

- Espèces indicatives
- Provence calcaire



LA RECHERCHE POUR L'INGENIERIE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ENVIRONNEMENT

Département Gestion des Territoires

Division Agriculture et Forêt Méditerranéennes

Etude financée par :
le Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation
DERF - Crédits du Conservatoire de la Forêt Méditerranéenne
et
le Conseil Régional Provence Alpes Côte d'Azur

Typologie des stations forestières sur de grandes surfaces en Provence calcaire

Préétude

Michel VENNETIER - Christian RIPERT

GROUPEMENT D'AIX EN PROVENCE
Le Tholonet - BP 31
13612 Aix-en-Provence Cedex 01
Tél.: 42.66.99.62 - Fax : 42.66.99.71

FEVRIER 1996

Département Gestion des Territoires
Division Agriculture et Forêt Méditerranéennes

Etude financée par :
le Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation
DERF - Crédits du Conservatoire de la Forêt Méditerranéenne
et
le Conseil Régional Provence Alpes Côte d'Azur

Typologie des stations forestières sur de grandes surfaces en Provence calcaire

Préétude

Michel VENNETIER - Christian RIPERT

GROUPEMENT D'AIX EN PROVENCE
Le Tholonet - BP 31
13612 Aix-en-Provence Cedex 01
Tél.: 42.66.99.62 - Fax : 42.66.99.71

FEVRIER 1996

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	3
2. LES BASES DE L'ETUDE	4
2.1. Facteurs étudiés	4
2.1.1. Facteurs floristiques	4
2.1.2. Facteurs abiotiques	4
2.1.3. Facteurs anthropiques	5
2.2. Objectifs de l'étude	5
2.2.1. Etapes de l'étude	5
2.2.2. Niveaux de restitution des modèles	5
2.2.3. Approche des potentialités	7
3. AVANCEMENT DE L'ETUDE EN 1995	7
3.1. Numérisation des cartes	7
3.2. Extrapolation du catalogue de la Sainte Victoire	7
3.3. Comparaisons des groupes floristiques des catalogues	9
3.4. Utilisation d'un indice floristique	11
3.4.1. Mise au point de l'indice	11
3.4.2. Les tendances naturelles de variation de l'indice	11
3.4.3. Essais de modélisation des variations de l'indice	13
3.4.4. Bilan de l'essai de modélisation de l'indice de potentialités	18
4. ORIENTATIONS POUR LA POURSUITES DES TRAVAUX	19



Typologie de stations forestières sur de grandes surfaces en Provence calcaire

Pré-étude

1. Introduction

Peu de catalogues de stations forestières ont été réalisés jusqu'à maintenant dans la zone méditerranéenne française, et cette absence est particulièrement marquée dans la région PACA. La mise au point de tels catalogues détaillés demande beaucoup de temps, comme l'ont montré les premières études, achevées récemment ou en cours de publication. La grande complexité du milieu naturel et les perturbations anthropiques constituent des difficultés particulières. La faible productivité moyenne actuelle des forêts ne contribue pas à favoriser un investissement en leur faveur. Pourtant, les responsables de l'aménagement du territoire en général, et les forestiers en particulier, sont demandeurs d'outils d'évaluation des potentialités de ce milieu.

Suite aux premiers catalogues de stations, et aux études autécologiques des espèces forestières méditerranéennes réalisées depuis 15 ans par le Cemagref, on a pensé qu'il serait possible de simplifier la démarche d'étude du milieu naturel. On souhaite accélérer l'avancement des travaux, et pouvoir réaliser des cartes simplifiées sur de grandes surfaces. Cette cartographie suppose l'utilisation de moyens informatiques complexes (SIG), et la mise au point de modèles. On ne cherche plus, dans cette nouvelle approche, la même précision de détail dans la connaissance de l'ensemble des surfaces concernées, ce qui serait illusoire. Mais plutôt à évaluer le poids de chaque facteur dans la fertilité globale, afin de pouvoir porter un diagnostic précis au coup par coup sur les sites particuliers où l'on souhaite travailler.

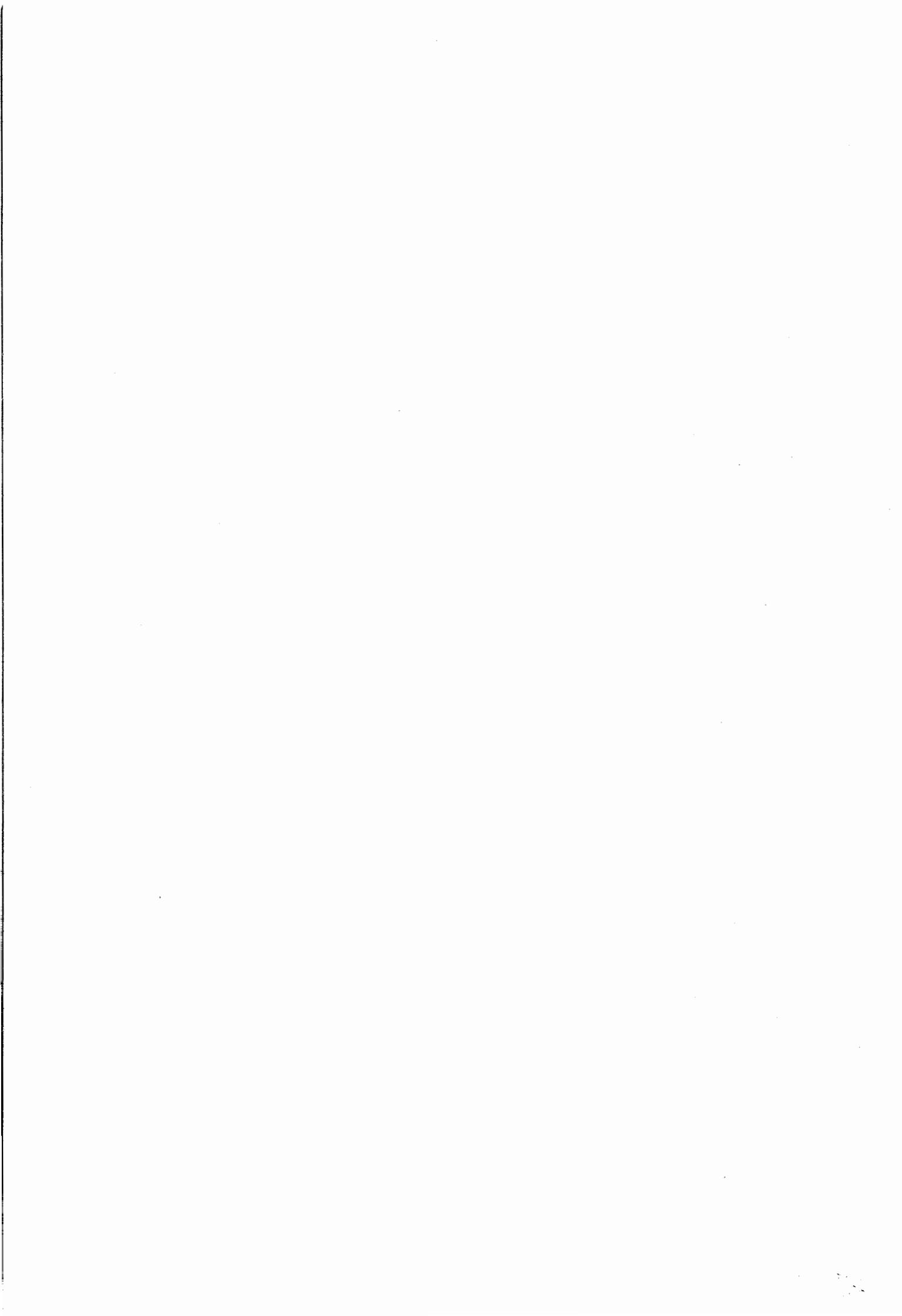
Trois questions principales se posaient au départ de cette nouvelle méthode :

- Est-il possible d'extrapoler les catalogues existant dans la région : dans quelles limites géographiques ou bio-climatiques, et dans quelles conditions ?
- Quelle méthode d'approche et de structuration du milieu faut-il utiliser pour l'étude de très grandes surfaces, et les méthodes existantes sont-elles seulement utilisables ?
- Est-il possible de trouver un ensemble de facteurs du milieu, déjà cartographiés ou calculables simplement et automatiquement, et qui rendent compte globalement d'une part importante de la variabilité des potentialités ? Cette condition est nécessaire pour une cartographie automatique avec le SIG.

La première année de travail a permis de réaliser une étude de faisabilité, pour répondre sommairement aux questions ci-dessus, et orienter les travaux des années à venir.

Ce qui a été fait :

- Une partie du travail de numérisation des cartes thématiques, et d'acquisition des données (Climat, Géologie, Petites régions naturelles, modèle numérique de terrain). Ce sont les éléments de base pour la structuration du milieu et la cartographie automatique. L'autre moitié de ce travail sera achevée début 1996. (voir carte d'avancement, n° 1 en annexe)
- Une synthèse bibliographique des travaux de typologie de stations, sur la région et les régions voisines, pour préciser les points de convergence entre les méthodes d'approche et/ou les résultats,
- Un premier essai d'extrapolation de catalogue (celui de la Sainte Victoire),
- Un premier essai de modélisation des compensations et interactions entre facteurs du milieu,
- Un choix de la démarche méthodologique pour la poursuite de l'étude.



2. Les bases de l'étude

Tous les catalogues de station réalisés dans la région ont abouti à une structuration du milieu par quelques facteurs abiotiques : région climatique, géologie, altitude, exposition, topographie, et dans un ordre à peu près semblable. Les études autécologiques, réalisées précédemment, arrivaient aux mêmes conclusions. Contrairement aux catalogues classiques, réalisés dans des régions aux forêts moins perturbées et plus stables, la flore n'intervient que secondairement, pour valider ou préciser le résultat, et n'est jamais prépondérante dans les clefs de reconnaissance des stations. Ceci tient aux conditions particulières du milieu naturel local, très anthropisé, et soumis à un facteur limitant très dominant, la sécheresse, qui relègue les autres problèmes au second plan.

2.1. . . Facteurs étudiés

2.1.1. Facteurs floristiques

La flore est théoriquement un indicateur intéressant des potentialités des milieux, car elle fait la synthèse de l'ensemble des contraintes présentes sur un site, y compris celles qui sont difficilement observables (fissuration profonde de la roche, carences en certains éléments nutritifs ...) ou occasionnelles (fortes variations climatiques annuelles, phénomènes saisonniers, ...). Mais elle a subi dans la région méditerranéenne des perturbations majeures, qui rendent difficile son utilisation :

- défrichements importants aux siècles passés, ayant pu faire disparaître certaines espèces de zones où elles sont potentiellement présentes.
- pâturage plus ou moins intensif ou culture, pendant des centaines d'années, des régions actuellement reconquises par la forêt.
- incendies parfois répétés, ne laissant par endroits jamais le temps à la végétation de retrouver un équilibre.
- exploitation intensive et parfois abusive des taillis pour le bois de feu.

La plupart des forêts actuelles sont très jeunes, en cours de reconquête de zones abandonnées par l'homme depuis moins d'un siècle, ou de zones incendiées.

Ainsi, la flore reflète-t-elle plus souvent un stade transitoire de reconstitution ou de dégradation de l'écosystème, plus que les réelles potentialités du milieu, même si ces dernières influencent la dynamique de la végétation.

2.1.2. Facteurs abiotiques

Ils sont à la base des potentialités actuelles du milieu. La remontée biologique peut parfois améliorer ces potentialités, à l'échelle de quelques dizaines à quelques centaines d'années, et le même milieu peut être considéré comme mauvais ou bon suivant la présence ou l'absence d'un peuplement âgé, et l'échelle de temps que l'on considère.

Les facteurs abiotiques servent de clef dans la structuration des catalogues et la reconnaissance des stations. Cela présente comme grand avantage l'indépendance par rapport à une situation biologique et anthropique existante, qui peut être très changeante, et peut masquer les potentialités réelles, mais aussi quelques inconvénients :

- chaque facteur ayant un grand nombre de variations possibles, cela représente une infinité de combinaisons à l'échelle d'un grand territoire. On ne peut donc pas descendre finement dans l'analyse des stations sans un nombre excessif de relevés de terrain. Certaines combinaisons de facteurs ont aussi toutes les chances d'échapper aux investigations.
- Il y a des compensations et interactions entre facteurs qui ne sont pas mesurables précisément, faute de pouvoir observer certaines variations de ces facteurs.

La flore, en tant qu'indice intégrateur de toutes les composantes du milieu, doit donc quand même intervenir à un moment donné, avec toutes les précautions utiles et dans des conditions bien contrôlées.

2.1.3. Facteurs anthropiques

Ils ont eu et ont encore par endroits une influence primordiale sur les potentialités des milieux naturels, par les modifications qu'ils ont entraînées,

soit défavorables :

- destruction du couvert végétal, et donc de l'ambiance forestière,
- érosion et dégradation des sols,
- incendies,

soit favorables :

- construction de terrasses et murets, favorisant le colluvionnement, freinant l'érosion naturelle, améliorant l'infiltration de l'eau et le bilan hydrique global des sites concernés. Ces travaux concernent de très grandes surfaces dans la région, et déterminent parfois des stations particulières, peu représentées naturellement.

- épierrage, fumure...

2.2. Objectifs de l'étude

La demande porte sur l'évaluation des potentialités forestières ou biologiques des milieux naturels de toute la zone méditerranéenne calcaire. Il est bien sûr impossible, dans les 5 années prévues pour l'étude, de répondre à la question sur toute la zone.

Le but est de mettre au point, sur une partie restreinte du territoire, une méthode d'estimation qui pourra ensuite être adaptée et appliquée à l'ensemble.

2.2.1. Etapes de l'étude

La démarche est conduite en deux temps, sur des surfaces croissantes (voir carte n° 2 page suivante)

- une première approche (2 ans), par extrapolation des catalogues existants, sur les zones limitrophes : arrière pays méditerranéen et basse Provence calcaire, entre Toulon et le Luberon . Elle doit permettre de tester la faisabilité et les limites des extrapolations, et d'ébaucher la modélisation des relations entre facteurs du milieu.

- Une phase de développement de la méthode (3 ans), s'étendant progressivement sur l'ensemble de l'arrière pays et si possible de la basse Provence calcaire, en région PACA. Elle permettra d'améliorer les modèles par des tests de validation. Les relevés floristiques, systématiquement effectués dans les sites étudiés, permettront en même temps de définir des groupes de plantes indicatrices des différents niveaux de potentialité retenus, afin de compléter les informations données par les modèles.

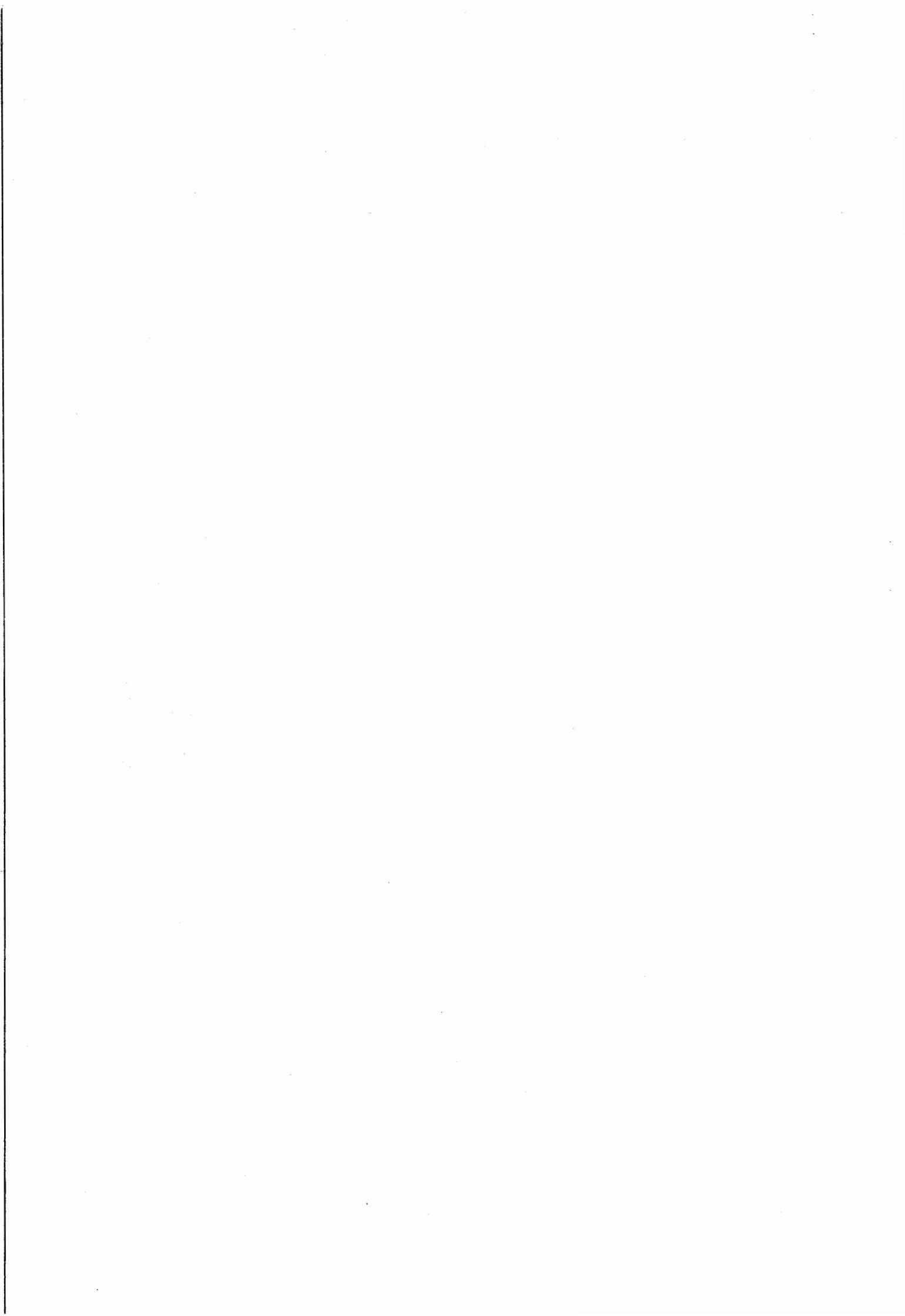
2.2.2. Niveaux de restitution des modèles

L'analyse des facteurs du milieu doit pouvoir être restituée à deux niveaux fonctionnels, correspondant à deux groupes de modèles :

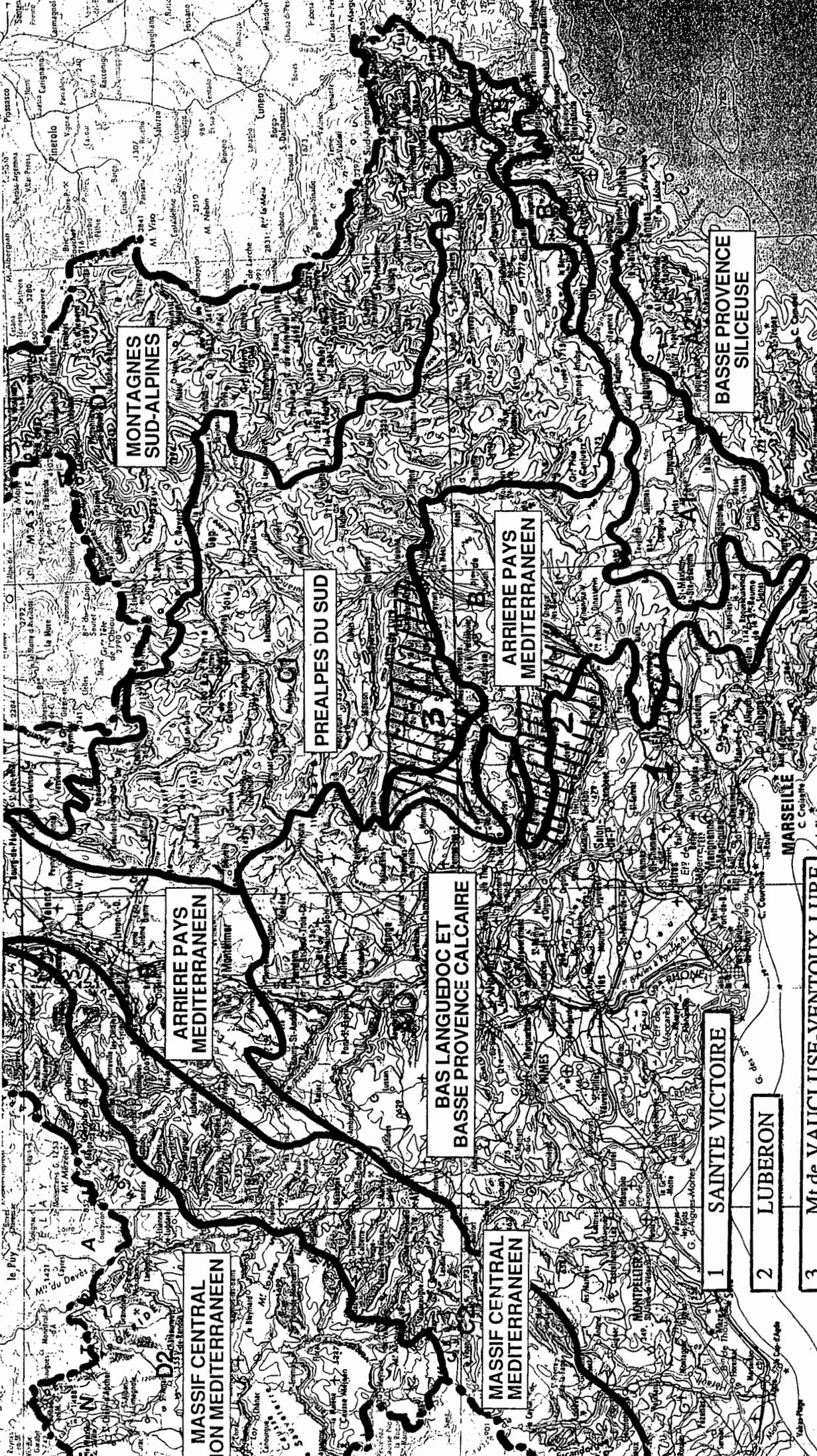
2.2.2.1. Niveau de cartographie

C'est un niveau assez simplificateur, définissant des unités écologiques, homogènes pour les facteurs qui peuvent être intégrés ou calculés dans un SIG, à partir des cartes et bases de données existantes.

Il doit permettre la cartographie automatique des unités définies. Ces unités doivent rendre compte d'une part importante de la variabilité du milieu, permettant de prendre des décisions d'ordre général d'aménagement, et de prévoir leur évolution suivant diverses options possibles.



PRINCIPAUX CATALOGUES DES STATIONS FORESTIERES PRIS EN COMPTE POUR L'ETUDE DE TYPOLOGIES GRANDE SURFACE EN PROVENCE CALCAIRE



1 MASSIF CENTRAL
NON MEDITERRANEEN

2 ARRIERE PAYS
MEDITERRANEEN

3 BAS LANGUEDOC ET
BASSE PROVENCE CALCAIRE

MONTAGNES
SUD-ALPINES

PREALPES DU SUD

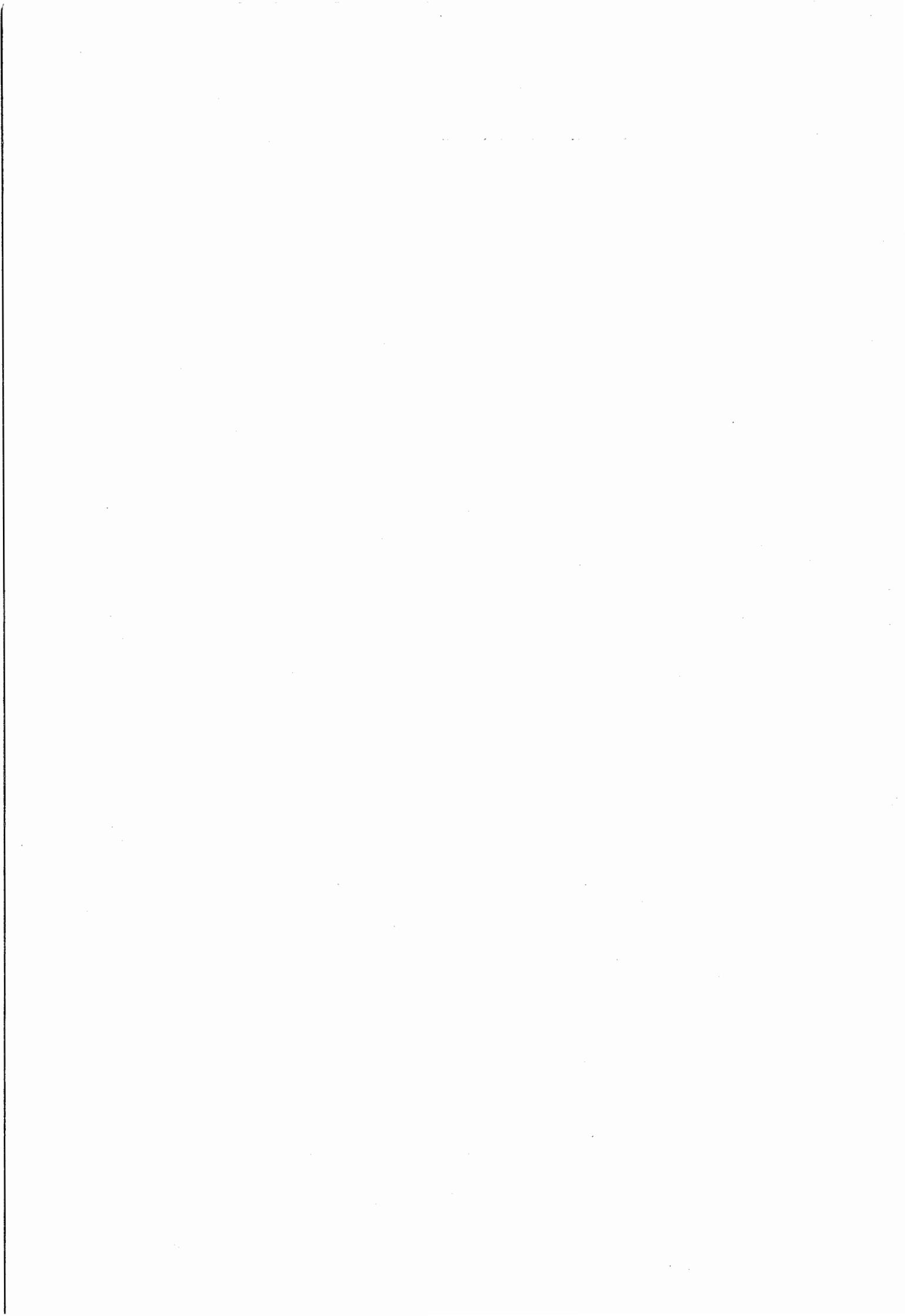
ARRIERE PAYS
MEDITERRANEEN

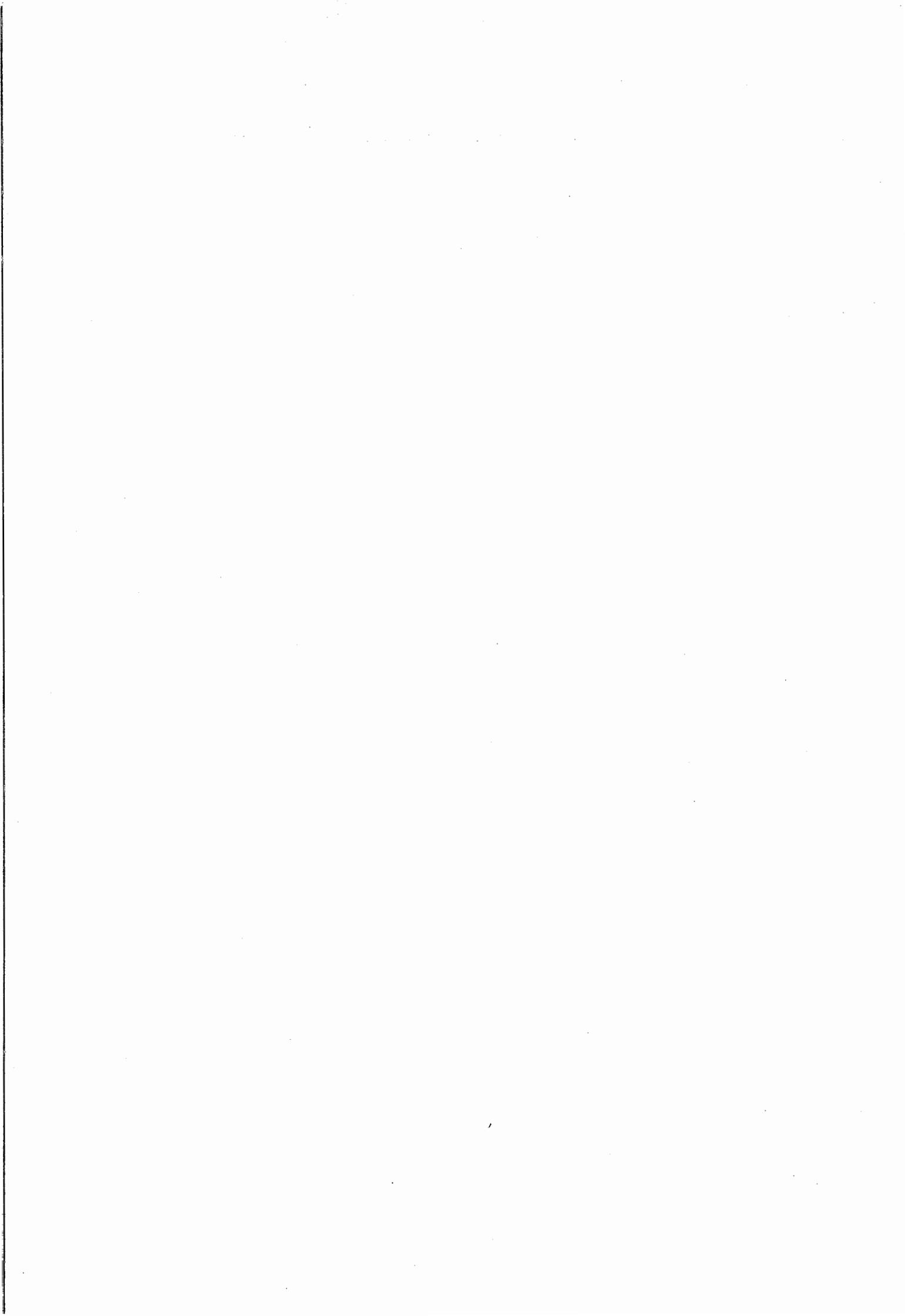
1 SAINTE VICTOIRE

2 LUBERON

3 Mt de VAUCLUSE-VENTOUX-LURE

BASSE PROVENCE
SILICEUSE





2.2.2.2. Niveau d'études détaillées

Il se base sur les facteurs précédemment étudiés auxquels s'ajoutent ceux que l'on ne peut observer que sur le terrain (profondeur du sol, % d'éléments grossiers, fissuration de la roche, exposition stationnelle, micro-topographie, évolution de la pédogenèse, flore ...).

Il doit apporter des réponses précises pour la réalisation de projets détaillés et travaux. C'est à dire estimer de façon fiable les potentialités des sites, et permettre de comprendre les variations observées.

Entre les deux niveaux, il existe des relations qui peuvent être précisées pour aider au passage du général au détail : les sols, leur évolution, les éléments de la micro-topographie, les pentes, etc... ne se répartissent pas au hasard, mais s'organisent généralement de façon logique dans le paysage. Les approches géo-morphologiques et pédo-paysagères, qui font partie intégrante de l'étude dans la phase de structuration du milieu, permettent de mettre en évidence cette distribution des facteurs, et de l'utiliser ensuite dans la restitution. Les cartes de pédo-paysages, en cours de réalisation par divers organismes dans la région PACA, (INRA, SCP) pourront être à terme intégrées dans le SIG et permettre d'aller plus loin dans le détail de la cartographie automatique.

2.2.3. Approche des potentialités

Le but n'est pas de définir des stations forestières au sens classique du terme, mais un indice de potentialités, basé sur la connaissance des compensations et interactions entre facteurs.

Les classes de potentialités pourront réunir des situations que des études de stations auraient automatiquement séparées. La définition de classes à partir de cet indice pourrait être modulée en fonction des besoins, alors que les stations d'un catalogue sont fixées une fois pour toutes. D'autre part, les modèles se basent sur le poids que l'on donne à chaque facteur. Ces modèles de base pourront être adaptés en modifiant la pondération entre les facteurs. Par exemple, pour utiliser la méthode en reboisement, en donnant moins de poids au pourcentage de cailloux dans le sol pour une espèce qui est peu sensible à cet aspect, ou plus à la fissuration de la roche pour une espèce qui exploite bien cette fissuration.

3. Avancement de l'étude en 1995

3.1. . . Numérisation des cartes

Le travail de numérisation a été réalisé partiellement sur la zone d'étude, pour les cartes géologiques en 1995 (voir carte n° 1 en annexe). Toutes les autres cartes seront numérisées début 1996. Cette numérisation constitue le principal investissement financier de l'étude. Elle est à la base de l'ensemble des travaux qui vont suivre.

3.2. . . Extrapolation du catalogue de la Sainte Victoire

Le premier test d'extrapolation a été réalisé sur le catalogue de la Sainte Victoire (voir carte n° 3 page suivante). Plusieurs raisons ont poussé à ce choix.

- c'est un catalogue très précis dans la définition des stations,
- il est très varié au niveau des milieux, mais simple d'utilisation,
- il est central par rapport à la zone d'étude,
- il est à cheval sur deux régions climatiques, ce qui permet de faire l'extrapolation dans ces deux régions, et donc de les comparer sur une même base.

Au sein de ce catalogue, on a porté le choix sur deux roches : les calcaires marneux, et les marnes.

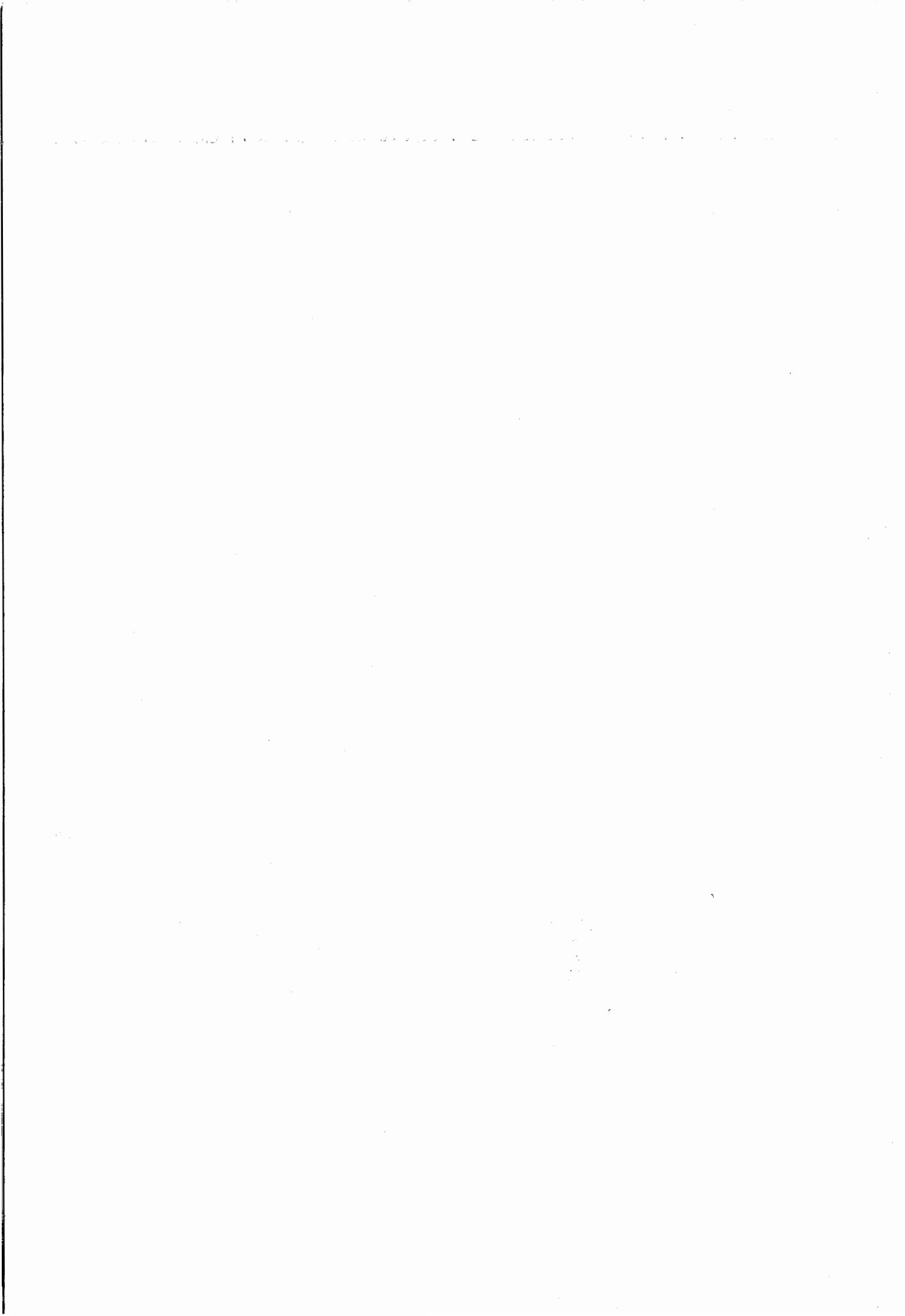
- qui sont présents sur les deux secteurs climatiques dans la zone de réalisation du catalogue,
- que l'on pouvait rencontrer à peu près partout dans la région et dans la zone d'étude,
- qui étaient facile à reconnaître même pour un observateur peu expérimenté.

TEST D'EXTRAPOLATION DU CATALOGUE DE LA ST.VICTOIRE

REALISE SUR CALCAIRE MARNEUX ET MARNE

LOCALISATION DES RELEVÉS





On s'est limité à ces deux roches, car on voulait dans cette première approche un petit nombre de variables, et parcequ'on avait peu de temps pour réaliser les relevés.

Le but était de voir si l'extrapolation du catalogue hors de sa zone de réalisation avait un sens, et de mettre les variations observées de la flore en relation avec les variations de quelques principaux facteurs du milieu.

100 relevés ont ainsi été réalisés dans un rayon de 40 Km autour du massif, de façon aléatoire pour éviter tout biais lié au choix du descripteur. On y a noté pratiquement toutes les informations qui avaient été collectées pour la réalisation du catalogue.

La comparaison entre les stations du catalogue et les relevés d'extrapolation a porté sur la flore. Nous avons créé un indice floristique, en fonction des groupes de plantes indicatrices du catalogue.

Après une première série de traitements et analyse de la situation de chaque point, 42 relevés ont été écartés. Ils présentaient des particularités qui brouillaient les résultats : milieux excessivement anthropisés, formations superficielles non rencontrées dans la zone d'étude, feu très récent ... L'indice floristique n'y avait pas de sens. Ils seront bien sûr réintégrés à un stade ultérieur de l'étude, comme représentatifs de certaines conditions assez bien représentées par ailleurs.

C'est sur les 58 relevés restant que l'on a tenté d'ébaucher un modèle de compensation entre facteurs.

Le premier résultat de ce travail est que l'extrapolation d'un catalogue, hors de sa zone de conception, est un exercice difficile, car :

- on trouve fréquemment des combinaisons roche/altitude ou roche/formations superficielles qui ne sont pas représentées dans la zone d'étude,
- certaines variations dans la flore sont liées à la répartition géographique irrégulière des espèces, et non à des facteurs de milieu. Cette irrégularité peut être naturelle, ou d'origine anthropique comme il a déjà été dit.
- certaines plantes présentent également des écotypes dont l'écologie peut être différente d'un massif à l'autre.
- enfin les compensations entre facteurs peuvent faire varier de façon notable la réponse écologique des plantes (voir tableau n°1 page suivante).

Il est apparu clairement que l'utilisation des catalogues existant, pour la suite de l'étude, exigeait un approfondissement des aspects floristiques, si l'on souhaitait un indice floristique fiable.

3.3. . Comparaisons des groupes floristiques des catalogues

On a cherché à comparer les groupes floristiques indicateurs qui ont été retenus dans 5 études :

4 catalogues de stations (Ventoux-Lure, Luberon, Murs, Sainte-Victoire), et une synthèse des études autécologiques régionales (L. Gombault). On a analysé le comportement de ces espèces suivant 4 composantes : gradient d'acidité, gradient de bilan hydrique, région climatique, gradient d'exigence en lumière. Les espèces ne sont pas traitées pour l'ensemble de ces aspects dans chaque catalogue. L'étude des profils indicés a été réalisée pour le catalogue Ventoux -Lure. Pour les autres, on s'est basé sur les analyses déjà effectuées et les commentaires des auteurs.

Ce travail n'est qu'ébauché, mais il montre que:

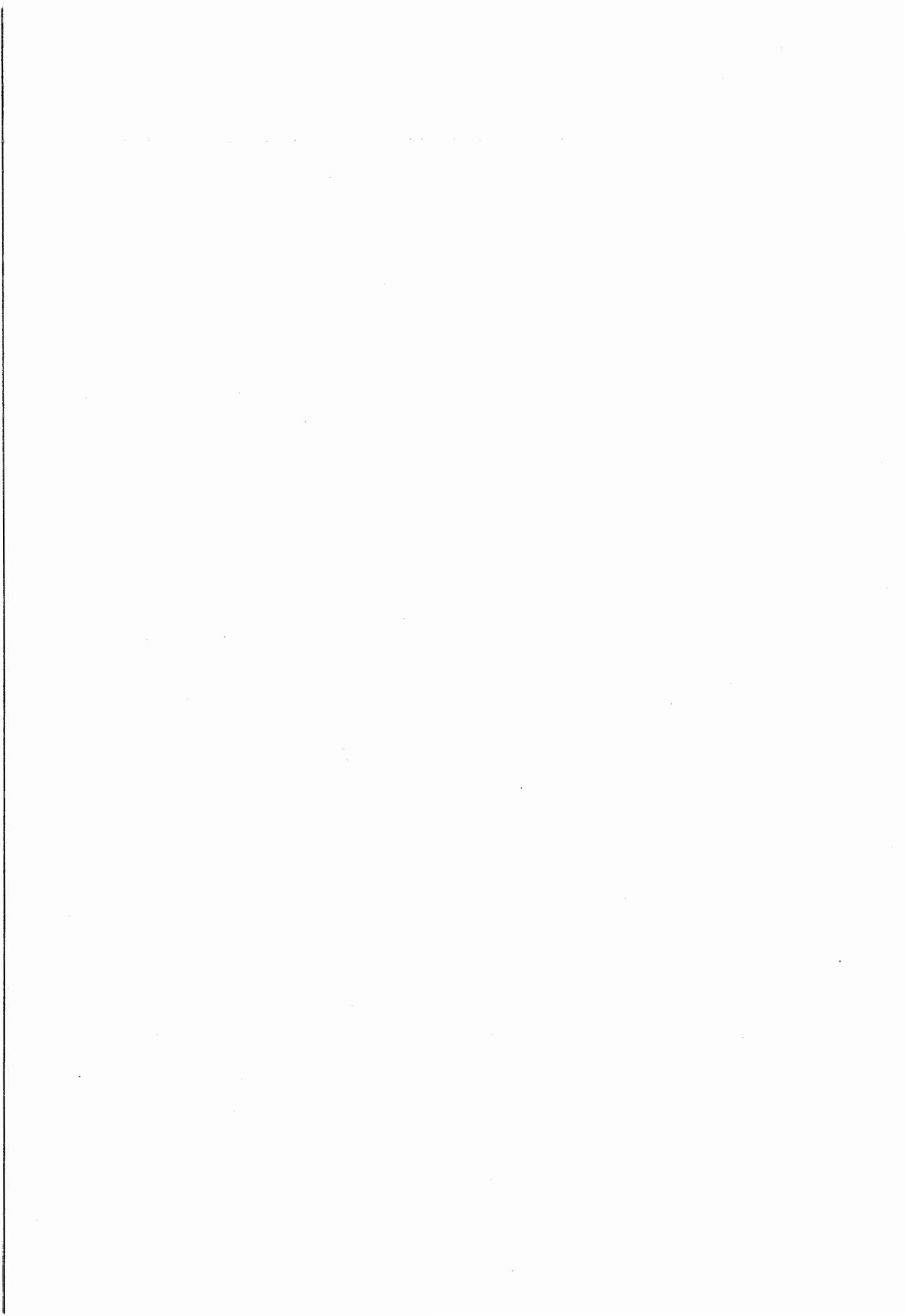
- 650 plantes ont été rencontrées de façon significative dans au moins 1 des études,
- les plantes communes à au moins 3 études sont globalement assez nombreuses (60 à 70%) si on retient la liste totale des espèces rencontrées.
- Il n'y a que 30 % d'espèces communes si on se limite aux groupes floristiques retenus dans chaque étude, la majorité de celles-ci faisant partie des groupes à large amplitude écologique, donc sans grande valeur dans l'interprétation du milieu.
- seules 54 espèces, soit moins de 10 % du total, se retrouvent en commun dans les groupes à forte valeur prédictive d'au moins 3 catalogues, et 30 espèces à peine sont communes aux groupes indicateurs de l'ensemble des 5 études. Parmi ces dernières, certaines ont un comportement écologique à peu près stable, d'autres ont une écologie assez changeante suivant les études. Le tableau n° 1 donne un exemple des comparaisons qui ont été effectuées.

Extrait des tableaux de comparaison des flores des différents catalogues

Tableau n° 1

TAXONS	LUBERON		SAINTE VICTOIRE		VENTOUX LAURE		MURS		Présence/absence dans les études				
	Chimie	Bilan hyd. / Etage clim. / Lumière	Chimie	Bilan hyd. / Etage clim. / Lumière	Chimie	Bilan hyd. / Etage clim. / Lumière	Chimie	Bilan hyd. / Etage clim. / Lumière	STE VICT.	LUBERON	VENTOUX	GOMBAULT	MURS
<i>Acer campestre</i> L.	N	M SA	M SA	sc	CI	M SA	h	.	1	1	1	1	1
<i>Acer monspessulanum</i>	LA	x LA	M SA	sc	CI	x SA	h	.	1	1	1	1	1
<i>Amelechier rotundifolia</i>	.	X LA	SA	sc	LA	x SA	h	LA	1	1	1	1	1
<i>Aphyllanthes monspeliensis</i> L.	.	X SA	M MO	H	LA	x SA	h	LA	1	1	1	1	1
<i>Argyrobolium zanonii</i> P. Ball	.	X MO	MO	H	CI	x SA	h	MO	1	1	1	1	1
<i>Astragalus monspessulanus</i> L.	.	X SA	SA	H	LA	x SA	H	SA	1	1	1	1	1
<i>Brachypodium phoenicoides</i>	.	X SA	SA	H	.	.	.	.	1	1	1	1	1
<i>Brachypodium pinnatum</i>	LA	x SA	SA	SC	A	x SA	h	SA	1	1	1	1	1
<i>Bromus erectus</i>	.	X LA	SA	H	CA	.	.	.	1	1	1	1	1
<i>Buxus sempervirens</i>	LA	LA LA	SA	H	CI	x SA	.	LA	1	1	1	1	1
<i>Campanula glomerata</i>	LA	x LA	SA	.	LA	x SA	.	.	1	1	1	1	1
<i>Carex glauca</i>	.	x/h	SA	H	LA	x/h SA	.	.	1	1	1	1	1
<i>Carex halleriana</i>	.	X LA	LA LA	LA	LA	x SA	h	.	1	1	1	1	1
<i>Carex humilis</i>	.	X LA	LA LA	LA	N	x SA LA	h	.	1	1	1	1	1
<i>Catananche coerulesca</i>	.	X SA	SA	H	LA	x LA	h	.	1	1	1	1	1
<i>Cistus albidus</i>	.	X MO	MO	H	CA	.	.	.	1	1	1	1	1
<i>Cornus sanguinea</i>	.	x LA	SA	SC	LA	M SA	.	.	1	1	1	1	1
<i>Coronilla emerus</i>	LA	x LA	SA	SC	CI	x SA	.	SA	1	1	1	1	1
<i>Coronilla minima</i>	.	X LA	MO	H	LA	x SA	h	.	1	1	1	1	1
<i>Crataegus monogyna</i>	.	x LA	SA	SC	.	.	.	SA	1	1	1	1	1
<i>Cytisus sessifolius</i>	LA	x LA	.	SC	CA	x SA	h	SA	1	1	1	1	1
<i>Dorycnium suffruticosum</i>	.	X SA	.	.	CI	x SA	h	LA	1	1	1	1	1
<i>Echinops ritro</i>	.	X LA	SA	H	CA	x SA	H	.	1	1	1	1	1
<i>Erica scoparia</i>	a	X	MO	SC	.	.	.	.	1	1	1	1	1
<i>Euphorbia characias</i>	.	x MO	MO	SC	.	.	.	MO	1	1	1	1	1
<i>Euphorbia cyparissias</i>	LA	x LA	SA	h	.	.	.	LA	1	1	1	1	1
<i>Evonymus europaeus</i>	N	M LA	SA	sc	CA	M SA	sc	.	1	1	1	1	1
<i>Festuca ovina</i>	LA	LA LA	LA LA	LA	.	.	.	SA	1	1	1	1	1
<i>Gnista hispanica</i>	.	X LA	SA	SC	LA	x SA	h	SA	1	1	1	1	1
<i>Gnista pilosa</i>	LA	x LA	SA	SC	LA	x SA	h	SA	1	1	1	1	1
<i>Globularia alypum</i>	.	XX	MO	H	CA	.	.	.	1	1	1	1	1
<i>Hedera helix</i>	.	x	SA	SC	.	.	.	.	1	1	1	1	1
<i>Helianthemum hirtum</i>	.	X MO	LA	MO	LA	M SA	.	.	1	1	1	1	1
<i>Helianthemum italicum</i>	.	X MO	LA	h	CA	.	.	.	1	1	1	1	1

Tous groupes : LA = Large Amplitude; . = non significatif ou non représenté
 Chimie : CA = calcicole; CI = calcicole; N = neutre; a = acidophile; A = acidophile
 Bilan hydrique : X = xérophile; x = xérocline; M = mésophile; h = hygrocline; H = hygrophile
 Etage climatique : MO = méso-méditerranéen; SA = supra-méditerranéen
 Lumière : H = héliophile; h = semi-héliophile; sc = semi-sclérophile; SC = sclérophile



Il y a donc un travail important à faire pour trouver des groupes d'espèces qui seraient de bons indicateurs au niveau régional, ou au moins au niveau de secteurs climatiques. Le fait que certaines plantes, fortement indicatrices pour un catalogue, aient une écologie différente dans d'autres secteurs, est aussi un indice important pour comprendre les compensations de facteurs. Les groupes floristiques régionaux devront intégrer cette variabilité.

La mise au point d'un ou plusieurs indices floristiques passera par l'analyse d'un nombre très élevé de relevés, répartis dans toute la région. Il faudra aussi poursuivre l'analyse des profils indicés des plantes indicatrices, pour les catalogues qui n'ont pas été exploités au maximum pour cet aspect.

Un dernier point important de l'analyse floristique est l'étude de la dynamique de la végétation, pour pouvoir re-situer un cortège de plantes dans un stade d'évolution. On peut ainsi beaucoup mieux interpréter des relevés dans les zones en pleine évolution. L'exemple type est le catalogue de la Provence cristalline, où on a deux séries de groupes floristiques : une pour les zones incendiées depuis moins de 10 ans, et une pour les zones d'incendies plus anciens ou non brûlées. Bien que ce découpage soit sommaire, il améliore considérablement la correspondance entre la flore et les facteurs abiotiques.

3.4. Utilisation d'un indice floristique

3.4.1. Mise au point de l'indice

A partir des 52 relevés conservés pour l'extrapolation du catalogue de la Sainte-Victoire, on a cherché à bâtir un indice floristique. Nous l'avons calculé à partir des groupes indicateurs du catalogue. Ces groupes ont été particulièrement bien étudiés au niveau des gradients écologiques, et peuvent être globalement classés de 1 à 13 en fonction d'un gradient de bilan hydrique et thermique, donc grossièrement un gradient de potentialités croissantes.

Plusieurs méthodes de calcul ont été testées, depuis un modèle purement linéaire jusqu'à des modèles progressifs. On a finalement opté pour un modèle de moyenne pondérée, centré sur le groupe 7, à très large amplitude et sans signification particulière. On a considéré que le poids de la présence d'un autre groupe était d'autant plus fort qu'il était plus éloigné de la moyenne. La présence des groupes 1 à 3 ou 10 à 13 traduit des conditions respectivement beaucoup plus défavorables ou au contraire beaucoup plus favorables que la moyenne. Le passage des groupes centraux à l'un de ces groupes extrêmes indique un gradient fort, tandis que le passage d'un groupe à l'autre dans la partie centrale ne traduit que des changements plus limités.

Ce modèle permet d'ajuster sommairement l'indice floristique à l'altitude réelle du relevé (voir le graphique n° 4). Ce critère n'est pas le plus fiable, mais c'est une première approche. Elle a permis de poursuivre l'étude de faisabilité de la modélisation des compensations entre facteurs.

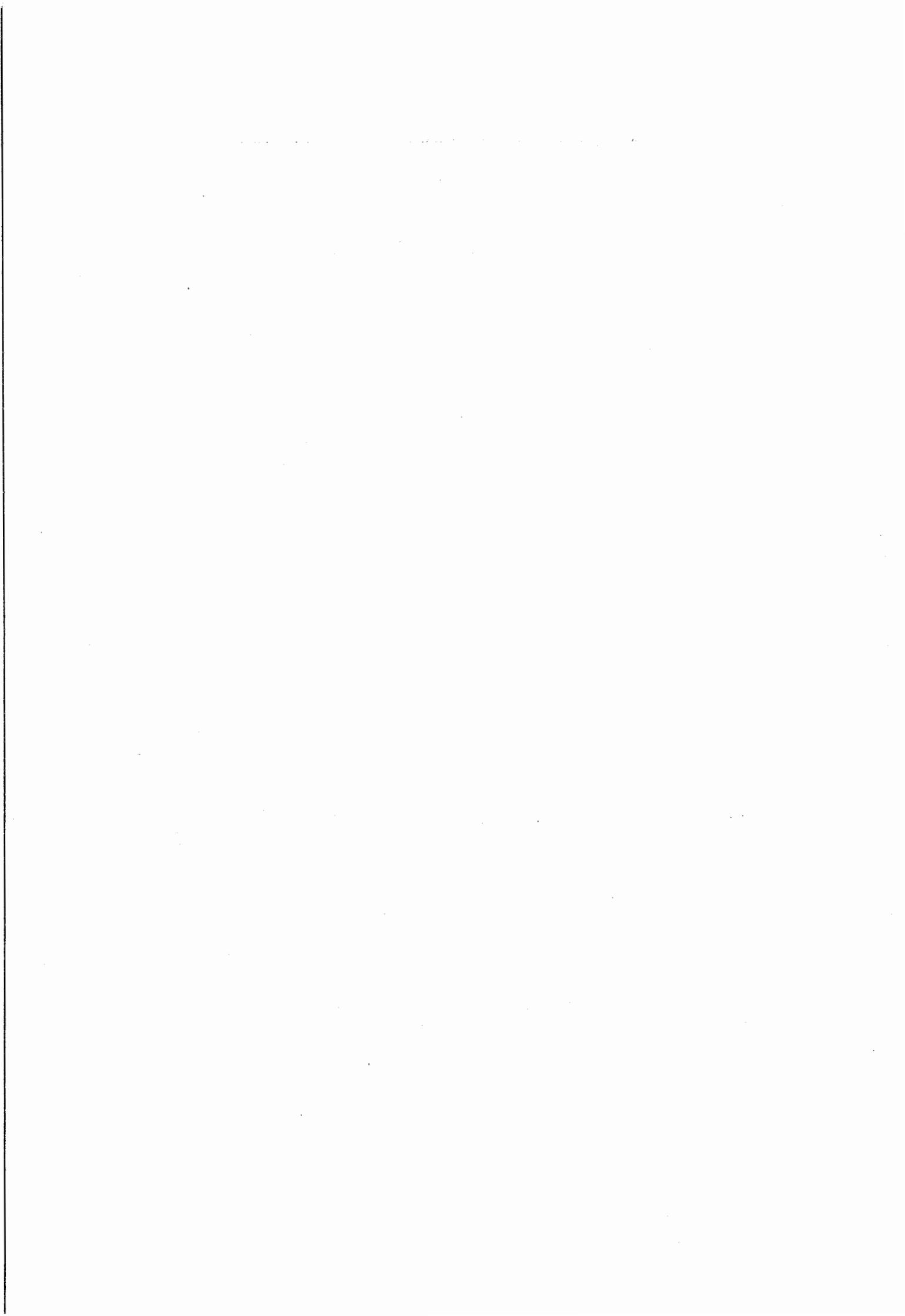
Il faudra bien entendu améliorer cet indice, en fonction des résultats déjà obtenus pour la modélisation des compensations dans le cas de la Sainte Victoire, puis en fonction des groupes floristiques régionaux.

3.4.2. Les tendances naturelles de variation de l'indice

L'indice obtenu répond de façon logique aux variations des principaux facteurs du milieu, sans aucun artifice mathématique.

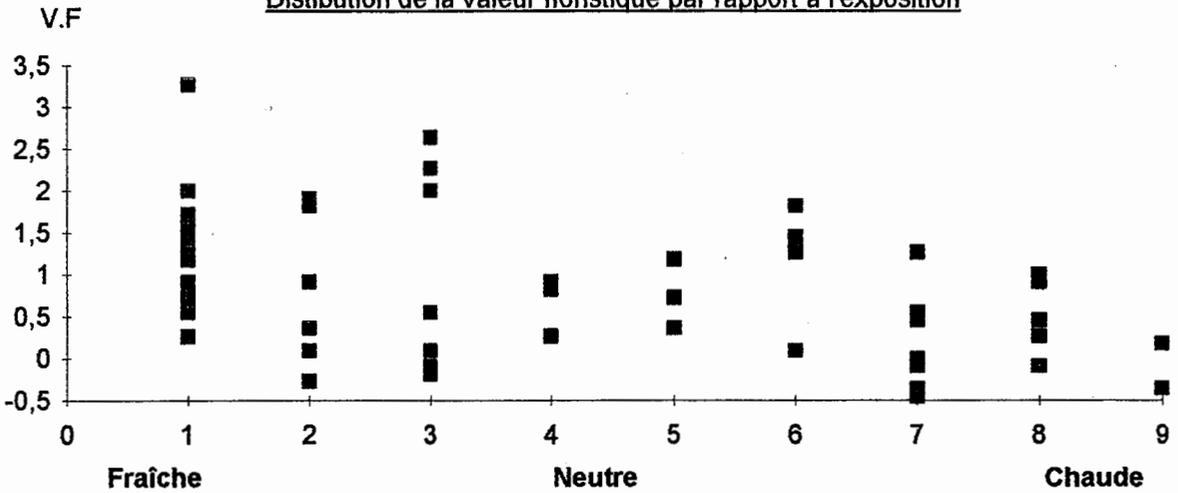
Les graphiques n° 1 à 3, page suivante, et 4, montrent deux exemples des corrélations testées. On met en évidence les variations de l'indice floristique en fonction d'un seul facteur, exposition générale ou altitude.

Les coefficients de détermination (R^2) sont faibles, puisqu'on n'a pas tenu compte des facteurs de compensation non impliqués dans chaque graphique (en particulier secteur climatique, roche, profondeur et type de sol ...), mais ils sont significatifs. Ces corrélations n'ont rien de surprenant et valident simplement l'indice floristique en tant qu'indicateur. Il restait à prouver que l'on pouvait aller beaucoup plus loin dans cette voie, en particulier en montrant et éventuellement en calculant les compensations entre facteurs..



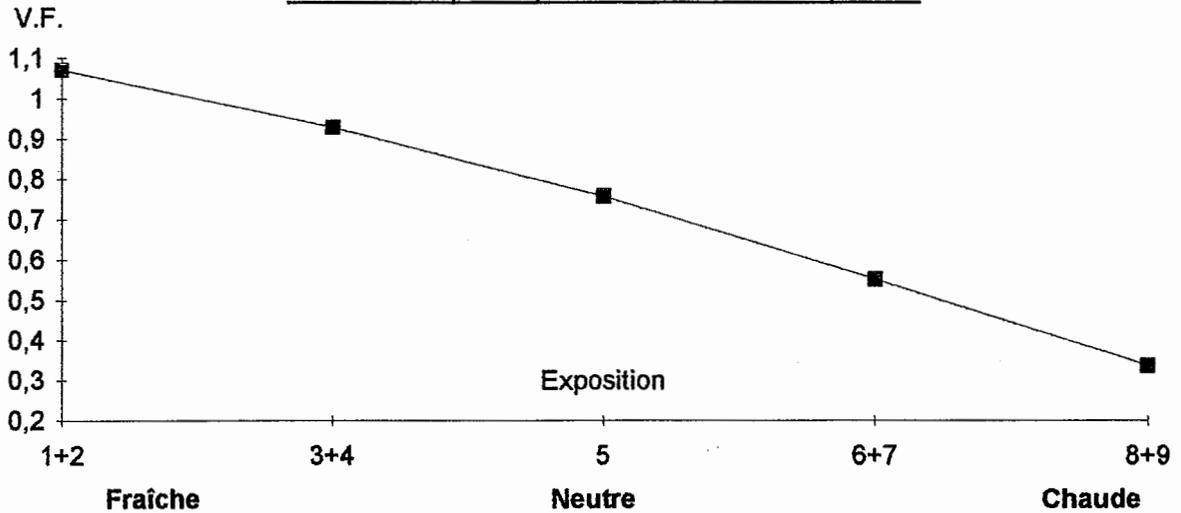
Graph. n° 1

Distribution de la valeur floristique par rapport à l'exposition



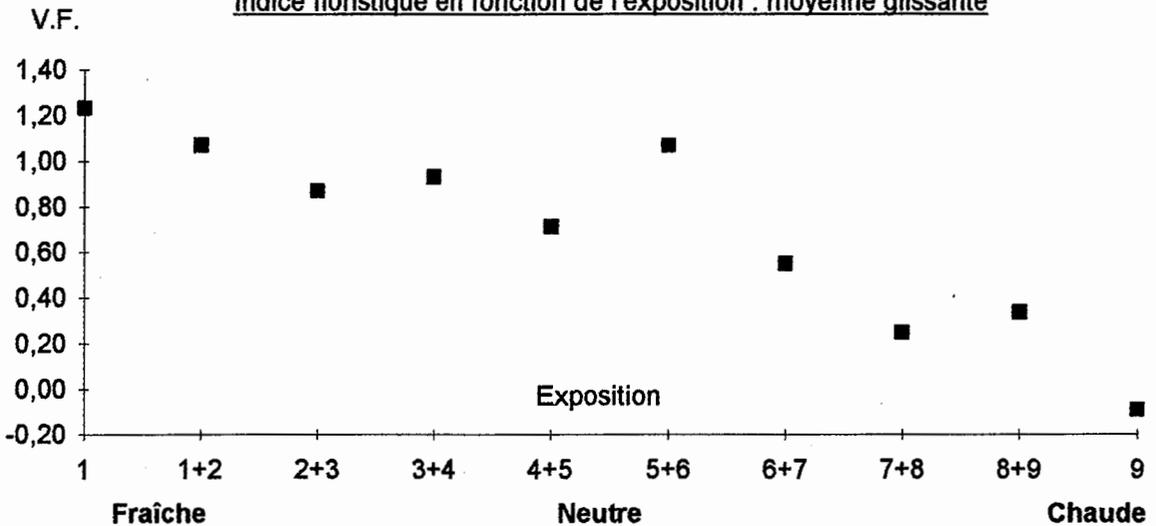
Graph n° 2

Valeur floristique moyenne en fonction de l'exposition



Graph. n° 3

Indice floristique en fonction de l'exposition : moyenne glissante



V.F. = Indice Floristique (Valeur Floristique)

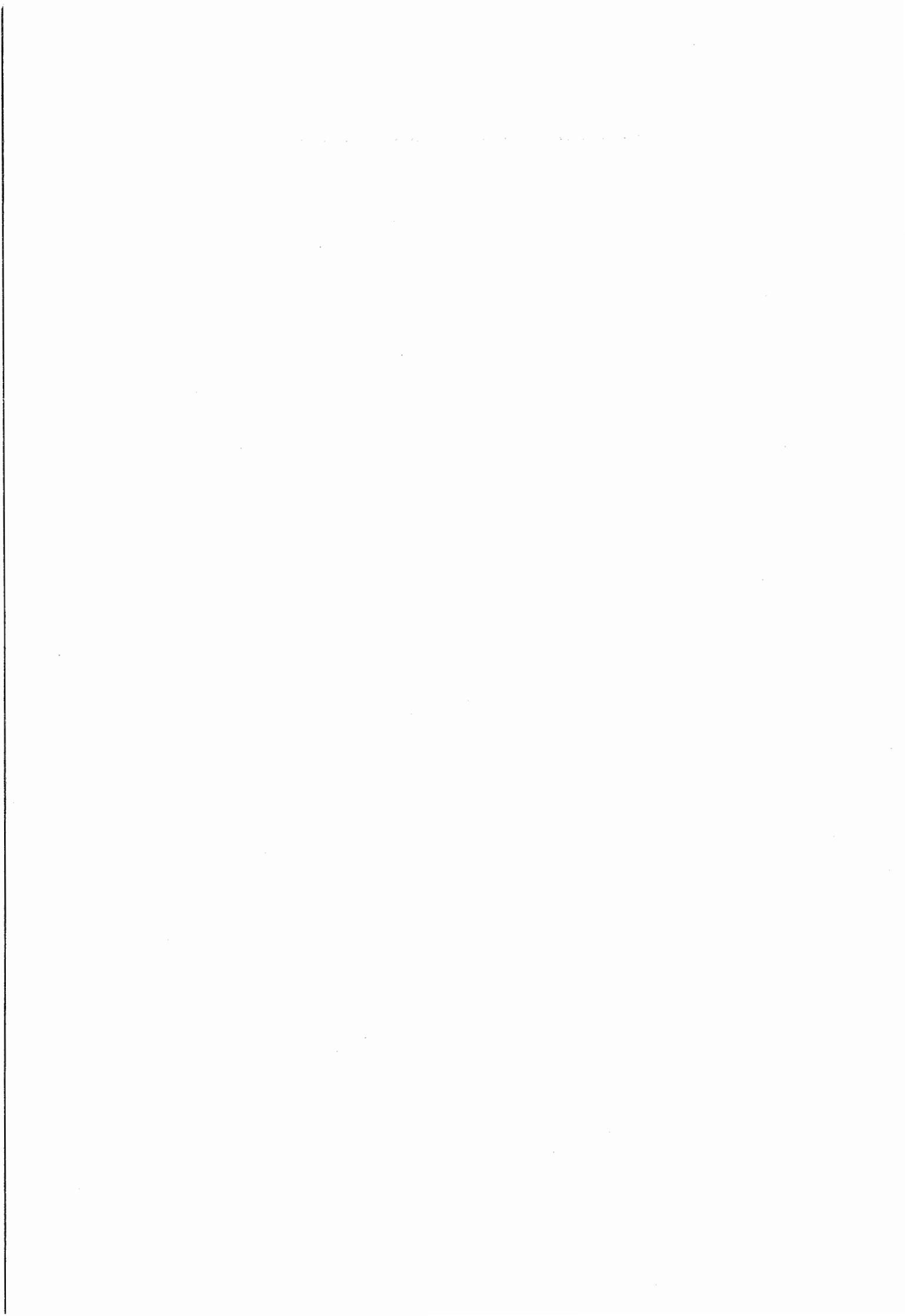


Tableau n° 2 : Variations de l' Indice Floristique en fonction de l'exposition

Exposition Générale	Code expo. générale	moy indice floristique	Nombre relevés	Classes thermiques	Moyenne classes	Classes glissantes	Moyennes glissantes
Nord	1	1.23	16	1+2	1.07	1	1.23
Nord-Est	2	0.70	7			1+2	1.07
Nord-Ouest	3	1.04	7	3+4	0.93	2+3	0.87
Est	4	0.67	3			3+4	0.93
Neutre	5	0.76	3	5	0.76	4+5	0.71
Ouest	6	1.23	6			5+6	1.07
Sud-Est	7	0.10	9	6+7	0.55	6+7	0.55
Sud-Ouest	8	0.51	5			7+8	0.25
Sud	9	-0.09	2	8+9	0.34	8+9	0.34
						9	-0.09

3.4.3. Essais de modélisation des variations de l'indice

Le but de ces essais était double :

- aboutir à un modèle d'équation qui permette d'affiner au mieux la corrélation entre facteurs du milieu et indice floristique.
- savoir si on pouvait estimer le poids de chaque facteur dans le modèle, donc mesurer son influence individuelle sur les potentialités, et ses éventuelles interactions avec les autres facteurs.

Cette démarche n'a été qu'ébauchée dans la mesure où on ne disposait que d'un nombre limité de relevés et d'un indice floristique non optimisé. Elle sera reprise plus tard sur des données plus nombreuses et plus fiables.

Il s'agissait surtout d'un test de faisabilité.

3.4.3.1. Indice de potentialités (ou indice d'intégration des facteurs du milieu)

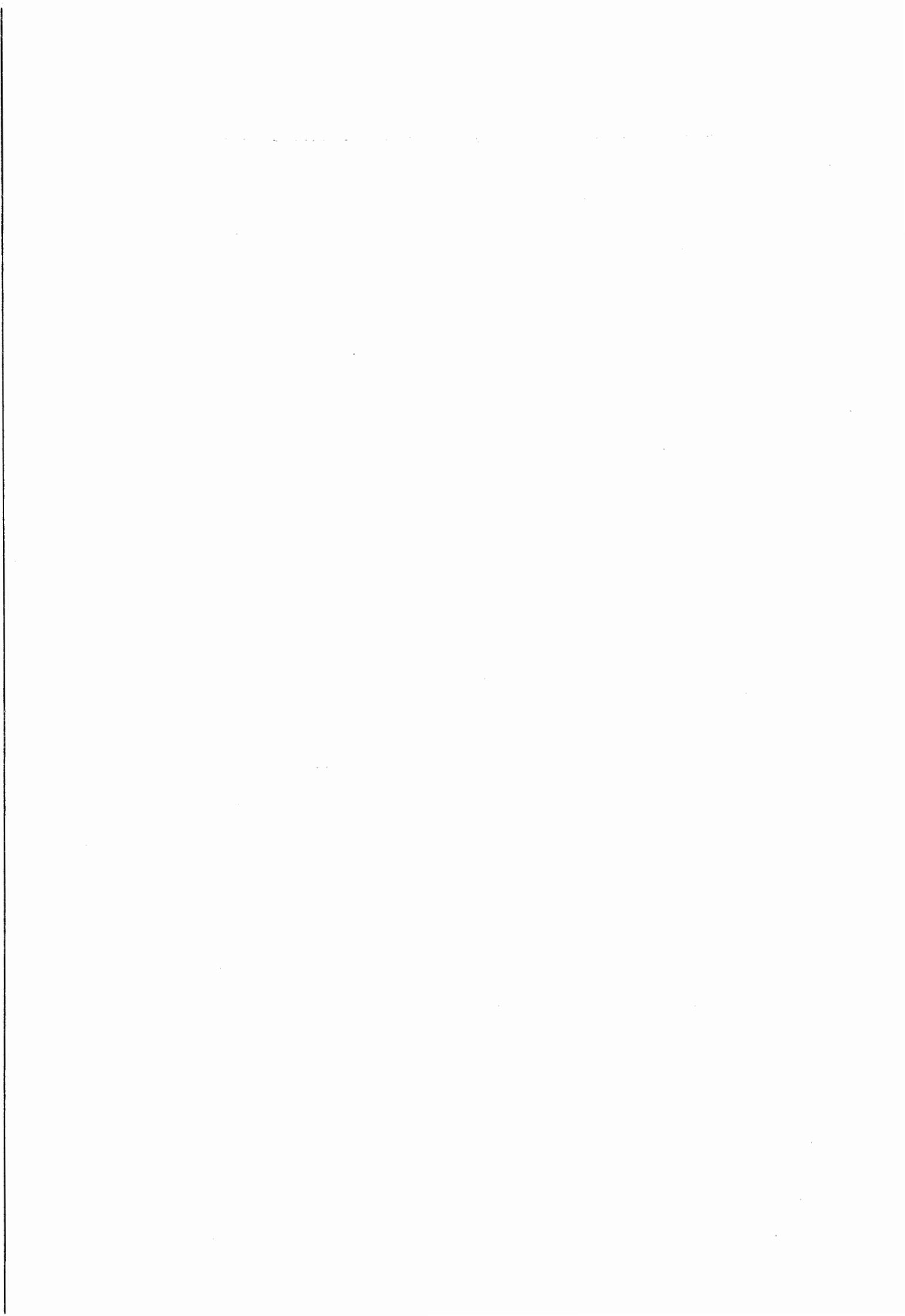
En se référant aux travaux passés, en particulier au catalogue de stations Ventoux-Lure, on a choisi d'intégrer tous les facteurs du milieu dans le concept d'altitude compensée :

Le cas le plus simple est celui de l'exposition. On constate par exemple que les relevés présentant la même flore sont décalées de 300 m en altitude entre les versant sud et nord, à tous autres facteurs égaux. On attribuera donc à l'exposition un poids de 300 m, et pour comparer les versants en fonction des autres facteurs, on donnera à une station en versant nord une altitude compensée égale à son altitude réelle plus 300 m. Si on cherche à être plus précis, la différence entre deux versants peut se mesurer en indice de rayonnement. On peut calculer sur un nombre suffisant de relevés la compensation correspondant à chaque unité de l'indice de rayonnement, et ainsi comparer des relevés ayant des expositions quelconques.

De la même manière, à partir de l'altitude réelle de chaque relevé, on considère que chaque facteur, suivant ses variations, a une influence positive ou négative sur les potentialités du milieu, qui peut se traduire par une compensation d'altitude. Cette assimilation théorique est compréhensible dans la mesure où le gradient des bilans hydriques et thermiques est très prédominant dans la potentialité des milieux.

Lorsqu'on intègre un nombre important de facteurs, l'altitude compensée perd sa signification première et devient en fait un **indice de potentialités**. C'est cet indice que l'on a utilisé dans notre modélisation.

Pour rester dans la logique d'une restitution à deux niveaux, on a dans un premier temps travaillé uniquement sur les facteurs du milieu qui pouvaient être traités automatiquement dans un SIG, à partir des cartes et données existantes. On voulait ainsi savoir si un modèle destiné à une cartographie automatique pouvait rendre compte d'une part importante de la variabilité du milieu.



Ont donc été pris en compte :

- l'altitude réelle, donnée de base accessible par le modèle numérique de terrain IGN, (MNT)
- la petite région climatique, basée sur le découpage Cemagref dont la carte est numérisée,
- la roche sous-jacente, disponible sur les cartes géologiques en cours de numérisation,
- l'exposition générale, calculable à partir du MNT

On a intégré à part l'indice de rayonnement. Cet indice, calculable à partir du MNT lorsqu'il porte sur l'exposition générale, dépend de la pente en plus de l'exposition, et apporte donc une information supplémentaire. Mais on ne disposait pas de la pente générale du versant. En pratique dans les relevés, il a été calculé sur l'exposition et la pente stationnelle (au niveau du relevé), qui peuvent être différentes de l'exposition générale. Il ne pouvait donc pas, dans cet essai de modélisation sur les relevés existant, être pris en compte comme les autres facteurs cartographiables automatiquement. Il était intéressant cependant de voir ce qu'il apportait au modèle, dans la mesure où il peut normalement faire partie du premier niveau.

On a testé en tout plusieurs centaines de modèles.

Partant du nuage de point de la régression valeur floristique/altitude réelle, on a intégré les facteurs à tour de rôle séparément, puis ensemble, pour calculer une altitude compensée ou un indice de potentialités. Pour chaque modèle on a fait varier les coefficients de chaque facteur en cherchant à optimiser le coefficient de détermination de la régression indice floristique = $f(\text{indice de potentialités})$ pour l'ensemble des 58 relevés retenus.

Le test portant sur deux régions climatiques et deux roches, on a cherché simultanément à optimiser et équilibrer les coefficients de détermination de la même régression pour chaque secteur et chaque roche. On a en effet constaté, que les coefficients de détermination des équations partielles (entre les deux roches ou les deux secteurs climatiques), variaient de façon inverse lorsqu'on faisait varier le coefficient de certains facteurs du milieu : en raison sans doute d'un échantillonnage pas totalement équilibré et du nombre réduit de relevés, mais peut-être aussi interactions entre ces facteurs, le climat et le sol.

On ne détaillera pas les différents modèles testés, car cette démarche n'est qu'amorcée, mais on donne ci dessous les principaux résultats et les conclusions provisoires de cet essai de modélisation.

On part d'une régression globale indice floristique/altitude réelle avec un coefficient de détermination de 0,29, ce coefficient étant variable pour les sous échantillons par roche et région : voir graphiques n° 4 à 6, et n° 10 et 11

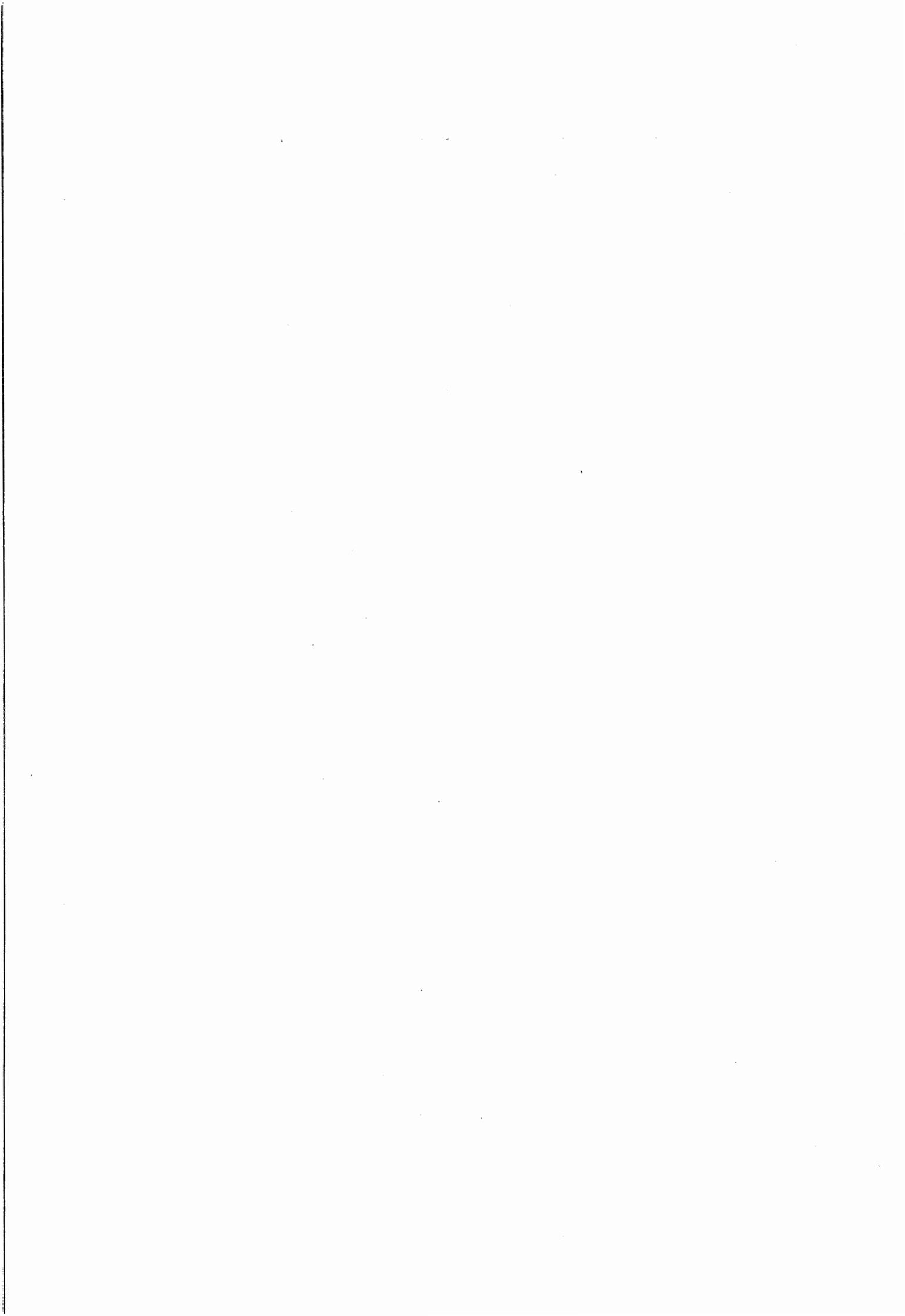
Tous relevés	basse Provence	arrière pays	calcaire marneux	marne
0.29	0	0.32	0.32	0.48

3.4.3.2. Approche par un modèle linéaire

On a dans un premier temps considéré que la réponse de l'indice de fertilité pouvait être à peu près linéaire par rapport aux variations des facteurs du milieu. On a donc intégré les facteurs sous la forme $a \cdot x$ ou $a \cdot (c - x)$ où x est le facteur avec sa valeur réelle, a le coefficient de pondération à optimiser et éventuellement c une constante. Cette dernière forme permet de faire jouer un facteur de façon positive ou négative suivant qu'il est supérieur ou inférieur à une valeur donnée. Par exemple, l'exposition générale (EG) a été codée de 1 à 9 suivant un gradient de chaleur, la valeur centrale (5) correspondant à un site horizontal, donc neutre pour ce facteur. L'intégration sous la forme $a \cdot (5 - EG)$ permet de faire diminuer ou augmenter l'altitude compensée suivant que l'on est en exposition chaude ($EG > 5$) ou en exposition froide ($EG < 5$).

Quel que soit le modèle linéaire utilisé, le coefficient de détermination (R^2) pour l'ensemble de l'échantillon plafonne à 0,58 ce qui constitue déjà un progrès considérable, par rapport à la valeur de départ (0,28). Les valeurs de ce coefficient pour les sous échantillons sont très variables, en fonction des facteurs pris en compte.

La simple prise en compte de l'exposition générale donne une valeur de 0,58 pour les relevés sur marnes, valeur qui ne sera que peu améliorée en intégrant tous les autres facteurs, même avec les modèles non linéaires globalement plus satisfaisants. Pour optimiser le coefficient des relevés sur calcaire marneux dans un modèle linéaire, on est même obligé de perdre de façon importante sur celui des marnes. On arrive cependant avec certains modèles à un équilibre satisfaisant entre les deux roches et aussi entre les deux secteurs climatiques.



L'équation suivante n'est qu'un exemple : $IP = \text{indice de potentialités}$

$$IP = AR - 39,67 EG + 4,28 IKR + 129 Sect + 209 Roche$$

où : AR = altitude réelle, EG = code d'exposition générale, IKR = indice de rayonnement, Sect = code du secteur climatique, Roche = code de la roche.

L'intégration successive des différents facteurs et le test de nombreux modèles permet de dégager des tendances intéressantes pour certains facteurs.

Ainsi, quel que soit le modèle, pour ceux dont le coefficient de détermination approche l'optimum, la proportion des corrections entre la roche et le secteur climatique est assez constant. Ces corrections traduites en altitudes compensées correspondent à une différence d'environ 100 à 120 m entre les deux types de roches concernées, et 200 à 220 m entre les deux secteurs climatiques.

L'exposition générale est le facteur qui semble le plus puissant. Si on cherche à introduire l'exposition stationnelle, qui peut être très différente de l'exposition générale, on améliore le résultats pour les sous échantillons mais assez peu pour l'ensemble des relevés. L'indice de rayonnement n'apporte pas beaucoup de précision supplémentaire par rapport à l'exposition générale, dans la mesure où il lui est en grande partie lié, mais il améliore aussi le résultats pour certains sous échantillons.

L'intégration de la roche et du secteur climatique améliore sensiblement le résultat global, montrant que ces deux facteurs ont aussi un rôle important à jouer

3.4.3.3. Prise en compte de variations non linéaires

Bien que déjà satisfaisante, l'amélioration apportée par les modèles linéaires est insuffisante pour que la méthode soit fiable. On a alors cherché à savoir si les variations des pondérations de certains facteurs n'avaient pas des résultats différents en fonction des relevés.

On a mesuré les variations induites dans l'indice de potentialité des différents relevés, pour chaque facteur dans toute l'étendue de son domaine de variation. En se basant sur l'expérience de terrain, on a alors découpé le domaine de variation de certains facteurs en classes, et adopté une pondération différente pour chaque classe.

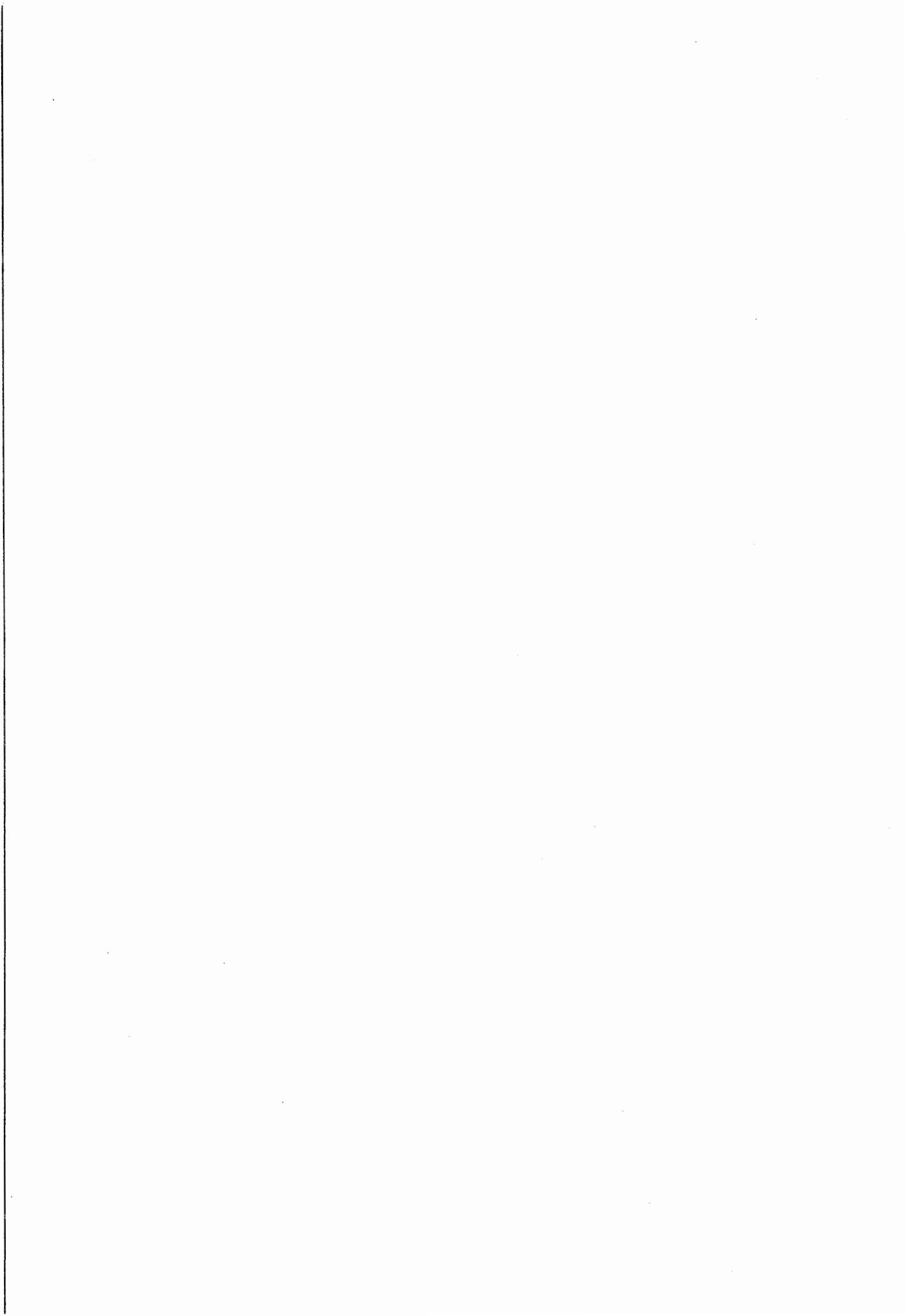
L'altitude réelle et l'indice de rayonnement ont ainsi été scindés. Après plusieurs simulations, faisant varier le nombre de classes et les pondérations, on a conservé 3 classes pour l'altitude réelle et 2 pour l'indice de rayonnement. Cette opération a permis de gagner beaucoup sur les coefficients de détermination, celui de l'équation globale atteignant 0,64.

Plusieurs modèles, parfois assez différents, donnent ce même coefficient de détermination global, et nous donnons à titre d'exemple celui qui assure le meilleur équilibre entre les sous-échantillons (voir au bas des feuilles de graphiques n° 4 à 13). Cette pluralité de modèles corrects n'est pas surprenante, dans la mesure où les facteurs pris en compte ne sont pas tous indépendants et où une pondération inférieure sur l'un peut être compensée par un accroissement sur un autre.

On constate que les facteurs de pondérations agissent de façon plus fortes à basse altitude. On a ainsi pour notre échantillon des seuils assez forts situés à 250 et 330 m. De même, une variation de l'indice de rayonnement de même amplitude produit une différence beaucoup plus grande (3 fois) sur l'indice floristique dans un exposition chaude que dans une exposition froide.

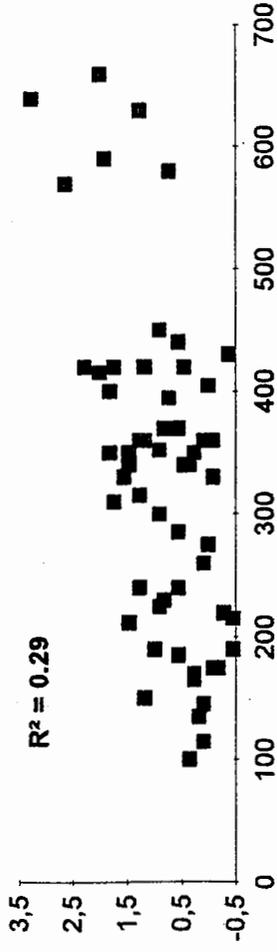
Ces deux constatations vont dans le même sens, et montrent que plus le stress hydrique ou thermique est grand, plus une variation de ce stress est ressentie par la flore, positivement ou négativement. Ainsi, une petite contre-pente sud dans un grand versant nord n'aura pas une flore très différente des environs, contrairement à une petite contre-pente nord dans un grand versant sud, qui pourra se différencier nettement. De même, un accroissement de la pente sur un versant sud, donnant une variation de l'indice de rayonnement se traduit par une dégradation rapide de l'indice de potentialité, tandis qu'une variation de même ampleur du rayonnement sur un versant nord ne produit qu'un effet limité sur cet indice.

On a au départ pris pour les classes des différents facteurs intégrés sous la forme des valeurs naturelles basées sur la valeur neutre de ces facteurs. On a ainsi intégré l'indice de rayonnement sous la forme si $IKR > 1$; $(1 - IKR) \cdot a$, 1 correspondant à un terrain neutre sans pente.



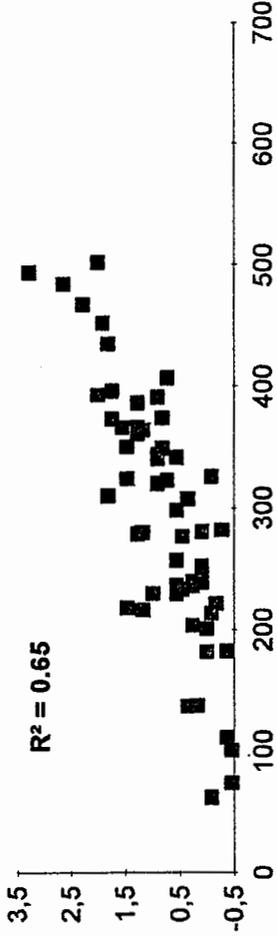
Graph. n° 4

VF = f(alt réelle) Roche 7+8 sect 1+2



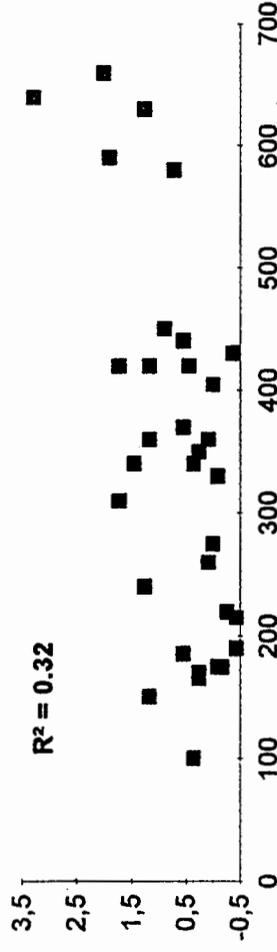
graph. n° 7

VF = f(AC1) roche 7+8 sect 1+2



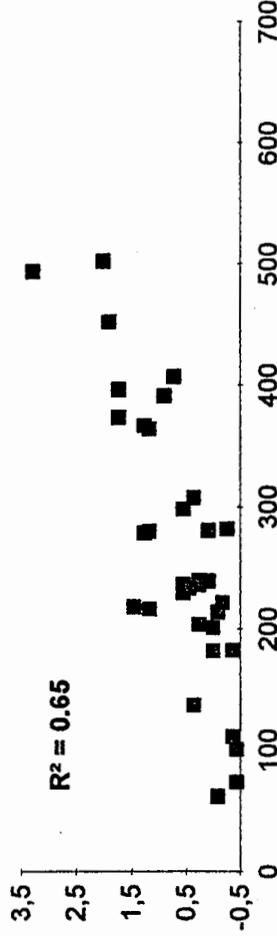
graph. n° 5

VF = f(alt réelle) roche 7 sect 1+2



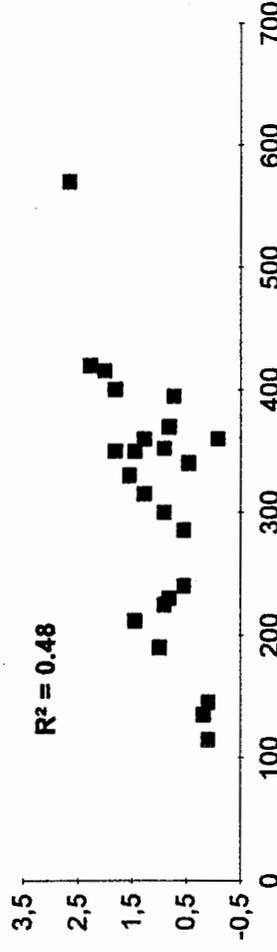
graph. n° 8

VF = f(AC1) Roche 7 sect 1+2



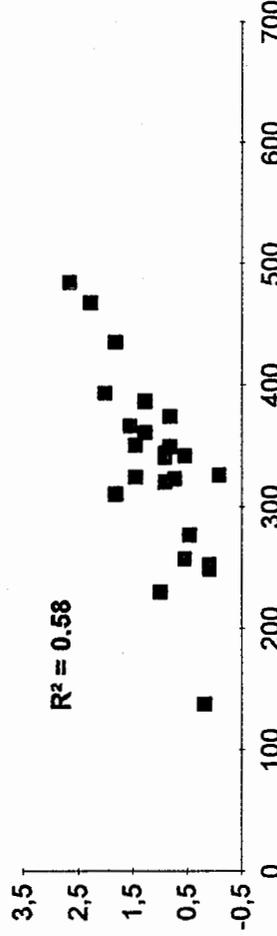
graph. n° 6

VF = f(alt réelle) roche 8 sect 1+2



graph. n° 9

VF = f(AC1) roche 8 sect 1+2



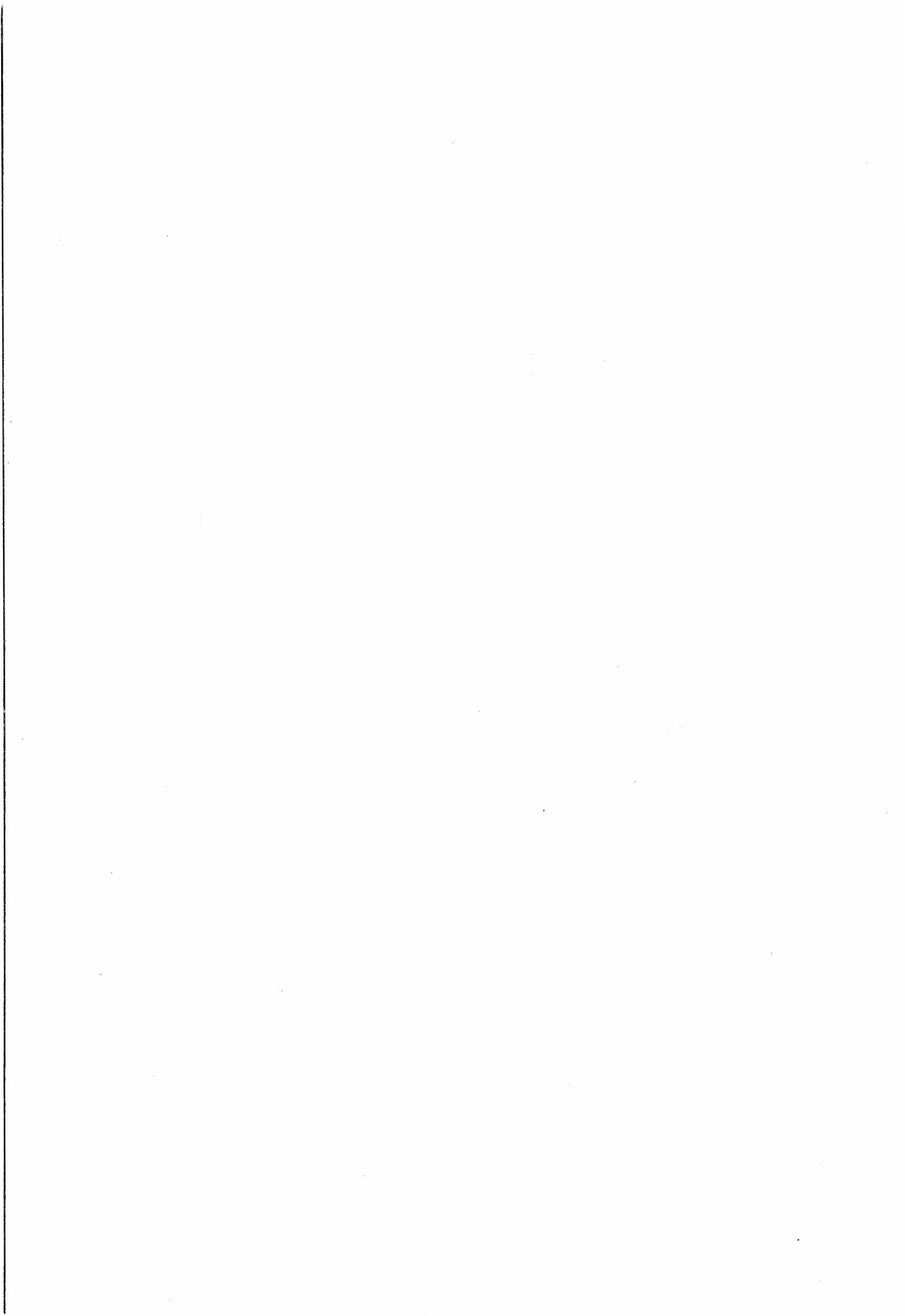
Régressions linéaires

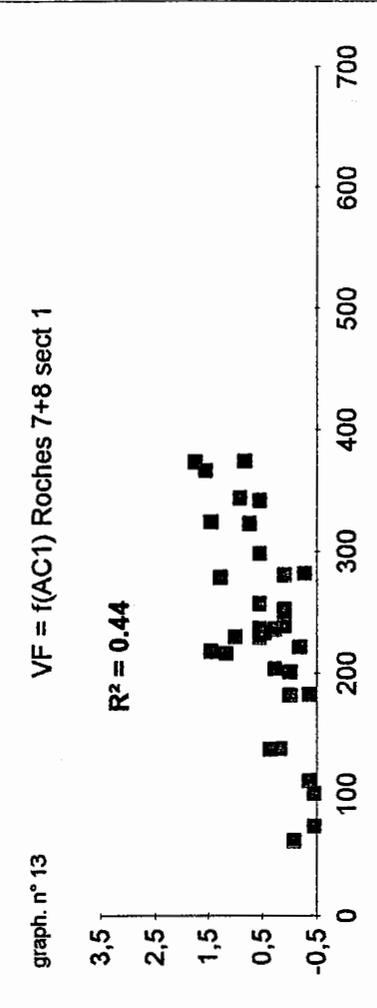
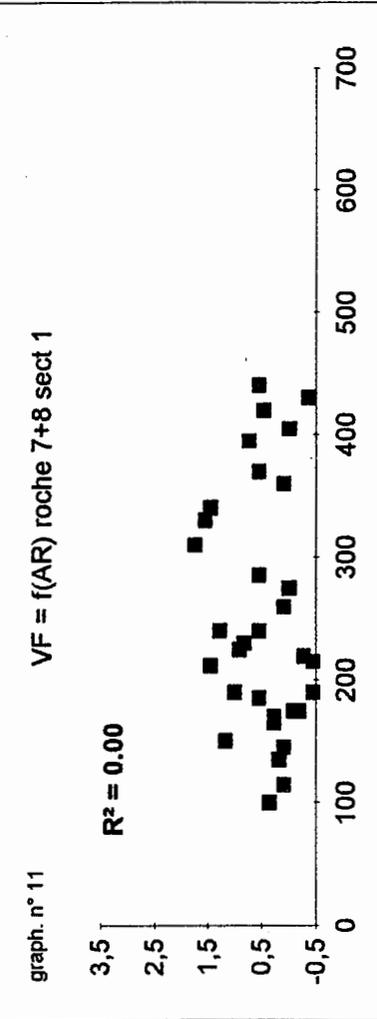
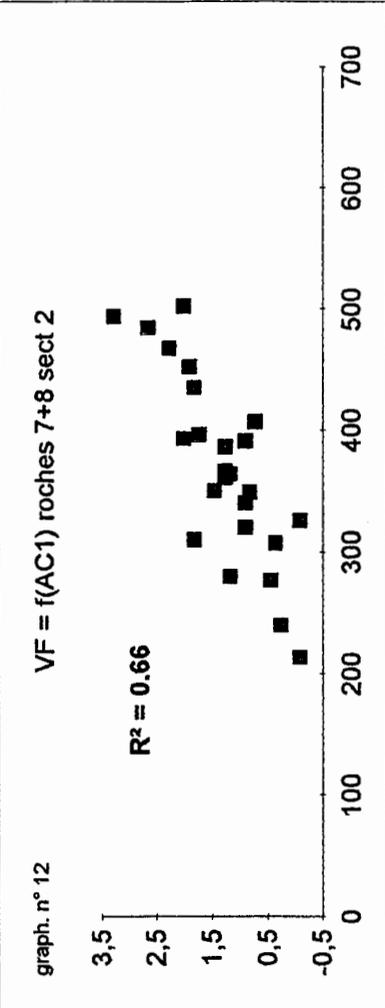
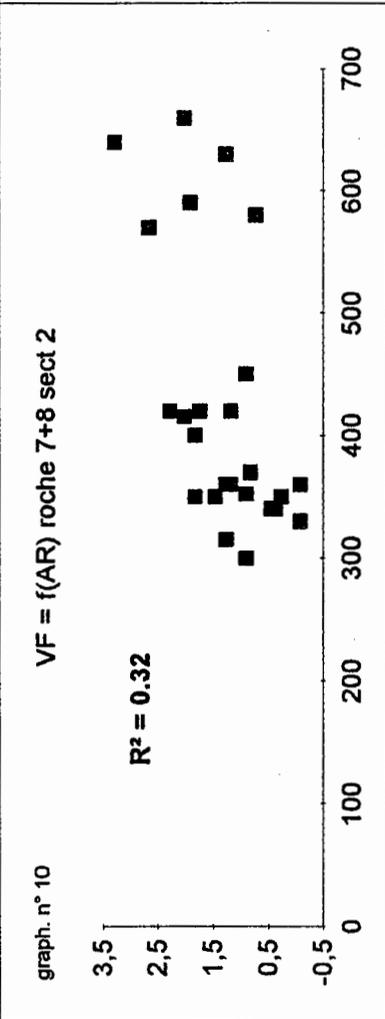
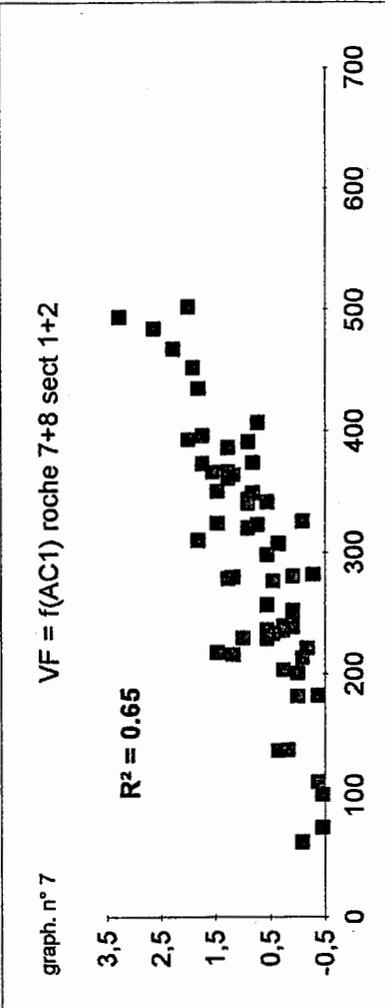
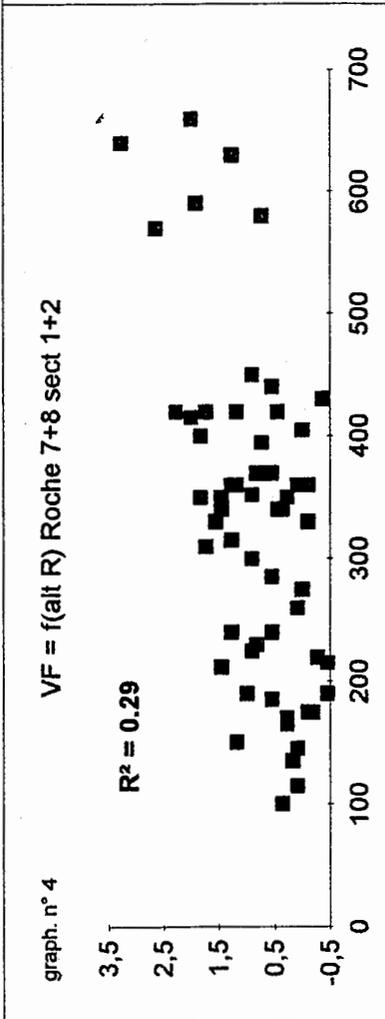
VF = indice floristique (Valeur Floristique)

AC1 = indice de potentialité (Altitude Compensée)

$AC1 = SI(D2 < 250; 1.204 * D2; SI(D2 < 330; 0.835 * D2; 0.605 * D2)) + (5 - E2) * (13.65 * D2) + SI(J2 > 0.92; (1.09 - J2) * 585; (1.2 - J2) * 37) + SI(C2 = 1; -35; 35) + SI(F2 = 8; 65; 0)$

D2 = alt. réelle; E2 expo. générale; J2 = indice de rayonnement; C2 = région climatique; F2 = roche





Régressions linéaires VF = indice floristique (Valeur Floristique) AC1 = indice de potentialité (Altitude Compensée)
 $AC1 = SI(D2 < 250; 1.204 * D2; SI(D2 < 330; 0.835 * D2; (5 - E2) * (13.65 + SI(J2 > 0.92; (1.09 - J2) * 58.5; (1.2 - J2) * 37) + SI(C2 = 1; -3.5; 3.5) + SI(F2 = 8; 6.5; 0))$
 D2 = alt. réelle; E2 expo. générale; J2 = indice de rayonnement; C2 = région climatique; F2 = roche



Pour améliorer encore un peu le résultat de la régression, il a fallu s'adapter à l'échantillon. En cherchant la valeur optimum des limites de classes, on a obtenu une valeur très proche de la moyenne de l'échantillon (0,91 contre 0,92). Cette bonne adéquation montre là encore la pertinence des deux indices, floristique et de potentialité.

Les seuils obtenus ici pour l'altitude et l'indice de rayonnement sont bien sûr strictement liés à notre petit échantillon et ne doivent pas être extrapolés.

Enfin, on arrive à gagner encore quelques points en adaptant les dernières constantes de l'équation à l'échantillon, ces adaptations étant purement conjoncturelles, et sans doute liées aux valeurs particulières de quelques relevés.

La valeur finale des coefficients de détermination (R^2) des différents sous échantillons et de l'ensemble des relevés est tout à fait correcte pour un problème biologique complexe. Voir graphiques n° 7 à 9, 12 et 13

échantillon =	<u>tous relevés</u>	basse Provence	arrière pays	calcaire marneux	marne
R^2 initial	0.29	0	0.32	0.32	0.48
R^2 final	0.65	0.44	0.66	0.65	0.58

3.4.3.4. Modèle non linéaire

En se basant sur la forme du nuage, on a tenté d'améliorer encore la qualité de la régression en testant des modèles non linéaires (exponentiels, ...). On n'a pas poussé très loin les investigations car les gains obtenus, sans être nuls, sont négligeables.

3.4.4. Bilan de l'essai de modélisation de l'indice de potentialités

Malgré un échantillonnage réduit et un indice floristique peu précis, on a démontré que l'on pouvait :

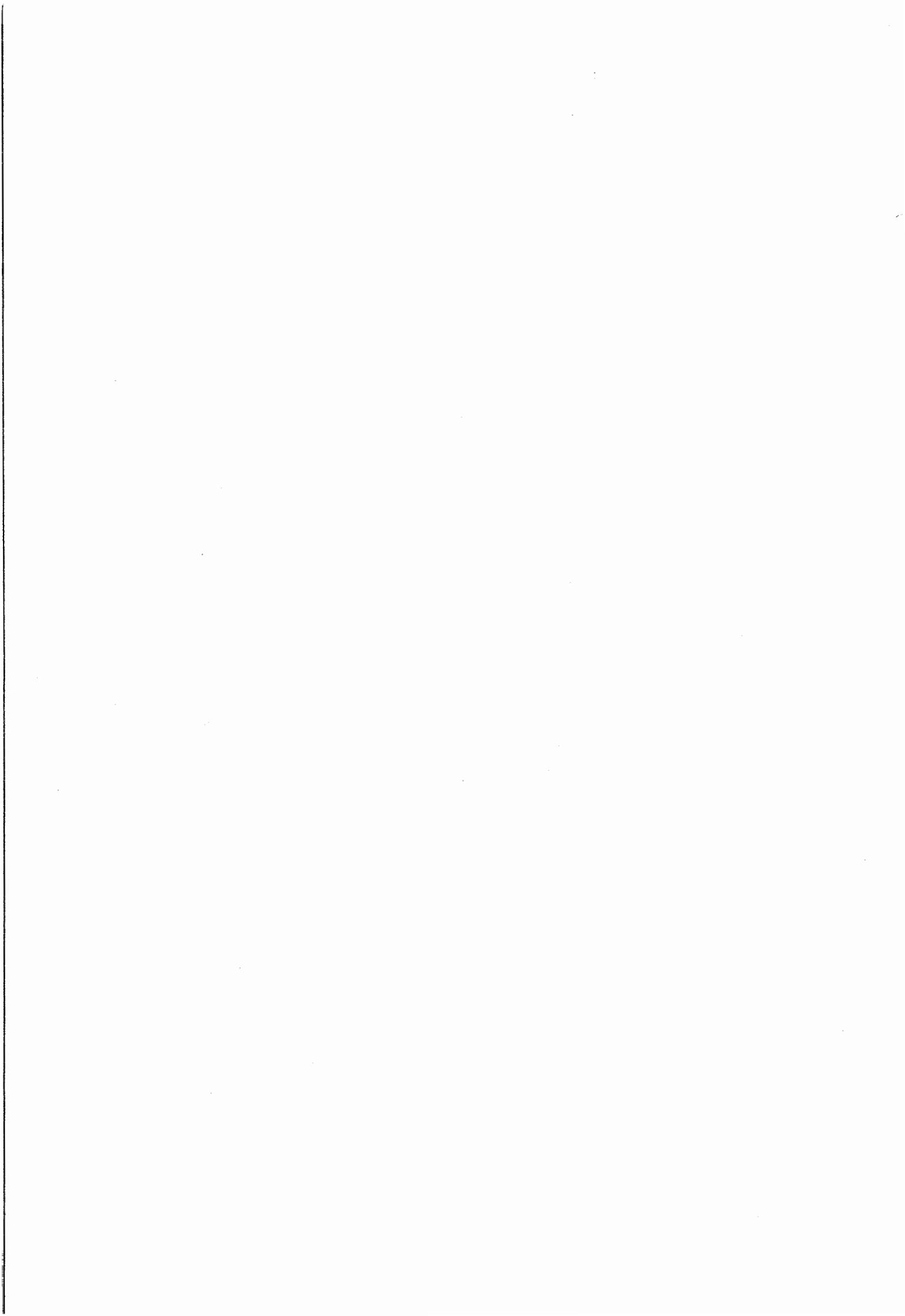
- approcher de façon correcte les compensations et interactions entre facteurs,
- modéliser les variations des principaux facteurs du milieu,

et que les facteurs cartographiables automatiquement rendaient compte d'une part importante de la variabilité du milieu naturel, traduite dans l'indice floristique.

On n'a pas fait intervenir, dans nos modèles successifs, les facteurs stationnels, en dehors de l'indice de rayonnement qui est calculé dans cet échantillon sur l'exposition stationnelle.

L'analyse des données des relevés s'éloignant le plus de la droite de régression dans le nuage de point, montre que ceux qui possèdent un indice floristique largement supérieur à la valeur prédite par le modèle (situés donc au dessus de la droite de régression), présentent majoritairement des conditions pédologiques très favorables, avec un bilan hydrique supérieur à la moyenne. La réciproque est vraie pour la majorité des points situés très en dessous de la valeur du modèle, qui se trouvent dans des conditions stationnelles très défavorables.

On se rend donc compte, à partir du modèle le plus précis obtenu jusqu'à maintenant, que des gains de précision sont encore largement possible en faisant intervenir les variations du sol. Il reste des données qui paraissent difficilement ajustables, mais cela est inévitable en milieu naturel où un certain nombre de facteurs nous échappent : carences chimiques du sol, débouchés de nappes phréatiques, accidents passés non connus, perturbations anthropiques non décelées ...



4. Orientations pour la poursuites des travaux

Il faut maintenant revenir sur un certain nombre d'étapes intermédiaires, qui devront être affinées avant de chercher à perfectionner les modèles obtenus, et de les compléter avec les données stationnelles .

Pour avoir un indice floristique qui soit plus fiable, la définition de groupes indicateurs régionaux, ou par sous région, est indispensable. Cela suppose un nombre important de relevés sur tout le territoire concerné, ce qui se fera en même temps que les relevés destinés à l'analyse du milieu.

L'écologie des plantes indicatrices devra être précisée, et en particulier leur chorologie, les irrégularités de leur distribution pas toujours liées aux variations de milieu, et leurs variations écologiques entre régions.

L'extrapolation des autres catalogues, ainsi que l'étude des compensations entre facteurs, exige un plan d'échantillonnage très précis, qui inclue de façon équilibrée toutes les principales combinaisons de facteurs. On évitera ainsi les inconvénients de l'échantillonnage de cette pré-étude, où une différence notable d'altitude moyenne apparaît entre les relevés des deux roches concernées. La mise au point de ce plan d'échantillonnage suppose l'utilisation du SIG, et donc que soient terminées les numérisations.

Avec un nombre suffisant de relevés bien choisis, on devrait pouvoir étudier le rôle de chaque facteur de façon indépendante, et ses interactions avec chacun des autres.

Une des conditions de la mise au point d'un indice floristique fiable, et donc d'une modélisation de ses relations avec les facteurs du milieu, est de trouver pour les relevés des sites peu perturbés, ou au moins à des niveaux de perturbation équivalents.

Une fois le modèle calé, et en se basant sur les relevés en sites perturbés, on pourra évaluer la dynamique de végétation, par comparaison entre la flore potentielle prédite par le modèle et la flore observée. Des comparaisons entre flore de relevés très voisins mais à des niveaux de perturbation et d'évolution différents, sont aussi nécessaires pour comprendre cette dynamique. Les situations ne manquent pas en limites de zones incendiées ou de terrains en cours de déprise agricole.

Il sera aussi indispensable de faire une étude de structuration générale du milieu sur l'ensemble de la zone d'étude, pour rendre l'analyse des données plus pertinente, et les résultats plus compréhensibles par les utilisateurs futurs. Une partie de la démarche d'une typologie classique est donc inévitable.

La mise au point de modèles suppose qu'il y aura de nombreux aller-retour entre ces modèles, et les tests de validation sur le terrain. Ces tests pourront se faire par échantillons aléatoire sur les cartes qui auront été dessinées par le SIG.

L'intégration par le SIG, pour une cartographie automatique, d'un grand nombre de facteurs, et en particulier de facteurs calculés et pondérés, avec des plages de variation importantes et des seuils, est en soi un problème qui n'est pas résolu. Il demande une étude détaillée, la présence d'un spécialiste SIG, et la mise au point ou l'adaptation de méthodes de traitement de données.

Le croisement de nombreuses couches d'informations produit en particulier un nombre généralement excessif de polygones, qu'il est impossible de tous traiter séparément. Les cartes brutes sont totalement illisibles. Des applications ont été développées pour résoudre des problèmes de ce type en cartographie de sols (INRA Montpellier), mais elle doivent être adaptées au problème spécifique de la typologie grande surface. On aura en effet à gérer simultanément deux approches :

- une approche par croisement de couches, conservant les informations d'origine autant que possible. La simplification se fait par itérations successives, regroupant les polygones les plus semblables, jusqu'à un seuil défini par l'utilisateur.

- une approche intégratrice par l'indice de potentialités, où seront regroupées les zones de même classe. Mais derrière la valeur de l'indice, il faut être capable à tout moment de remonter aux valeurs des facteurs qui lui ont donné naissance.



Typologie des stations forestières sur de grandes surfaces en Provence calcaire

Préétude

- 0 - 0 - 0 - 0 - 0 -

ANNEXES

- 0 - 0 - 0 - 0 - 0 -

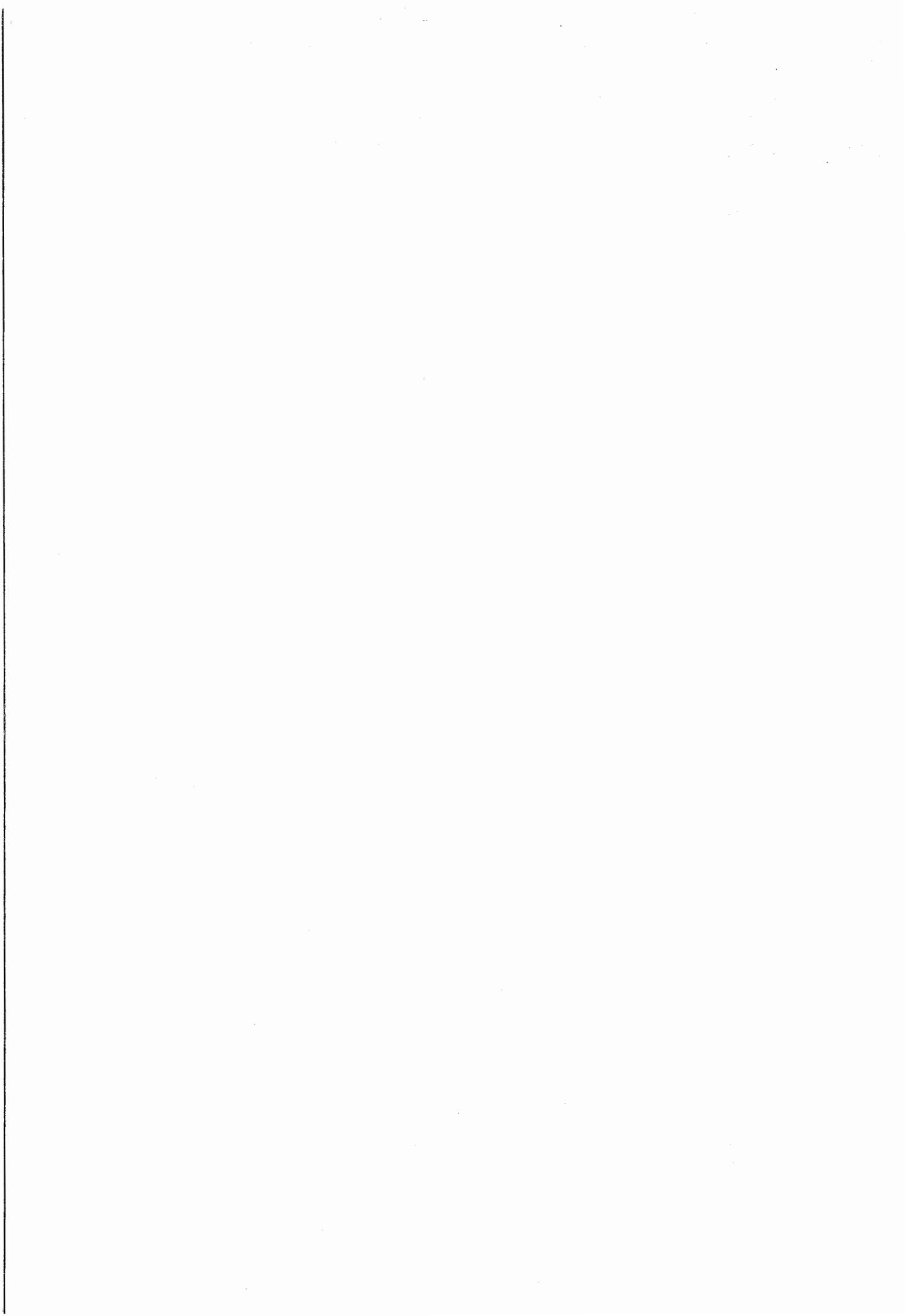
Michel VENNETIER - Christian RIPERT

n° 1 : Carte d'avancement de la numérisation

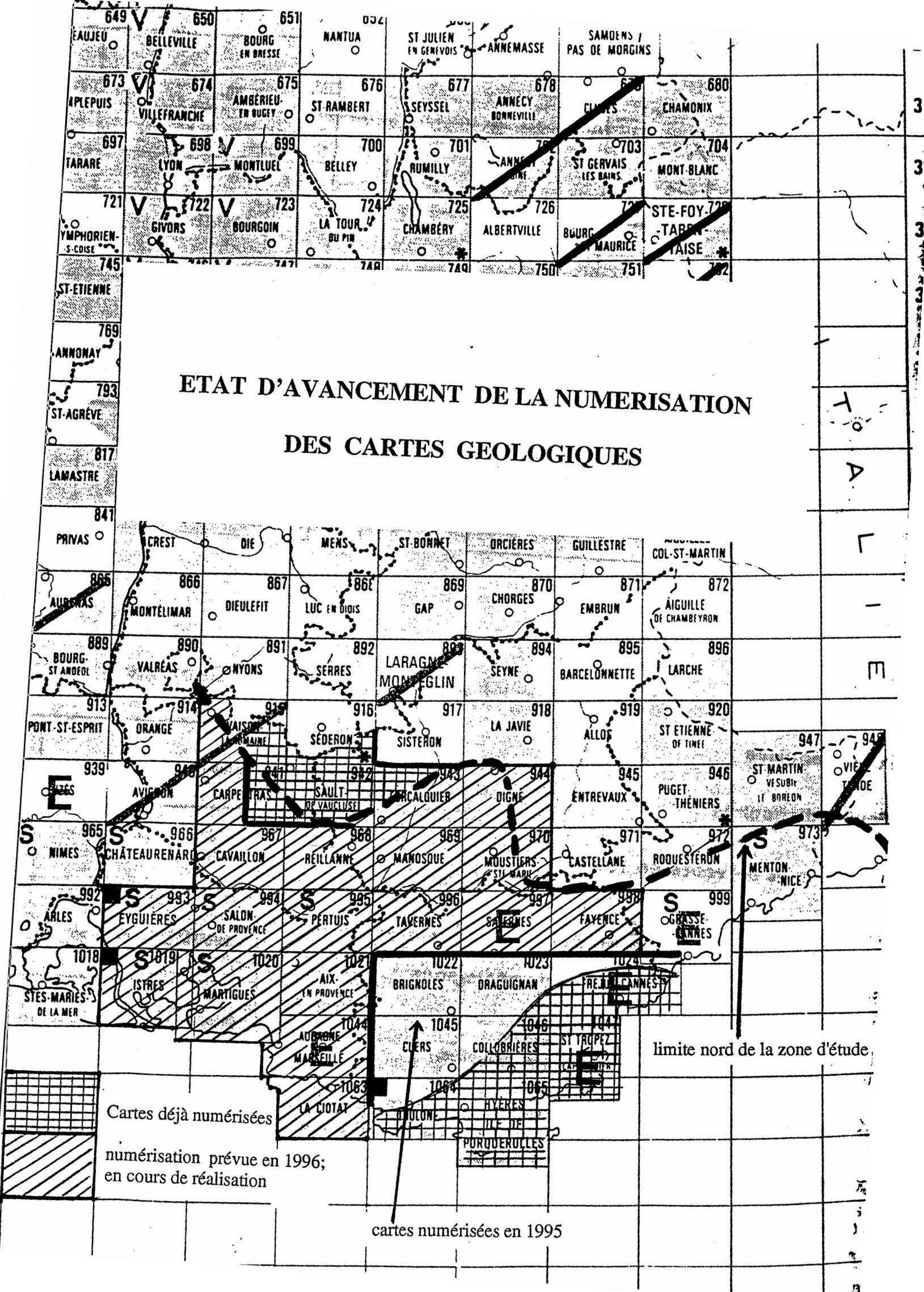
n° 2 : Schéma de la représentation de l'indice de Becker et des classes d'exposition retenues

**GROUPEMENT D'AIX EN PROVENCE
Le Tholonet - BP 31
13612 Aix-en-Provence Cedex 01
Tél.: 42.66.99.62 - Fax : 42.66.99.71**

FEVRIER 1996



ETAT D'AVANCEMENT DE LA NUMERISATION DES CARTES GEOLOGIQUES

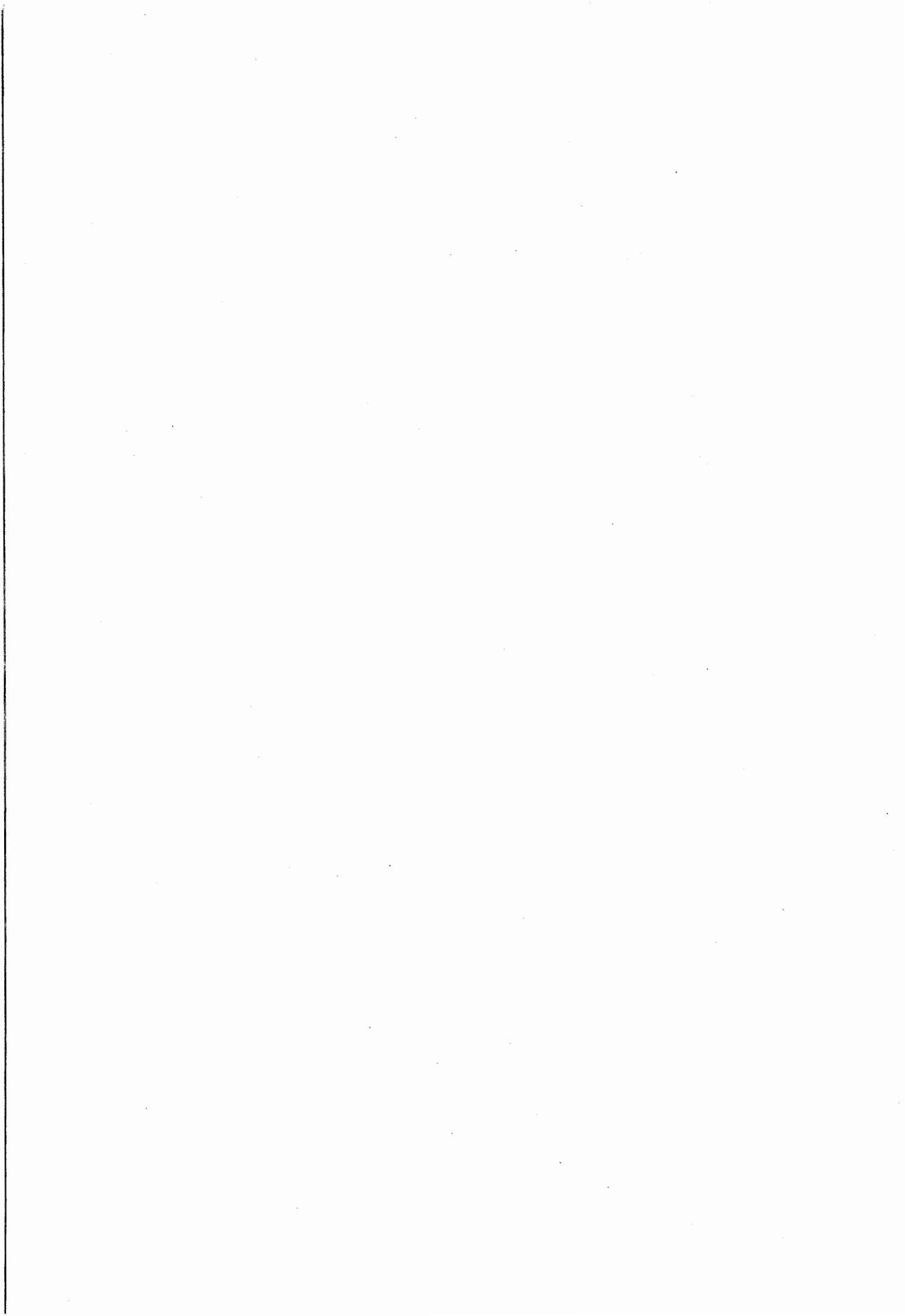


Cartes déjà numérisées

numérisation prévue en 1996;
en cours de réalisation

cartes numérisées en 1995

limite nord de la zone d'étude



Indice de rayonnement (ou de climat lumineux) de Becker Classes d'exposition

Cet indice a été défini par M. BECKER en 1984. Il permet de prendre en compte à la fois l'exposition et la pente, et d'avoir une bonne approche du rayonnement direct atteignant un site. Ainsi, un accroissement de la pente augmente l'ensoleillement en versant sud et le diminue en versant nord. L'indice varie d'un minimum de 0.44 pour une pente de 60 % ou plus en exposition nord, à 1.28 pour une pente de 60 % en exposition sud, une situation neutre de plateau sans pente donnant un indice égal à 1.

Dans l'étude du catalogue de la Sainte Victoire, cet indice a été regroupé en 4 classes qui sont représentées sur la figure ci-dessous par des niveaux de gris décroissants, du plus frais au plus chaud :
Classe 1 : de 0.44 à 0.85; Classe 2 : de 0.85 à 0.95; Classe 3 : de 0.95 à 1.05; Classe 4 : de 1.05 à 1.28

Il faut noter que l'indice de Becker est parfaitement symétrique d'est en ouest. Or l'expérience prouve que les expositions est sont plus fraîches que les expositions ouest pour diverses raisons dans nos régions.

De façon générale, nous avons regroupé les expositions en classes, indépendamment de l'indice de Becker, pour l'étude de l'influence de l'exposition générale. Ces classes ne tiennent pas compte de la pente générale du versant, qui n'était pas notée dans les premiers relevés, car la notation correcte de ce facteur demande une réflexion supplémentaire. L'imprécision de ce découpage n'est pas un handicap, car il permet de dégager les grandes tendances.

Dans les futurs relevés, un soin tout particulier devra être apporté à la prise en compte complète du climat lumineux, au niveau du versant et de la station.

Le classement des expositions s'établit comme suit par classes de chaleur décroissante :

Très chaud		chaud		neutre		frais		très frais	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	
S	SO	SE	O	plat	E	NO	NE	N	

