

Structure floristique d'un transect de végétation steppique de la basse-Moulouya

Allal MHAMDI *

(Reçu le 21/12/1993; Accepté le 09/03/1994)

البنية النباتية لمخترق سهبي عبر ملوية السفلى

إن التحليل العاملي للتطابقات الملائمة لظروف التجارب يوفر إمكانات هائلة لجرد الاستثمارات المستعملة في علم إيكولوجيا النبات النموذج القانوني لإعادة كتابة اللوائح النباتية باعتبار التكتلات، و النموذج المزدوج التمايزي للجرد الخرائطي للقضاءات، يشكلان أدوات قيمة تساعد على الإحاطة بالبنية النباتية الإيكولوجية. تكامل هذين النموذجين أتاح لنا ترتيب بنية مخترقنا حسب مستوى قطاعي معروف بتدرج نباتي. و على مستوى الحيز المتميز بعدة مستويات للتكتل، محددة في المكان مجمعة، و ذات تطابقات دقيقة.

الكلمات المفتاحية : تحليل التطابقات - مخترق - الإيكولوجيا النباتية - سهب - بنية.

Structure floristique d'un transect de végétation steppique de la basse-Moulouya

L'analyse factorielle des correspondances adaptée aux circonstances expérimentales offre d'énormes possibilités pour le dépouillement des enquêtes phyto-écologiques. Le modèle canonique pour la réécriture phytosociologique des tableaux floristiques et le modèle double discriminant pour la cartographie spatiale constituent des aides précieux pour cerner les structures phyto-écologiques. La complémentarité de ces deux modèles a permis de hiérarchiser la structure de notre transect suivant un niveau sectoriel caractérisé par un gradient floristique et un niveau local caractérisé par divers niveaux d'implantation localisés, agrégatifs et de correspondance pointue.

Mots clés: Analyse des correspondances - Transect - Phyto-écologie - Steppe - Structure

Floristical structure of steppic vegetation transect of the Basse-Moulouya

The factorial correspondence analysis adapted to experimental circumstances allows great possibilities for phyto-ecological data analysis. The canonical model for the phytosociological rewriting of botanical tables. Furthermore, the double discriminant model for spatial mapping constitutes great help in defining or delimiting phytosociological structures. These two models are complementary and allow together a better structure hierarchy within the transect according to a sectorial level characterised by a floristical gradient and a local level characterised by various levels of localised implementation, aggregated, and sharp correspondence.

Key words: Correspondence analysis - Transect - Phytocology - Steppe - Pattern.

* Département d'Écologie, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P.6202- Instituts, 10 101 Rabat (Maroc)

INTRODUCTION

La détermination de la valeur indicatrice des unités de végétation à partir des informations fournies par les relevés phyto-écologiques stationnels est l'un des objectifs fondamentaux de la démarche phyto-écologique (Gounot, 1969). Cette démarche s'articule autour de trois problèmes principaux:

- Recherche de structure floristique
- Recherche de structure de milieu
- Recherche de structure synécologique

La nature, par essence multivariée des problèmes phyto-écologiques (échantillonnage de plusieurs espèces et de plusieurs variables dans plusieurs stations), rend difficile la synthèse des relations qui régissent l'organisation et le fonctionnement des phytocénoses.

Celle-ci est encore plus délicate lorsqu'il s'agit de structures qui s'expriment sur des supports expérimentaux, notamment l'espace (cas de transect) qui constitue une caractéristique de base pour l'identification et la localisation exacte des entités écologiques.

L'analyse factorielle des correspondances (A.F.C.) (Cordier, 1963 ; Benzecri, 1973), par la multiplicité des modèles sous-jacents qu'elle recouvre (modèle canonique pour la réécriture des tableaux phytosociologiques, modèle discriminant pour la cartographie spatiale ou temporelle des structures et l'A.F.C. Multiple pour le dépouillement des variables qualitatives) offre d'énormes possibilités pour faciliter l'interprétation des structures écologiques (Buisse, 1982 ; Esteve, 1978 ; Chessel & Debouzie, 1982 ; Chessel & Debouzie, 1983).

Dans ce travail, on se propose d'utiliser deux modèles sous-jacents à l'A.F.C. pour l'étude de la structure floristique d'un transect de végétation steppique de la Basse-Moulouya.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Matériel biologique

Dans le bassin de la moyenne Moulouya, caractérisé par une végétation subdésertique à chénopodiacées et à graminées très ouverte, un transect de 86 km de longueur a été choisi suivant un gradient altitudinal présentant 810 mètres de dénivelé entre Hassi Lahmar et Outat El Haj.

Sur ce transect, 86 relevés phyto-écologiques sont effectués suivant un échantillonnage systématique à raison d'un pas d'un Km. Quarante six espèces ont été inventoriées dans le cheminement de ce transect (Tableau 1).

Tableau 1. Liste des espèces

- 1 *Artemisia herba alba* Assoc.
- 2 *Atractylis serratuloides* Sieb.
- 3 *Atractylis humilis* L.
- 4 *Telephium sphaerospermum* Boiss.
- 5 *Antyllis vulneraria* L.
- 6 *Allyssum linifolium* L.
- 7 *Aristida obtusa* Del.
- 8 *Aristida ciliata* Desf.
- 9 *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau.
- 10 *Spitzelia coronopifolia* Desf.
- 11 *Convolvulus trabutianus* Schaw et Musc.
- 12 *Capparis spinosa* L.
- 13 *Cytisus fontanesii* Spach.
- 14 *Dactylis glomerata* L.
- 15 *Erodium bipinnatum* Willd.
- 16 *Evax pigmaea* (L.) Brot. Pomel.
- 17 *Echium pycnanthum* Pomel.
- 18 *Fagonia zylloides* Humb.
- 19 *Glaucium corniculatum* Curtis.
- 20 *Globularia alypum* L.
- 21 *Herniaria fontanesii* J. Gay
- 22 *Helianthemum virgatum* (Desf.) Pers.
- 23 *Helianthemum lippii* (L.) Pers.
- 24 *Haloxylon scoparium* Pomel.
- 25 *Lygeum spartum* L.
- 26 *Launaea acanthoclada* M.
- 27 *Launaea nudiculis* (L.) Hook. f.
- 28 *Lycium intricatum* Boiss.
- 29 *Noaea mucronata* (Forsk.) Asch. et Schw.
- 30 *Plantago albicans* L.
- 31 *Plantago psyllium* L.
- 32 *Polycnenum fontanesii* Dur. et Moq.
- 33 *Pituranthos scoparius* Coss et Dur.
- 34 *Rosmarinus officinalis* L.
- 35 *Stipa tenacissima* L.
- 36 *Stipa parviflora* Desf.
- 37 *Schismus barbatus* (L.) Thell.
- 38 *Salvia aegyptiaca* L.
- 39 *Salsola vermiculata* L.
- 40 *Salsola foetida* Del.
- 41 *Teucrium polium* L.
- 42 *Halogeton alopecuroides* (Del.)
- 43 *Ziziphus lotus* (L.) Desf.
- 44 *Thymus ciliatus* Desf.
- 45 *Pseudocytisus integrifolius* (Salisb.) Rehder.
- 46 *Centaurea pungens* Pomel.

2. Méthode d'analyse

• Modèle général de l'analyse factorielle des correspondances

L'A.F.C. traite un tableau de contingence T à I lignes et J colonnes ($J < I$), représentant les modalités de 2 variables qualitatives. À l'intersection de la ligne i et de la colonne j se trouve la valeur n_{ij} ; effectif des individus porteurs des modalités i et j des variables.

On note $N = \sum_i \sum_j n_{ij}$ et $P = [P_{ij}]$ le tableau

des probabilités élémentaires : $P_{ij} = \frac{n_{ij}}{N}$.

Les distributions de probabilités marginales sont

$$P_{i.} = \sum_j P_{ij} \quad \text{et} \quad P_{.j} = \sum_i P_{ij}$$

L'A.F.C. consiste alors à diagonaliser la matrice $P'D_I^{-1}PD_J^{-1}$ où D_I et D_J sont des matrices diagonales de terme général :

$$D_I^{-1} = \begin{bmatrix} 1/P_{i.} & & & \\ & \dots & & \\ & & 1/P_{i.} & \\ & & & \dots \\ & & & & 1/P_{i.} \end{bmatrix}$$

$$D_J^{-1} = \begin{bmatrix} 1/P_{.j} & & & \\ & \dots & & \\ & & 1/P_{.j} & \\ & & & \dots \\ & & & & 1/P_{.j} \end{bmatrix}$$

Un changement de base dans R_j permet de se ramener à la matrice $S = D_J^{-1/2} P'D_I^{-1} PD_J^{-1/2}$ de terme général :

$$S_{jk} = \sum_i \frac{P_{ij}P_{ik}}{P_{i.}\sqrt{(P_{.j}P_{.k})}}$$
 qui est symétrique.

Soient λ_q la q ème valeur propre de S et u_q son

q ème vecteur propre. La coordonnée de la j ème colonne de la table de contingence sur l'axe q est donnée par :

$$C_q(j) = \sqrt{(\lambda_q)} \frac{u_q(j)}{\sqrt{(P_{.j})}}$$

Celle de la i ème ligne en déduite par :

$$L_q(i) = \left[\frac{1}{\sqrt{(\lambda_q)}} \right] \sum_j \left(\frac{P_{ij}}{P_{i.}} \right) * C_q(j)$$

Ces coordonnées sont centrées pour les distributions marginales, indépendantes entre elles au sens des distributions marginales, et elles sont moyennes réciproques l'une de l'autre à une constante près.

On pourra donc effectuer les représentations graphiques associées aux différents couples de facteurs. Ces représentations, munies des pondérations des distributions marginales, permettent de juger de la proximité entre les lignes ou les colonnes, et donc de la similitude des profils correspondants.

• Modèle canonique

L'A.F.C., se basant sur les propriétés du "reciprocal averaging" (Hill, 1973), fournit un codage des lignes (relevés) et un codage des colonnes (espèces), telle que la corrélation soit maximale entre eux. Ces codages sont les facteurs de l'A.F.C., jouant successivement deux à deux le même rôle d'une manière indépendante (les facteurs sont orthogonaux).

Le premier facteur de l'analyse permet d'obtenir une réécriture organisée du tableau floristique par rapport à celle obtenue par la "méthode des tableaux" de l'école sigmatiste européenne (Gounot, 1969). Pour sa part, Hill (1973) souligne l'intérêt de la méthode dans la description des gradients qui relèvent des techniques d'ordination (Whittaker, 1967 ; Noy-Meir & Whittaker, 1977).

En dehors des préoccupations méthodologiques, l'A.F.C. peut fournir la description la plus objective et la plus proche des structures phytosociologiques. Cette réécriture, comme le soulignent Chessel & Debouzie (1983), permet de représenter à la fois les données et l'interprétation retenue (nature de la structure: modèle du gradient ou modèle de classification).

• Modèle double discriminant

Les tableaux floristiques et mésologiques sont souvent caractérisés par une information concernant les modalités expérimentales pouvant être spatiale, temporelle ou spatio-temporelle: cartographie de relevés floristiques; transect de végétation, prélèvements datés, échantillons positionnés dans le temps et/ou dans l'espace.

L'expression de l'évolution spatiale (Corre, 1970) (carte phyto-écologique) ou temporelle (cycle saisonnier, dynamique des communautés etc...) constitue l'objectif principal de la plupart des études phyto-écologiques et surtout les études à vocation d'aménagement. La recherche de structure sera alors orientée vers les variations qualitatives ou quantitatives de la flore et du milieu aidant à l'identification de structures (zones homogènes, transitions, gradients, écaïlles, mosaïques, etc...) (Brubaker, 1980 ; Auda, 1983).

Le moyen le plus simple consiste à associer à chaque relevé une fonction numérique résumant son contenu floristique ou ses caractéristiques écologiques. On demande à cette fonction de discriminer au mieux deux relevés contenant des espèces différentes et d'identifier au mieux deux relevés contenant les mêmes espèces. Le meilleur codage est celui qui minimise la variance intra-relevés (définition des liaisons entre espèces) et qui maximise la variance inter-relevés (définition des liaisons entre relevés). Le modèle double discriminant de l'A.F.C. répond parfaitement à l'objectif initial (Lebart et al., 1977 ; Esteve, 1978 ; Chessel & Debouzie, 1982).

Le dépouillement des résultats recourt aux représentations fonctionnelles des facteurs de l'A.F.C. (représentation des facteurs en fonction de la position spatiale ou temporelle) qui permettront d'identifier les types de structures floristiques et les caractéristiques écologiques dans le cheminement spatial.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le tableau floristique est formé de 86 lignes-relevés et 46 colonnes-espèces dont n_{ij} indique le coefficient d'abondance-dominance de l'espèce j dans le relevé i . Ce type de tableau relève sans conteste de l'A.F.C.

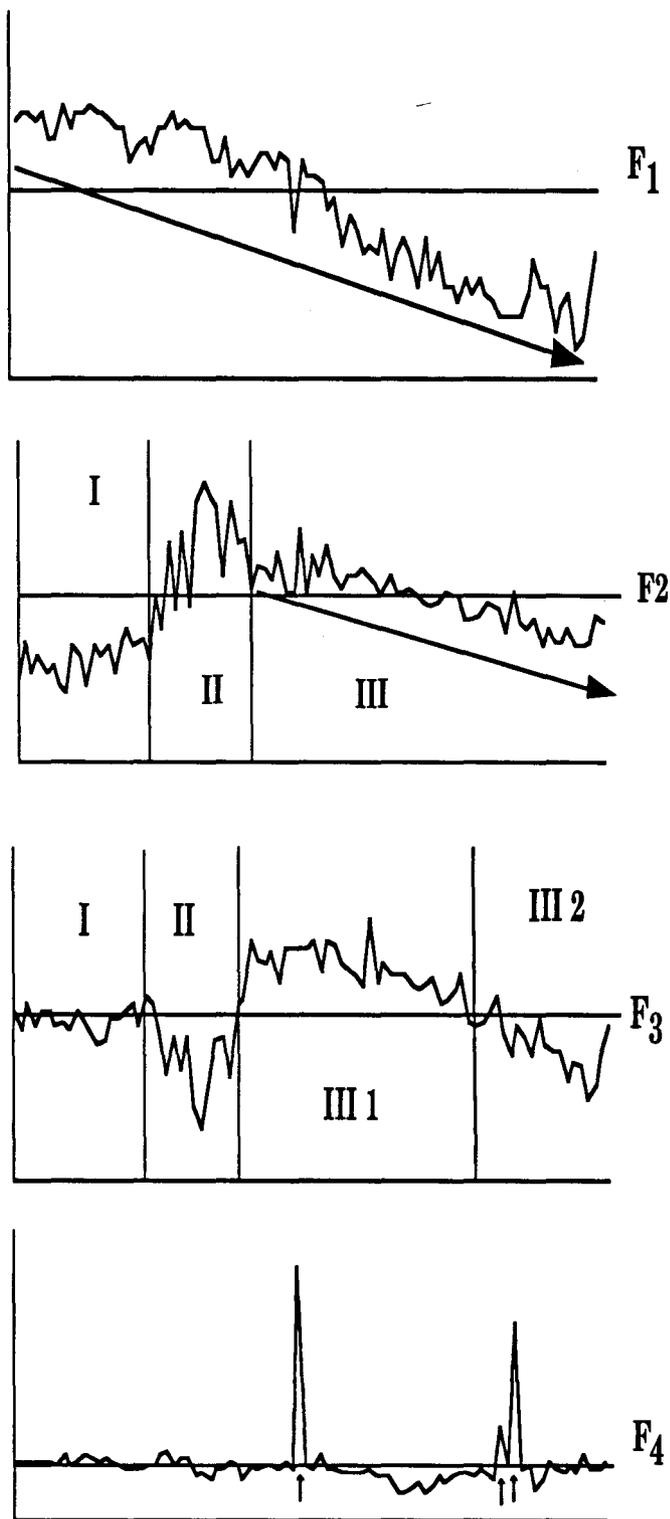


Figure 1. Représentation fonctionnelle des 4 premiers facteurs de l'AFC sur le tableau floristique (86 stations X 46 espèces)

En abscisses, la position spatiale de chacune des 86 stations dans le cheminement du transect ; en ordonnées, les coordonnées factorielles des 4 premiers facteurs de l'AFC

En accord avec les objectifs assignés à cette étude (identification des composantes floristiques et leurs localisations spatiales dans le cheminement du transect), les représentations fonctionnelles des facteurs de l'A.F.C. constituent le moyen le plus pertinent pour la lecture directe sur le support spatial des variations floristiques puis la détection et la localisation des différents types de structures (gradients, zones de transition, groupements homogènes etc...).

La figure 1 donne les représentations fonctionnelles pour les quatre premiers facteurs de l'analyse.

Le premier facteur F1 met en évidence un gradient généralisé à l'échelle du transect. On assiste du début à la fin du transect à un remplacement progressif de groupes d'espèces.

La réécriture canonique du tableau floristique visualise clairement cette gradation floristique (Figure 2).

Le second facteur opère un découpage en trois zones:

* La partie (I) correspond à un faciès de six espèces dont l'implantation est limitée à cette portion: *Pseudocytisus integrifolius*, *Dactylis glomerata*, *Erodium bippinatum*, *Polycnenum fontanesii*, *Atractylis serratuloides* et *Spitzelia coronopifolia*.

* La partie (II) se distingue par un groupe d'espèces localisées exclusivement dans cette zone (*Rosmarinus officinalis*, *Sedum sediforme*, *Cytisus fontanesii* et *Capparis spinosa*) et par des espèces à fortes abondances notamment *Thymus ciliatus*, *Stipa tenacissima* et *Launaea acanthoclada*.

À ces deux caractéristiques se superpose une structuration en écaillés de deux groupes d'espèces (*Atractylis serratuloides*, *Salsola vermiculata* contre *Schismus barbatus*, *Noaea mucronata* et *Plantago albicans*).

* La partie (III) recaractérise la fin du gradient décrit par le premier facteur qui marque un changement rapide du cortège floristique.

Le troisième facteur reprend l'originalité des deux parties (I et II) définies par le deuxième facteur et remodèle la partie (III) en y discriminant deux sous zones:

* La sous zone III1 marque l'implantation localisée en plaque de *Haloxylon scoparium*, La fin de l'extension de *Stipa parviflora*, *Echium pycnanthum* et le début d'apparition de *Aristida ciliata*, *Aristida obtusa*, *Helianthemum lippii* et *Lycium intricatum*.

* La sous zone III2 correspond à un faciès avec forte abondance de *Salsola vermiculata*, *Aristida ciliata*, *Helianthemum lippii*, *Lycium intricatum* en association avec *Fagonia zylloides*, *Halogeton alopecuroides* et *Ziziphus lotus*.

Aussi, on note la persistance de certaines espèces de la partie III1 mais en occurrence très faible et très dispersée, surtout *Noaea mucronata*, *Plantago albicans*, *Stipa parviflora*, *Lygeum spartum* et *Pituranthos scoparius*.

Quant au quatrième facteur, il ne discrimine que trois stations caractérisées par la présence exclusive de *Salsola foetida*.

CONCLUSION

La structure floristique du transect se résume par un gradient floristique à l'échelle sectorielle marqué par un changement progressif accompagné d'un appauvrissement du cortège floristique en progressant dans la ligne de ce transect.

Cependant, diverses structurations sous-jacentes à ce gradient se manifestent à des échelles réduites. On peut ainsi mettre en évidence quatre grands types de végétation G1, G2, G3, G4 et deux sous types dans G4 (G41 et G42) (Figure 2).

Les groupements G1 et G41 s'opposent sur les extrémités du gradient à implantations strictement localisées dans les zones I et IV. Les autres groupements G2, G3 et G4 s'échelonnent respectivement sur les zones (I et II), (I, II et III) et (I, II, III et IV).

En plus de l'organisation en écaillés de ces groupements, on assiste à une intense activité de substitution entre espèces le long de la gradation.

De point de vue méthodologique, on souligne l'importance des modèles sous-jacents à l'A.F.C. dans le dépouillement et l'interprétation des tableaux floristiques notamment le modèle canonique pour la réécriture du tableau phytosociologique et le modèle discriminant dans la cartographie linéaire de la structure floristique.

000000001111111122222222333333334444444455555555666666667777777788888888				
123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456				
452..211.1122.....	G1	
14	.12...11.121..1.....	..1.....		
15	..1.....1...1.1...	.....	
32	..1..1...1...1....	..1.....		
03	11121.11212.122...12	1.....		
10	1..1111.1.11.1.....	1.....		
37	1121111112221111111.1111111....1	...1.....	G2	
31	.....1.....1.....1	.....	
34	.....232...	.....	
06	.....11...1...1...1	.....	
09	.....2...21...1	.....	
22	1111111122...111...1211..1...1.	.....11...1.....	
05	11..1....21.11.....1...1.1.....1.....	G3	
44	.2.1...2..2.1..1...22233332233	.....1...1.....	
01	2.3113332232122322121.....111.1..22122121.211112.....	.....	
04	111.1...11.....1.1...1.....11..1.11..1.....	.....	
13	.....1.132222.2.....	.....	
27	....1...1.....	.....	
29	4222412311.1112121212211.1...2...11..112.2....1.....	.....3...1..2	
35	.3.32...441422333.2133333333333333333121221322222.2.3..133...	.....	
12	.....1.1..1.1.22.....1.....	.....	
30	111.2.1..21..11.111111111.....1.1112..1...1.....	.....11.....1	
19	..1.....12.11.....1.....	.....	
36	2121.212122.1111111121121111111.11111111.1.1..1.11..1...1.1.1.	1111.....1.1...1		
26	.....2.2.2223.322.2212..11222..112.....1.....	.....	
41	...1...1.....2.....1...2.11...2..1..111.....	.....1.....1	
46	.....1.....11.....1.....	.....	
17	.....111.1..1.....1.111.11..1.11.111.....	..1.....	
16	..11.....11.11.....1.11111..111.....11.1.11111111..1...	.....	
20	.....1.....111.11.....12.2...112112.1.....	.....	
21	2111211.11...11.1111.111...1..111111111.11111111.1.1.11111.1.1...11.1...11.1..1...1	G41	
25	111.1.1111..1111.111.1...111.....111...2...11..1121..1...	.....	
24	.....31221322223221111211.....	.....	
11	.....1.....11..1...1.....1.....1.....1...1.....	.....	
33	.....221...2...1...1.2...11.....11...2.1.1...1...21	.....	
38	..1..1..1.....1.....1.....12.....	.....	
02	.....2....1..233133222322.121222121.1111.2111211.11111.1.21111.2...11	.....	
39	....22.2.1...111221...1..1.12.31.....121.1.2211.22212221222222.32232332222	.....	
07	.....1...22...13113323322434433332333433334233333.211111111	.....	
23	.....1.....1.....132221212..212212211122212.1.111.1...11	.....	
08	.....22222121...1...112221111.11..	.....	
403.....1.3.....	G42	
18	.....11.....1....	2211..1.111.111..1..11	
28	.....223.2.....	.33433441.432213124432	
42	.....	.....11212.2233332223
43	.....1.....	.....1...2213..21.2.21..
	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV

Figure 2. Structure floristique réorganisée du transect de la Basse-Moulouya
 En colonnes, les numéros des stations sont présentés suivant l'ordre du transect de 1 à 86
 En lignes, les numéros des espèces sont réorganisés suivant le premier facteur de l'A.F.C.

La démarche suivie montre la complémentarité de ces deux modèles dans le dépouillement de cette structure.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Auda Y (1983) Rôle des méthodes graphiques en analyse des données: Application au dépouillement des enquêtes écologiques. Thèse 3ème cycle, Lyon 120 p
- Benzecri J. P. (1973). L'analyse des données : l'analyse des correspondances. Vol.2 Dunod, Paris, 615 p
- Brubaker L. B. (1980) Spatial patterns of the growth anomalies in the pacific northwest *Ecology* 61 : 798-807
- Buysse M. (1982) Les différentes approches conduisant à l'analyse des correspondances *Biom. Praxim.* XXII (3-4) : 1-26 p
- Chessel D. & Debouzie D. (1982) Rôle de l'A.F.C. en écologie factorielle. Comm. présentée au XIème Congrès International de Biométrie de Toulouse, Ronéo, 11 p.
- Chessel D. & Debouzie D. (1983) Analyse des correspondances et écologie -causes et conséquences du succès. Comm. présentée au Colloque de Mathématiques Appliquées à la Géographie , Besançon, Ronéo 18 p
- Cordier B. (1963) L'analyse factorielle des correspondances. Thèse 3ème cycle, Rennes 65 p
- Corre J. J. (1970) La méthode des transects dans l'étude de la végétation littorale. *Bull. Acad. et Société Lorraine des Sciences* IX (1): 59-79
- Esteve J. (1978) Les méthodes d'ordination :Eléments pour une discussion *In* Biométrie et Écologie J M Legay & R Tomassone S F B , Paris , 223-250
- Gounot M. (1969) Méthode d'étude quantitative de la végétation. Masson, Paris, 314 p
- Hill M. O. (1973) Reciprocal averaging an eigenvector methods of ordination *J. Ecology* 61 : 237-249
- Lebart L., Morineau A.N. & Tabard N. (1977) Techniques de la description statistique : Méthodes et logiciels pour l'analyse des grands tableaux. Dunod, Bordas, Paris, 351 pp.
- Noy-Meir I. & Whittaker R. H. (1977) Continuous multivariate methods in community analysis: Some problems an developpments *Vegetatio* 33: 79-98
- Whittaker R. H. (1967) Gradient analysis of vegetation. *Biological Reviews* 42 : 207-264