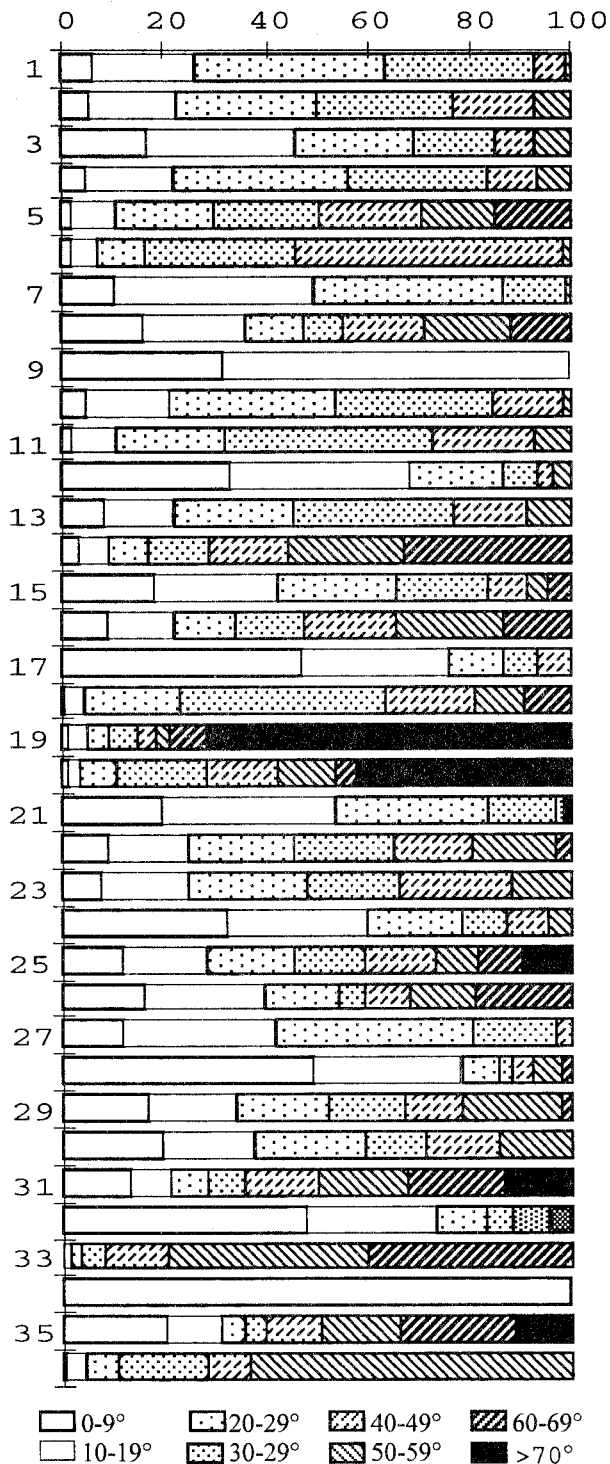


Figure 5 - Répartition des séries de végétation du Vercors selon la pente (profil en %), répartie en classes de 10°.

Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement F. Lazard et G. Thomas (Parc Naturel Régional du Vercors) pour leur collaboration à la réalisation des cartes numériques utilisées ici.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHATAIN G., 1978 - *Le Vercors méridional, cartographie de la végétation et analyse des relations entre facteurs écologiques*, Thèse 3^{ème} cycle, écologie appliquée, Grenoble 1, 71 p.
- COLOMBINI P., 1991 - *Apport de la télédétection et du système d'information géographique Arc-Info pour la cartographie des espaces naturels dans le Parc du Vercors. Essai sur deux zones : Le Trièves et la région des Quatre Montagnes*. Rapport de DEA Géographie, écologie et aménagement des montagnes, Grenoble I, IGA, PNRV, 81 p.
- DAGET P. & GODRON M., 1982 - *Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés*. Ed. Masson, Collection d'écologie 18, Paris, New York, 163 p.
- DOUGUEDROIT A., 1972 - *Les forêts de Haute-Provence et des Alpes-Maritimes*. 1) *Etude de biogéographie*. 2) *Les facteurs de répartition des types de forêts*. Thèse de Doctorat lettres Paris 7, Recherches Cartographiques Appliquées au Climat et à l'Hydrologie, St. Martin d'Hères. 3 tomes, 924 p.
- DUBOST M., 1993 - *Les systèmes d'information environnementale, (Environmental Information Systems)*. Centre International pour l'Environnement Alpin ICALPE, ISBN : 2-908515-05-9, 101 p.
- ELLENBERG H. & KLÖTZLI F., 1972 - *Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz*. Mitteilungen. Schweizerische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, Vol 48, fasc 4, pp 589-930.
- FAURE C., 1968 - Feuille de Vif. Documents pour la Carte de la Végétation des Alpes, Vol 6, pp 7-69.
- GOBERT J., OZENDA P., THIEBAUT M. & TONNEL A., 1963 - Feuille de La Chapelle en Vercors (XXXII - 36). Documents pour la Carte de la Végétation des Alpes, Vol 1, pp 25-46.
- HAACK H., 1980 - *Contribution à l'étude des structures de la végétation dans les principales séries de végétation du Vercors, comprenant une carte des Coulmes*, Rapport de DEA Ecologie Appliquée, UJF Grenoble I, (Laboratoire de Biologie Végétale). 40 p + annexes + carte.
- HAACK H., 1983 - *Recherches sur les structures spécifique, physiologique et spatiale des phytocénoses du Parc Naturel Régional du Vercors*, Thèse 3^{ème} cycle écologie appliquée, Grenoble 1, 96 p + 2 cartes.
- LAPORTE J., - 1988 - *Télédétection spatiale et montagne*. Actes du colloque d'Aix les Bains, 13 et 14 Janvier 1988, Ed. Conseil Général de Savoie, 135 p.
- LIERDEMAN E., 1987 - *Méthode, résultats et limites d'une cartographie appliquée des espaces naturels du Vercors. Réflexion à partir de l'exemple des secteurs "Vercors Nord et Vercors Central"*. Rapport de DEA géographie, écologie et aménagement des montagnes, Grenoble I, PNRV, 39 p + bibliographie + 10 annexes.
- LOINTIER M. & PIEYNS S., 1981 - *Méthodologie de constitution d'une base de données d'occupation du sol par télédétection*. Télédétection 4, ORSTOM Initiations, documents techniques, n°47, Paris.

- OSTERMAN O., 1992 - La Photo-Interprétation Assistée par Ordinateur (PIAO). Méthode, intérêt et limites pour l'étude des changements du couvert forestier dans le Parc Naturel Régional du Vercors. Télédétection et montagne, les Dossiers de la Revue de Géographie Alpine, n°8.
- OZENDA P., 1985. La végétation de la chaîne alpine. Ed. Masson, 331p.
- PAUTOU G., GIREL J., VERSAILLES A. & GARGUET DUPORT B., 1992 - Télédétection, écologie et gestion des plaines d'inondation du Piémont Alpin. Télédétection et montagne, les Dossiers de la Revue de Géographie Alpine, n° 8, pp 79-85.
- PETETIN A., 1993 - *Relations climat sol végétation dans le Trièves Beaumont, zone de transition des Alpes occidentales. Application: typologie forestière et productivité du Sapin*, Thèse de Doctorat UJF, Grenoble 1, 133 p + bibliographie et annexes.
- RICHARD L. & PAUTOU G., 1982 - Alpes du Nord et Jura méridional. Notice détaillée des feuilles Annecy-Grenoble Ed. CNRS Carte de la végétation de la France (1/200 000), 316 p.
- RITTER J., 1972 - Les groupements végétaux des étages subalpin et alpin du Vercors méridional. Essai d'interprétation statistique. Vegetatio, Vol 24, 4-6, pp 313-403.
- SOUTADE G., BAUDIERE A. & BECAT J., 1981 - La limite supérieure de la forêt. Ed. : Terra Nostra, Prada, Colloque de Perpinya.