

Aceite em 25-7-1994

# Expression probabiliste des relations entre flore et climat

par

HENRY BRISSE

Laboratoire de botanique et écologie méditerranéenne (case 461), Faculté de  
Saint-Jérôme, avenue Escadrille Normandie-Niemen, F-13397 Marseille Cedex 20  
(France)

et

GILLES GRANDJOUAN

Laboratoire de palynologie, Université de Montpellier 2, place Eugène Bataillon, F-  
34095 Montpellier Cedex 5 (France)

## *RÉSUMÉ*

Les diverses relations statistiques entre flore et climat, en milieu naturel, sont décrites par de simples rangements de données et quantifiées par des probabilités. Par exemple, la probabilité de cantonnement d'un taxon, près d'un rang d'un facteur, combine trois rangements, exprimant respectivement: 1) la proximité du taxon, 2) la concentration des présences, 3) le rangement régulier de l'abondance. De telles probabilités servent à identifier les facteurs actifs et à estimer le climat d'après la flore. Ces paramètres sont appliqués à des mesures conjointes de la flore et du

climat, dans les mêmes stations, d'une part des communautés végétales à l'échelle de la France, d'autre part des spectres aéropolliniques à l'échelle d'un transect européen. En particulier, 2300 relevés phytosociologiques sont échantillonnés, parmi les 47.000 relevés de la banque «Sophy», dans les alentours de 187 postes météorologiques. La concordance entre valeurs climatiques estimées et mesurées sanctionne le résultat de l'échantillonnage et de la méthode numérique.

Mots-clés: Ecologie, Relevés phytosociologiques, Abondance, Indicateur, Probabilités

#### *SYNOPSIS*

The statistical relations between flora and climate, under natural conditions, are described only as orderings of data, and quantified by probabilities. For instance, the probability of a taxon to be confined near the rank of a factor, results from three orderings, about 1) the proximity of the taxon, 2) the concentration of presences, and 3) the regular ordering of abundance. Such probabilities may identify the efficient factors, and estimate the climate, according to the flora. These parameters are applied to joined measures of flora and climate, in the same stands, on the one hand, to plant communities, at the scale of France, on the other hand, to 32 annual aeropollinic spectra, at the scale of a European transect. In particular, among the 47.000 phytosociological relevés of the data bank «Sophy», 2300 relevés are sampled in the surroundings of 187 meteorological stations. The matching between estimated and measured climatic values gives the appreciation of the sampling and the numerical method.

Key-words: Ecology, Phytosociological relevés, Abundance, Indicator, Probabilities

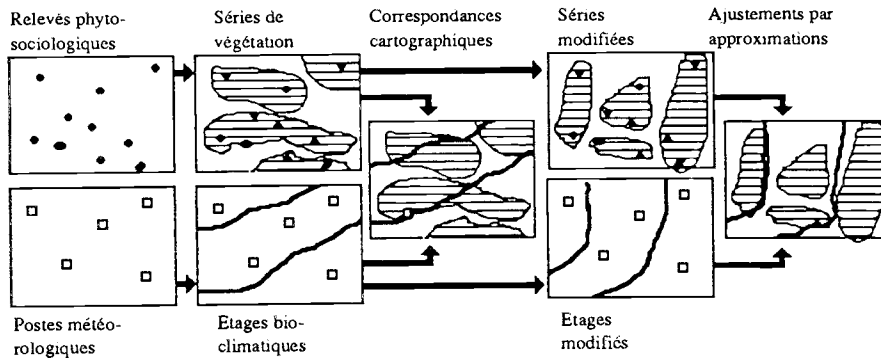
# 1. INTRODUCTION : QUANTIFICATION DES RELATIONS ENTRE FLORE ET CLIMAT

## 1.1. Quantification écologique

### 1.1.1. Démarche phytogéographique

L'effet du climat sur la flore spontanée est principalement connu par la juxtaposition de synthèses climatiques et floristiques, notamment par la correspondance entre étages climatiques et séries de végétation (OZENDA, 1966 ; GUINOCHET, 1973). Les étages expriment une synthèse du réseau météorologique, fondée sur le choix d'indices et d'échelles climatiques pertinents pour la végétation, et cartographiée en fonction de la topographie. De leur côté, les séries expriment une synthèse des associations phytosociologiques. En outre, ces deux synthèses, respectivement climatique et phytosociologique sont adaptées l'une à l'autre, par approximations successives (figure 1).

FIGURE 1 - Schéma d'une démarche phytogéographique

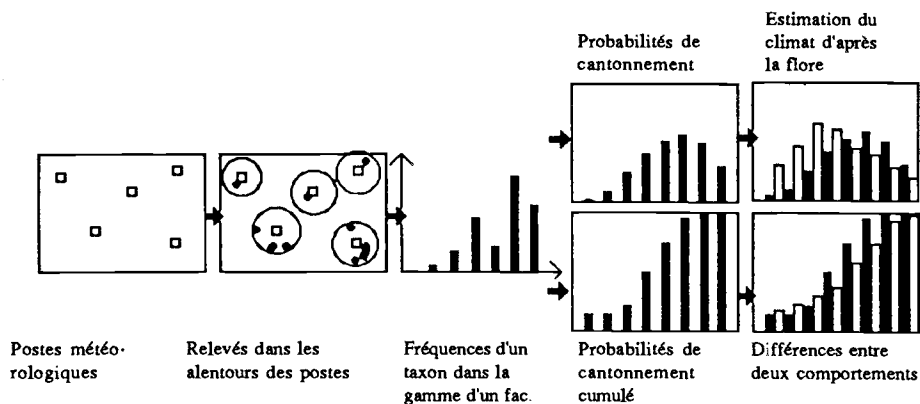


Cette démarche compare les localités occupées par les types de climat et par les types de végétation. Elle les situe toujours dans leur cadre géographique, là où ils sont soumis à la multiplicité des facteurs du milieu naturel. Elle renonce en général à quantifier les relations spécifiques entre flore et climat.

### 1.1.2. Démarche phytoclimatique

En revanche, la démarche phytoclimatique adoptée ici, vise à distinguer les effets statistiques du climat, bien qu'ils soient dans la nature toujours associés aux effets du substrat et du traitement par l'homme. Dans ce but, elle étudie les communautés végétales dont le climat est connu. Or, tout ce que l'on sait de précis sur le climat vient des postes météorologiques. Par conséquent, la démarche proposée échantillonne des inventaires standardisés de la flore et du climat, dans les mêmes stations, ou dans des stations voisines, à l'échelle du gradient étudié (BRISSE et GRANDJOUAN, 1977) Ainsi, un inventaire floristique est situé à la fois dans une localité et dans un climat. Ensuite, le calcul transpose les distributions géographiques des plantes dans un espace climatique, et il quantifie les comportements climatiques des plantes (figure 2).

FIGURE 2 - Schéma d'une démarche phytoclimatique



## 1.2. Quantification probabiliste

La quantification utilise classiquement la statistique géométrique fondée sur les distances et les corrélations et elle résume les données par des classifications et des analyses factorielles (BIRKS & GORDON, 1985 ; GUIOT, 1991). Or, ces calculs géométriques ont l'inconvénient de traiter les données floristiques comme des grandeurs physiques, alors que ce sont des rangements intermittents. Même les données climatiques, envisagées dans leur effet sur les plantes, traduisent des rangements plutôt que des quantités mesurables. Ainsi, les calculs géométriques entraînent des artéfacts, notamment lorsqu'ils traitent conjointement l'abondance et la présence des plantes. La complication des calculs est favorisée par la disponibilité de programmes tout faits.

La sophistication des calculs géométriques ne tient pas compte de la simplicité des hypothèses que suppose la quantification des relations entre flore et climat, dans la nature. Parmi ces hypothèses, généralement implicites, citons celles qui suffisent à expliciter une démarche probabiliste, ainsi que leurs conséquences sur le calcul.

- Une communauté est identifiée par tous ses taxons botaniques (Donc, interpréter toute la flore disponible, sans limiter le calcul à un nombre réduit de plantes indicatrices. En outre, caractériser le «phytoclimat» d'une communauté par les comportements climatiques des taxons, préalablement étalonnés.)

- Dans un climat qui lui convient, une espèce peut être intermittente, du fait des facteurs non-climatiques (Donc, quand une espèce est absente de la gamme d'un facteur, son abondance n'est pas nulle, elle est inconnue. En outre, l'effet d'un facteur climatique sur une espèce dans la nature, n'est connue que d'une façon plus ou moins probable.)

- Une espèce peut se montrer indicatrice d'un facteur, soit par la concentration de ses présences, soit par le rangement de son abondance, soit par les deux à la fois (Donc, dissocier le traitement statistique de l'abondance et celui des présences, avant de recombinaison ensemble ces deux aspects de la distribution d'une plante.)

- L'effet du climat sur la flore est d'autant plus net que les gradients climatiques sont plus étendus, comparés aux fluctuations des facteurs non-climatiques (Donc, échantillonner des plantes et non des territoires.

En outre, caractériser le comportement climatique d'une plante d'après l'ensemble de sa distribution connue, et non d'après une limite climatique, toujours floue sur le terrain.).

- Les variables floristiques, ainsi que les effets des variables climatiques, sont des rangements, et non des grandeurs additionnables (Donc, éviter les artéfacts dus, notamment, aux valeurs extrêmes et aux calculs de carrés.).

Ces hypothèses de bon sens suffisent à fonder un ensemble de paramètres probabilistes, capables de quantifier les relations entre flore et climat.

### **1.3. Schéma d'une quantification probabiliste**

Une quantification probabiliste décrit un phénomène par son effet sur la distribution du taxon dans la gamme du facteur. Les relevés sont rangés de deux façons distinctes, d'une part en fonction de la présence ou de l'abondance d'un taxon, d'autre part en fonction de la valeur d'un facteur. Ensuite, le degré de concordance entre ces deux rangements mesure l'intensité du phénomène écologique. Ce calcul ne comporte aucune opération arithmétique sur les données initiales puisque ce sont des rangements. La quantification des relations entre flore et climat aboutit à l'étalonnage des plantes plus ou moins indicatrices du climat. La quantification est ensuite vérifiée par l'opération inverse qui est l'estimation du climat d'après la flore, à partir des plantes préalablement étalonnées. La vérification est sanctionnée par la concordance entre valeurs estimées et valeurs mesurées, dans les mêmes stations. La méthode est illustrée par des résultats pris dans deux publications (Tableau 1).

## **2. RELATIONS ENTRE PRESENCES ET CLIMATS**

### **2.1. Données : Communautés végétales à l'échelle de la France**

Les données floristiques proviennent de la banque de données phytosociologiques «Sophy», comprenant 47.000 relevés, situés dans toutes les parties de la France (RUFFRAY *et al.*, 1989). Un programme

TABLEAU 1

Schema des deux échantillonnages de données floristiques et climatiques

	PRESENCE DES PLANTES	ABONDANCE DU POLLEN
Nature des données floristiques	Communautés végétales	Contenu pollinique de l'atmosphère
Echelle de l'échantillonnage	La France	Un transect européen
Source des données floristiques	Banque de données phytosociologiques «Sophy»	Banque de données aéropolliniques de Montpellier
Nombre de taxons étalonnés	environ 1000 taxons	100 taxons aéropolliniques
Expression de l'abondance	1 à 3 niveaux par taxon	Mesure détaillée de l'abondance
Nombre d'échantillons de climat	187 postes météorologiques	32 climats annuels dans 11 localités
Variables floristiques étalonnées	Présence des taxons	Présence et abondance des taxons
Publications	BRISSE <i>et al.</i> à paraître	GRANDJOUAN <i>et al.</i> 1993

d'échantillonnage a sélectionné dans la banque 2.311 relevés situés dans les alentours de 169 postes météorologiques, de façon qu'un relevé ait un climat similaire à celui du poste voisin. Un relevé est affecté à un poste s'il en est voisin, non seulement en latitude et en longitude mais aussi en altitude et s'il est situé à peu près à la même distance de la mer. La similitude entre le climat du relevé et celui du poste est forte si on la compare à l'étendue des climats échantillonnés d'un bout à l'autre de la France. Les facteurs climatiques utilisés sont les moyennes mensuelles des températures quotidiennes minimales (TMIN) et

maximales (TMAX), ainsi que les valeurs mensuelles des précipitations (P). TMIN reflète surtout la température de la nuit, TMAX celle du jour. La distribution d'un taxon dans un ensemble de postes sert à caractériser son comportement climatique relatif à l'échelle du réseau météorologique français. A l'égard d'un facteur, le comportement des présences d'un taxon se caractérise par un paramètre de concentration (PIP) et par des paramètres de position (PCP).

## 2.2. Pouvoir indicateur de la présence d'une espèce (PIP)

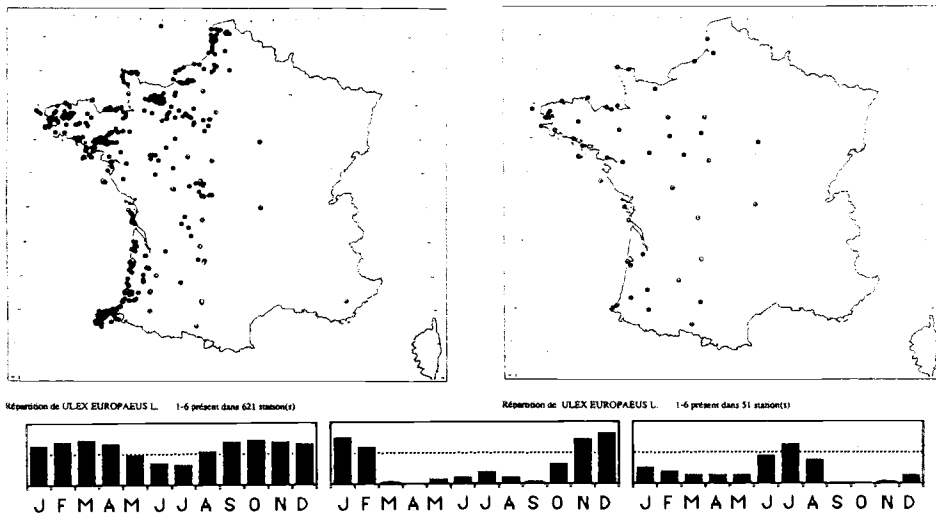
Une espèce est d'autant plus indicatrice d'un facteur que la présence de l'espèce indique la valeur du facteur avec plus de précision. Le pouvoir indicateur des présences de l'espèce (PIP) est donc mesurable par la concentration des présences dans la gamme du facteur (Tableau 3). Ainsi, PIP vaut zéro pour un taxon ubiquiste, présent dans toute la gamme du facteur. A l'égard de TMIN en janvier, par exemple, PIP reste faible pour un taxon très répandu comme *Lonicera periclymenum* (26%), il vaut 43% pour un taxon plus circonscrit comme *Viburnum tinus*, il atteint 70% pour un taxon très circonscrit comme *V. tinus* abondant, recensé dans les seules stations où il atteint ou dépasse le niveau 3 de l'échelle d'abondance-dominance.

PIP identifie les facteurs climatiques actifs. Il montre, par exemple, que *Ulex europaeus* recensé dans la moitié Ouest de la France, indique à cette échelle, TMIN plus que TMAX (figure 3). En revanche, *Clematis vitalba* recensé davantage dans la moitié Est de la France indique TMIN en hiver et TMAX en été (figure 4).

## 2.3. Cantonnement de la présence (PCP)

Si le paramètre PIP mesure la concentration d'une distribution, les paramètres PCP mesurent les positions probables du taxon dans la gamme du facteur. PCP sont les probabilités de cantonnement du taxon dans les rangs du facteur (Tableau 3). Pour un taxon peu indicateur, PCP a des valeurs faibles partout représentées par un profil plat comme celui de *Lonicera periclymenum* (figure 5). Plus PIP est élevé, plus le profil de PCP est bombé mais situé soit dans les valeurs inférieures

FIGURE 3 - Caractérisation géographique et climatique de *Ulex europaeus*. En haut et à gauche, localisation des 621 relevés phytosociologiques de la banque «Sophy» qui contiennent le taxon. En haut et à droite, localisation des 51 postes météorologiques contenant le taxon dans leurs alentours. En bas, les histogrammes des pouvoirs indicateurs des présences (PIP) du taxon à l'égard des valeurs mensuelles de TMIN, TMAX et P. PIP a une valeur comprise entre 0 et 100 %. Un tireté marque 50 %. *Ulex europaeus* est cantonné dans la moitié Ouest de la France. Il indique TMIN plus que TMAX. Il n'indique TMAX qu'en hiver.



(comme *Viburnum lantana*), soit dans les valeurs supérieures (comme *V. tinus*).

PCP permet de juxtaposer les indications données par les taxons qui coexistent dans une communauté. Chaque taxon témoigne du climat, mais seuls les taxons indicateurs sont des témoins précis, encore que

plusieurs témoins imprécis mais concordants peuvent peser autant qu'un témoin précis. La moyenne des témoignages apportés par tous les taxons, au prorata de leur fiabilité c'est-à-dire de leur valeur indicatrice, indique le climat probable, reflété par l'ensemble de la flore. A l'échelle de la France, les valeurs estimées sont proches des valeurs mesurées, à moins de 2 à 3% près dans la moitié des cas (soit environ 0,5°C ou 5 mm de pluie), à moins de 8 à 10% près dans 80% des cas.

FIGURE 4 - Caractérisation géographique et climatique de *Clematis vitalba*. Même légende que la figure 3. Ici, *Clematis vitalba* est présent surtout dans la moitié Est de la France. Il indique TMIN en hiver et TMAX en été.

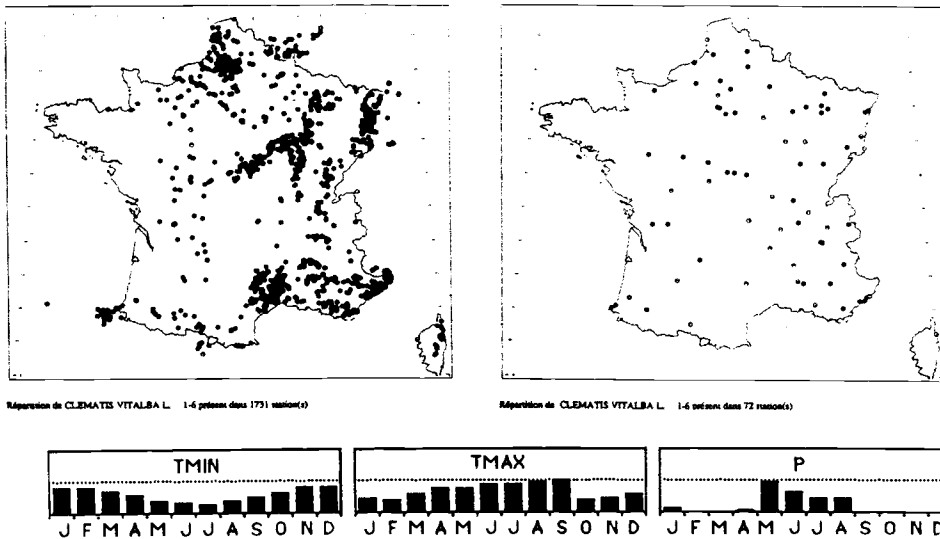


TABLEAU 2

Signification des symboles littéraux

A	Rang de l'abondance
ABO(S,T)	Rang de l'abondance du taxon T dans le relevé S
DIS(S1,S2)	Différence entre les phytoclimats des relevés S1 et S2
FRE(R,T)	Fréquence du taxon T dans le rang R du facteur
FRT(T)	Fréquence totale du taxon T dans la gamme du facteur
NRA	Nombre de rangs du facteur
NRE	Nombre de relevés
P	Précipitations
PCC(R,S)	Probabilité de cantonnement cumulé du relevé S dans les rangs 1 à R du facteur
PCP(R,T)	Probabilité de cantonnement des présences du taxon T près du rang R du facteur
PCT(A,R,T)	Probabilité de cantonnement du taxon T ayant une abondance A près du rang R
PIA(A,R,T)	Pouvoir indicateur de l'abondance A du taxon T dans le rang R du facteur
PIP(T)	Pouvoir indicateur de la présence du taxon T dans la gamme du facteur
PROB [...]	Probabilité que [...]
PROC [...]	Probabilité corrigée que [...], après élimination des comparaisons triviales
PRU(R,T)	Ubiquité ou proximité du taxon T près du rang R du facteur
PRX(R,T)	Proximité du taxon T près du rang R du facteur
R	Rang du facteur
S, S1, S2	Numéros de relevés
T	Numéro de taxon
TMAX	Moyennes mensuelles des températures quotidiennes maximales
TMIN	Moyennes mensuelles des températures quotidiennes minimales

## TABLEAU 3

Description et calcul des relations entre flore et climat

**DIS(S1,S2)** Différence entre les phytoclimats des relevés S1 et S2. C'est la probabilité moyenne de différence entre les cantonnements cumulés de leurs flores respectives dans la gamme du facteur.

$$\text{DIS}(S1,S2) = (1/\text{NRA}) \times \sum |\text{PCC}(R,S1) - \text{PCC}(R,S2)| \text{ pour } R=1 \text{ à NRA.}$$

**PCC(R,S)** Probabilité de cantonnement cumulé de la flore du relevé S dans les rangs 1 à R du facteur. Le profil de ces probabilités caractérise le phytoclimat du relevé S par rapport à celui d'un autre relevé, lors du calcul de DIS.

$$\text{PCC}(R,S) = \sum \text{PCT}(A,Q1,T) / \sum \text{PCT}(A,Q2,T)$$

pour Q1=1 à R et Q2=1 à NRE, et pour les valeurs A et T observées dans S.

**PCP(R,T)** Probabilité de cantonnement des présences du taxon T près du rang R du facteur. C'est la probabilité de deux évènements simultanés :

- 1) la concentration du taxon T dans la gamme du facteur ;
- 2) la proximité de T et de R.

$$\text{PCP}(R,T) = \text{PIP}(T) \times \text{PRU}(R,T)$$

**PCT(A,R,T)** Probabilité de cantonnement du taxon T, avec l'abondance A, près du rang R du facteur. C'est la probabilité combinée de trois évènements :

- 1) Que le taxon soit proche de R et que, en même temps,
- 2) ou bien ses présences soient concentrées,
- 3) ou bien son abondance soit rangée régulièrement, ou bien les deux à la fois.

$$\text{PCT}(A,R,T) = \text{PRU}(R,T) \times (\text{PIP}(T) + \text{PIA}(A,R,T) - \text{PIP}(T) \times \text{PIA}(A,R,T))$$

**PIA(A,R,T)** Pouvoir indicateur de l'abondance A du taxon T dans le rang R du facteur. C'est la probabilité que les écarts d'abondance et de facteur soient rangés dans le même ordre, de part et d'autre du relevé-origine (A,R). Cette probabilité mesure l'ordre que le facteur impose à l'abondance.

$$\text{PIA}(A,R,T) = \text{PROC} [ (\text{ABO}(S1,T) - \text{ABO}(S2,T)) \text{ et } (\text{RAN}(S1) - \text{RAN}(S2)) \text{ aient le même signe } ], \text{ pour } S1 = 1 \text{ à NRE et } S2 = 1 \text{ à NRE, avec trois conditions :}$$

TABLEAU 3  
Description et calcul des relations entre flore et climat  
(Continuation)

- 1) S1 et S2 contiennent T ;
- 2) S1 ≠ S2
- 3) S1 et S2 sont du même côté de A, dans la gamme de l'abondance, et du même côté de R, dans la gamme du facteur.

**PIP(T) Pouvoir indicateur des présences du taxon T.** C'est la concentration des présences dans une partie restreinte de la gamme du facteur.

$PIP(T) = PROC [ |RAN(S1)-RAN(S2)| < |RAN(S1)-RAN(S3)| ]$   
pour S1 = 1 à NRE, S2 = 1 à NRE et S3 = 1 à NRE, avec trois conditions :

- 1) S1 et S2 contiennent T ;
- 2) S1 ≠ S2 et S1 ≠ S3 ;
- 3) les deux écarts comparés ont le même signe.

**PROC Probabilité corrigée que [...], après élimination des comparaisons triviales.**

$PROC = 2 \times PROB - 1$ . Si  $2 \times PROB - 1 < 0$ ,  $PROC = 0$ .

**PRU(R,T) Probabilité que le taxon T soit ou bien ubiquiste, ou bien proche du rang R du facteur.** La proximité, combinée avec l'ubiquité, mesure le degré de présence du taxon. En particulier, ce paramètre PRU reste élevé sur les marges de la gamme échantillonnée si le taxon est ubiquiste, alors que la proximité simple PRX décroît. PRU permet aux taxons ubiquistes d'exprimer leur éventuelle valeur indicatrice dans toute la gamme du facteur.

$PRU(R,T) = 1 - PIP(T) \times (1 - PRX(R,T))$

**PRX(R,T) Proximité du taxon T et du rang R du facteur.** C'est la probabilité que les écarts «internes» issus de R soient plus petits que les écarts quelconques. La proximité décroît régulièrement de part et d'autre d'un maximum, centré sur la plage occupée par le taxon, même si cette plage est intermittente et irrégulière.

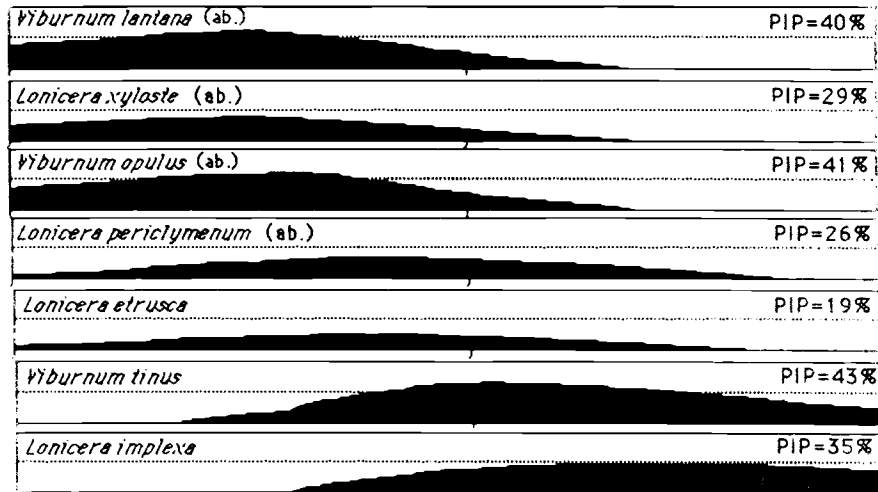
$PRX(R,T) = PROC [ |R-RAN(S1)| < |R-RAN(S2)|$

où  $|RAN(S1)-R| < |RAN(S1)-RAN(S2)| ]$

pour S1 = 1 à NRE et S2 = 1 à NRE, avec deux conditions :

- 1) S1 contient T ;
- 2) les deux écarts comparés ont le même signe.

FIGURE 5 - Probabilité de cantonnement des présences de quelques *Caprifoliaceae* dans la gamme de TMIN en janvier



### 3. RELATIONS ENTRE ABONDANCE ET CLIMAT

#### 3.1. Données : Contenu pollinique de l'atmosphère le long d'un transect européen

Comme les données phytosociologiques, les données aéropolliniques ont été rendues comparables par la standardisation. Le contenu pollinique de l'atmosphère a été récolté et traité chaque semaine, les taxons polliniques ont été déterminés et comptés, avec le même dispositif et selon le même protocole, dans 11 situations géographiques du Nord au Sud de l'Europe durant trois années consécutives de 1977 à 1979 (COUR, 1974). Les taxons polliniques sont couramment déterminables au niveau du genre ou de la famille. Ils sont, dans cet échantillonnage, au nombre d'une centaine au total : ils sont donc dix fois moins nombreux que

dans l'exemple précédent fondé sur les communautés végétales. En revanche, l'abondance de chaque taxon exprimée en pourcentage du pollen total est mesurée avec précision et elle s'avère souvent indicatrice. Elle ne dit plus être réduite à deux ou trois classes comme dans les communautés végétales, elle doit être interprétée directement.

### **3.2. Principe du traitement conjoint de la présence et de l'abondance**

Un taxon ubiquiste comme *Betula* est indicateur seulement par son abondance ; celle-ci varie assez régulièrement avec la température. A l'opposé, un taxon comme *Rutaceae* est surtout indicateur par ses présences ; celles-ci sont cantonnées dans les températures supérieures (figure 6) et par le rangement de son abondance (figure 7). Remarquons que ce rangement ne montre de régularité que si le calcul fait abstraction de l'intermittence de cette abondance dans la plage occupée par *Celtis*. En revanche, ce rangement serait brouillé donc non indicateur, si le calcul considérait que l'abondance était nulle quand le taxon est absent.

D'une façon générale, le traitement probabiliste dissocie les deux aspects de la distribution d'un taxon, sa présence et son abondance. Il exprime la présence par une variable binaire et l'abondance par une variable quantitative repérable subordonnée à la précédente. Il recombine ensuite ces deux variables pour exprimer les relations entre plantes et climats.

### **3.3. Pouvoir indicateur de l'abondance (PIA)**

L'abondance indique un facteur climatique dans la mesure où elle est rangée régulièrement dans la gamme du facteur (Tableau 3). Le pouvoir indicateur PIA mesure le degré de rangement que le facteur impose à l'abondance. PIA dépend de l'abondance-origine par rapport à laquelle sont calculées les variations d'abondance. PIA dépend aussi du rang-origine dans la gamme du facteur par rapport auquel sont calculées les variations du facteur. Par exemple, pour un taxon pollinique ubiquiste comme *Betula*, l'abondance décroît assez régulièrement dans la gamme des températures donc, l'abondance est partout assez bonne indicatrice de la température. Effectivement pour chaque classe

d'abondance PIA montre un maximum assez net situé au voisinage de la diagonale, et PIA décroît de part et d'autre de ce maximum (figure 7). En revanche, pour un taxon également ubiquiste comme *Graminae*, l'abondance passe par un maximum dans la partie moyenne de la gamme des températures. PIA atteint des valeurs élevées pour ces valeurs supérieures de l'abondance, et pour des classes centrales de températures (figure 7). A l'opposé, pour les deux classes inférieures de l'abondance, PIA reste nul pour tous les rangs du facteur. Le taxon *Graminae* quand il a une abondance faible n'indique rien.

### 3.4. Probabilité de cantonnement du taxon (PCT)

Un paramètre PCT, plus général que le paramètre PIA précédent, combine les indications apportées par la présence et par l'abondance (Tableau 3). Comme PIA, PCT dépend du rang A de l'abondance et du rang R du facteur, et il varie graduellement le long de la gamme du facteur même si le taxon est intermittent. Enfin, PCT est défini pour tous les couples de valeur (A,R), même si ces couples ne sont jamais observés dans la réalité. En effet, PCT répond à la question suivante :

FIGURE 6 - Présences (en haut) et probabilités de cantonnement PCP (en bas) des présences de quelques taxons aéropolliniques dans des gammes de température. PCP est compris entre 0 et 100 %. Un tireté indique 50 %.

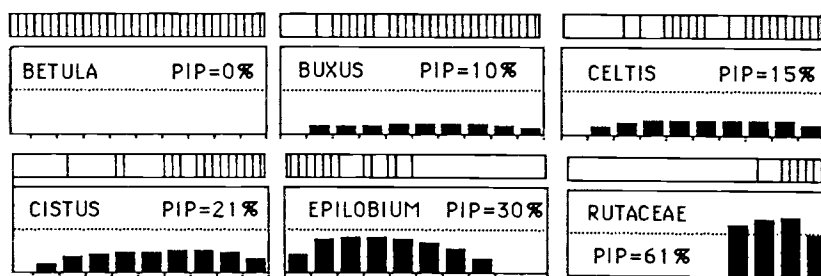
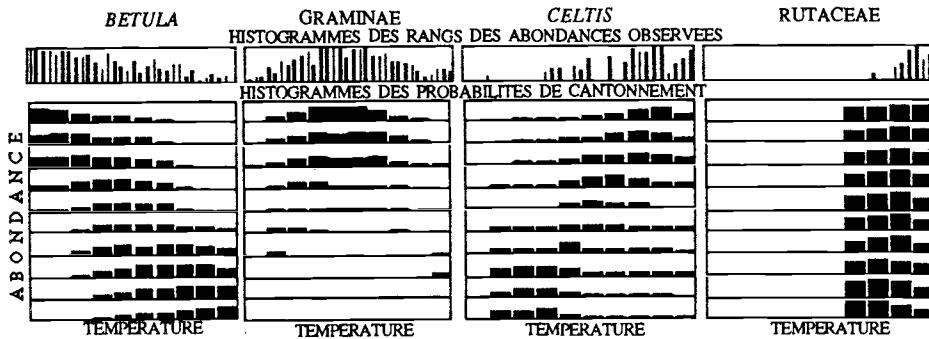


FIGURE 7 - Exemple d'étalonnage de la présence et de l'abondance. Un histogramme supérieur montre les abondances du taxon observées dans les classes de température. Dessous, chaque histogramme montre les probabilités de cantonnement du taxon en fonction de la température (en abscisse) pour une classe d'abondance du taxon. Un rectangle comporte dix histogrammes empilés, un par classe d'abondance. Un rectangle visualise le comportement écologique d'un taxon à l'égard d'un facteur. Le paramètre utilisé, PCT, permet de combiner les indications climatiques apportées par les différents taxons d'un relevé. Pour les taxons ubiquistes comme *Betula* et *Graminae* PCT se confond avec PIA.



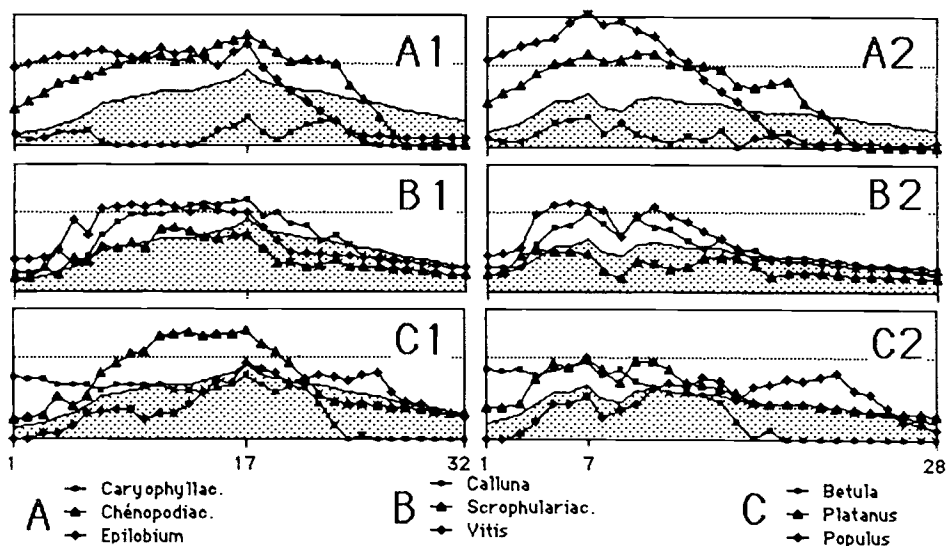
quelle est la probabilité de rencontrer l'abondance A dans la température R ? L'ensemble des valeurs de PCT, pour tous les rangs de l'abondance et du facteur, visualise le comportement du taxon à l'égard du facteur.

### 3.5. Estimation du climat d'après la flore

Le paramètre PCT permet d'associer les indications apportées par les taxons qui coexistent dans la même communauté. En effet, chaque taxon avec son abondance est un témoin du climat. Il indique la probabilité PCT qu'il a d'être situé dans chaque rang de la gamme (figure 8).

Tous les taxons ensemble indiquent une probabilité moyenne dont la valeur maximale indique la position probable de la communauté. Dans l'exemple cité, les valeurs estimées concordent avec les valeurs mesurées pour tous les spectres polliniques annuels, sauf un.

FIGURE 8.- Estimation du climat d'après la flore pollinique. En abscisses, les rangs de deux sommes de températures T, à gauche  $\Sigma T > 0^{\circ}\text{C}$  en hiver ayant 32 rangs, à droite  $\Sigma T > 15^{\circ}\text{C}$  au printemps ayant 28 rangs. En ordonnées, les probabilités de cantonnement de quelques taxons aéropolliniques observés dans le spectre de Rouen en 1978. La courbe tramée montre la moyenne des taxons du spectre.



#### 4. CONCLUSION : EXTENSION DE LA METHODE PROBABILISTE EN ECOLOGIE

La méthode probabiliste quantifie les relations statistiques entre flore et climat comme on l'a vu. Elle quantifie aussi les autres phénomènes écologiques, tels que les différences climatiques entre les plantes ou entre les relevés. Par exemple, elle décrit la différence entre les comportements de deux plantes comme la probabilité de disjonction des présences ou de discordance des abondances dans la gamme des facteurs (GRANDJOUAN, 1992). Symétriquement, elle décrit la différence entre deux milieux comme la probabilité de différences entre les cantonnements cumulés de leurs flores respectives (tableau 3). Dans tous les cas elle se fonde sur un nombre réduit d'hypothèses adaptées à l'écologie en milieu naturel. Elle traduit la dépendance écologique par son effet sur le rangement des observations dans les gammes des facteurs. Enfin, elle résume ces relations par des classifications hiérarchiques, elles aussi fondées sur de simple probabilités exprimant la justesse de la hiérarchie.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BIRKS, H.J.B. and GORDON, A.D., 1985. *Numerical methods in Quaternary Pollen Analysis*. Academic Press, 317 p.
- BRISSE, H. et G. GRANDJOUAN, 1977. Etalonnage et classification climatique de 450 plantes en France. *Symposium de l'Association internationale de phytosociologie* (Rinteln, 1975), ed. Cramer, 537-607.
- BRISSE, H., G. GRANDJOUAN et P. de RUFFRAY, à paraître. Estimation of climates by calibration of indicator species throughout France.
- COUR, P., 1974. Nouvelle technique de détection des flux et retombées polliniques : Etude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol. *Pollen et spores*, XVI, 1, 103-142.

- GRANDJOUAN, G., 1992. A method of probabilist classification in ecology. *International meeting on distance analysis*, Université de Haute-Bretagne (Rennes, France), 435-438.
- GRANDJOUAN, G., P. COUR and R. GROS, 1993. Climatic calibration of 80 aeropollinic taxa along a European transect. *Vegetatio*, 1-18 (in press).
- GUIOT, J., 1991. *Methods and programs of statistics for palaeoclimatology and palaeoecology*. I.N.S.U., Centre universitaire d'Arles, PNEDC, Série «Quantification des changements climatiques : méthodes et programmes», Monographie n°1, 258 p.
- GUINOCHET, M., 1973. *Phytosociologie*. Collection d'écologie, 1. Paris, Masson et Cie, 227 p.
- OZENDA, P., 1966. *Perspectives nouvelles pour l'étude phytogéographique des Alpes du Sud, Documents pour la carte de la végétation des Alpes*, t. IV.
- RUFFRAY, P. de, H. BRISSE et G. GRANDJOUAN et M. HOFF, 1989. «Sophy», une banque de données phytosociologiques. Son intérêt pour la conservation de la nature. *Actes du colloque «Plantes sauvages et menacées de France : bilan et protection»* (Brest, octobre 1987). Paris, Bureau des ressources génétiques, 129-150.