

33

Analyses factorielles des correspondances (AFC) sur la végétation dans quelques stations forestières (exemple du Mayombe congolais et des forêts littorales)

MAURICEROUX, CHRISTIANDE NAMUR

Introduction

Cette étude de la végétation forestière concerne plus exactement le peuplement ligneux érigé d'au moins 5 cm de diamètre. À partir de relevés botaniques quantitatifs (nombre et diamètre des individus pour chaque taxon) sur des parcelles élémentaires de même grandeur (20 m × 20 m), nous pouvons décrire précisément la composition floristique des stations étudiées, de son changement éventuel le long d'une toposéquence et comparer les différentes stations entre elles. Cette approche, très longue et fastidieuse sur le terrain, est cependant nécessaire pour une analyse statistique des relevés et plus particulièrement l'analyse factorielle des correspondances (AFC). En effet, s'il est relativement facile de dégager par des calculs simples de fréquence ou d'abondance les grandes dominantes floristiques au niveau d'une station comportant un nombre réduit de parcelles et de taxons, il en est tout autrement lorsqu'il s'agit de comparer une quinzaine de stations regroupant près de 110 parcelles et 430 taxons et l'utilisation de l'analyse factorielle des correspondances apparaît alors tout indiquée comme outil d'analyse.

Le cadre naturel

La végétation étudiée du sud Congo comprend les forêts du Mayombe et celles du littoral au sens large incluant les plaines côtières. Le Mayombe est une chaîne de moyenne montagne côtière de type appalachien, large de 30 à 60 km, et allongée parallèlement à la côte. Cette chaîne barre toute la façade maritime du Congo, et se prolonge au nord-ouest vers le Gabon, au sud-est vers le Cabinda, puis au Zaïre. Elle est essentiellement formée de roches schisteuses et gréseuses.

Le Mayombe occidental forme un paysage de crêtes et de collines qui s'abaissent lentement vers la plaine côtière. On passe ici progressivement de la forêt mayombienne aux savanes côtières par l'intermédiaire d'une mosaïque de savanes et de forêts plus ou moins dégradées par les cultures.

À l'opposé, le Mayombe oriental, zone où de hautes crêtes de grès quartziques et de vallées creusées dans les schistes alternent régulièrement, plonge brutalement vers les vallées de la Nyanga et du Niari.

Le climat est de type équatorial de transition, appelé par Aubréville « Climat bas-congolais ». Il est caractérisé par une longue saison sèche, plus fraîche, de quatre mois environ (juin à septembre). La saison des pluies peut être scindée en deux par une seconde saison sèche de courte durée, marquée par un ralentissement des précipitations, mais qui bien souvent passe inaperçue. La pluviométrie est largement variable d'un poste à l'autre entre 1 250 et 1 900 mm, en liaison avec l'altitude et les microclimats. Les variations d'une année sur l'autre sont importantes, les écarts à la moyenne pouvant dépasser 500 mm. L'humidité relative est élevée toute l'année. Les amplitudes moyennes sont faibles : 7 % entre les mois les moins humides (août-septembre : 88 %) et ceux où l'hygrométrie est la plus élevée (mars-avril : 95 %).

La forêt du Mayombe est une forêt dense humide sempervirente de transition vers un type semi-caducifolié (White, 1986). L'élément sempervirent domine, mais des espèces caducifoliées apparaissent dans la végétation. Environ 2 400 taxons ont été répertoriés pour l'ensemble du Mayombe, mais seulement 1 700 pour la partie congolaise. Il faut néanmoins remarquer que la

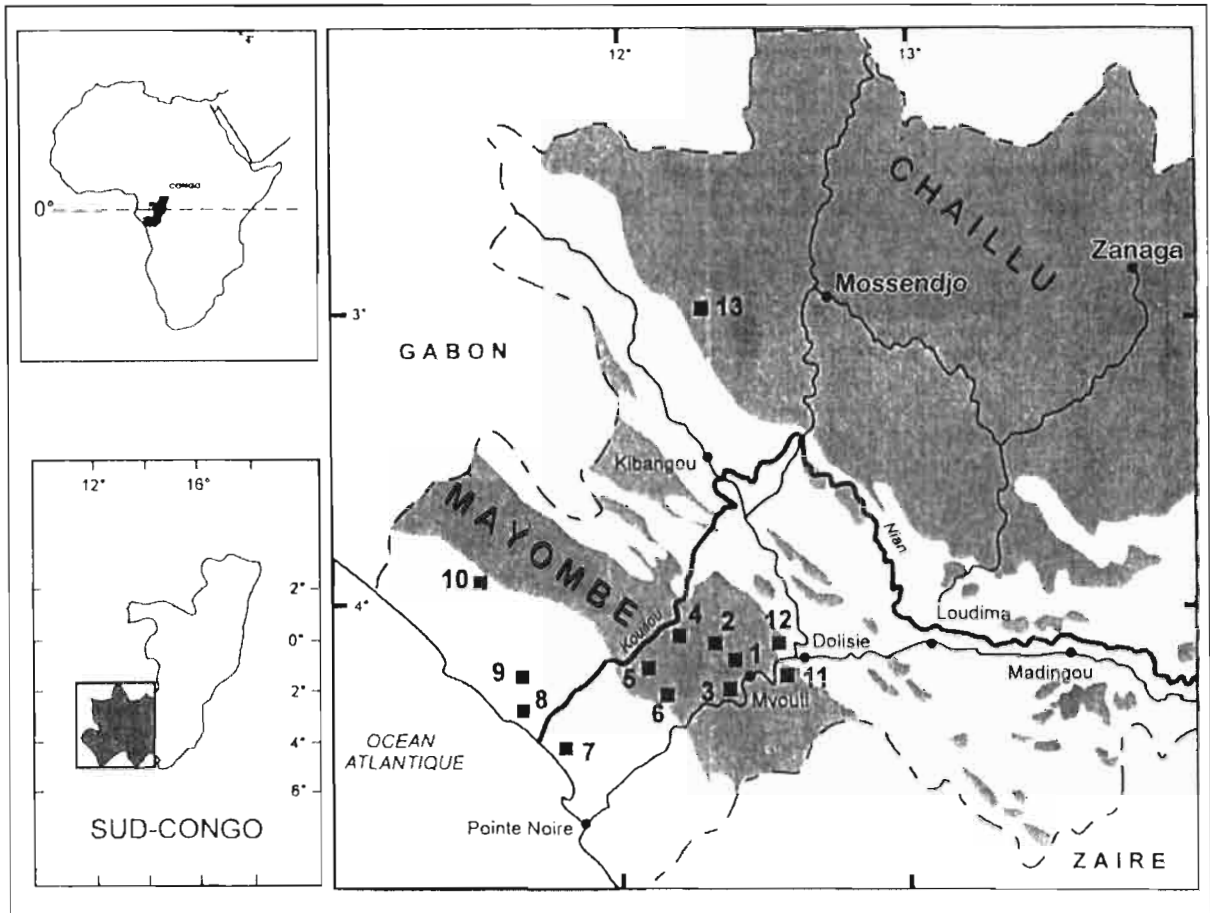


Figure 1 Localisation des parcelles botaniques et des échantillons palynologiques actuels.
 Sites étudiés : 1. Dimonika, 2. La tour, 3. Les Saras ; 4. Mandzi ; 5. Mindou ; 6. Kitina ; 7. Tchissanga ; 8. La Ntombo ; 9. Koubotchi (3 stations) ; 10. Konkouati ; 11. Les Bandas ; 12. Mpassi Mpassi ; 13. Ngouha.

connaissance floristique de cette région est encore très fragmentaire et que des grandes zones d'accès difficile n'ont pas encore été bien prospectées. Les familles les mieux représentées par ordre décroissant de leur nombre d'espèces sont : les Rubiacées, les Euphorbiacées, les Caesalpiniacées, les Apocynacées, les Annonacées.

Méthode d'échantillonnage

Une parcelle élémentaire d'étude est représentée par un carré de 20 × 20 m. Pour chaque station plusieurs parcelles sont étudiées :

- > Pour le Mayombe central : Dimonika (17 parcelles), La Tour (15), Mindou (18), Mandzi-1 (6), Mandzi-2 (3), les Saras (12), Lac Kitina (6).
- > Pour le Mayombe oriental : Les Bandas (4), Mpassi-Mpassi (3).
- > Forêt sub-littorale : Koubotchi1 (5), Koubotchi2 (6), Koubotchi (friche) (2).
- > Forêt littorale : Ntombo (4), Tchissanga (9).

Soit un total de 110 parcelles.

Dans ces parcelles, tous les individus arbustifs ou arborescents sont recensés au dessus d'un diamètre supérieur ou égal à 5 cm mesuré conventionnellement à hauteur de poitrine (1,3 m) appelé DBH (*Diameter-Breast-Height*), ou au-dessus des contreforts et des racines-échasses.

Analyse de la végétation

Méthodologie

Nous avons tout d'abord déterminé les principales caractéristiques de chaque parcelle et de chaque station, en calculant le nombre d'espèces, le nombre d'individus par espèce, la surface terrière (somme des surfaces des sections de tronc à 1,3 m de hauteur) par espèce et totale, l'indice de diversité de Shannon-Wiener et l'indice d'équipartition, la répartition des espèces en classes de diamètre.

Nous avons effectué ensuite plusieurs analyses factorielles. Ces méthodes, maintenant classiques, consistent à extraire par ordre d'importance décroissante les gradients successifs, non corrélés entre eux, qui sous-tendent la dispersion des vecteurs lignes et des vecteurs colonnes du tableau analysé. Les deux principales méthodes de ce type sont l'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse factorielle des correspondances (AFC), deux applications voisines d'un même principe mathématique.

Les options spécifiques de chacune de ces méthodes font que l'ACP est mieux adaptée au traitement des variables continues (taille, poids, pH, etc.), tandis que l'AFC permet d'analyser soit des tableaux d'effectifs (tableaux de contingence) soit des tableaux dont les colonnes représentent des variables qualitatives.

Les données botaniques se présentent généralement sous forme de comptages d'arbres ou bien sous forme de

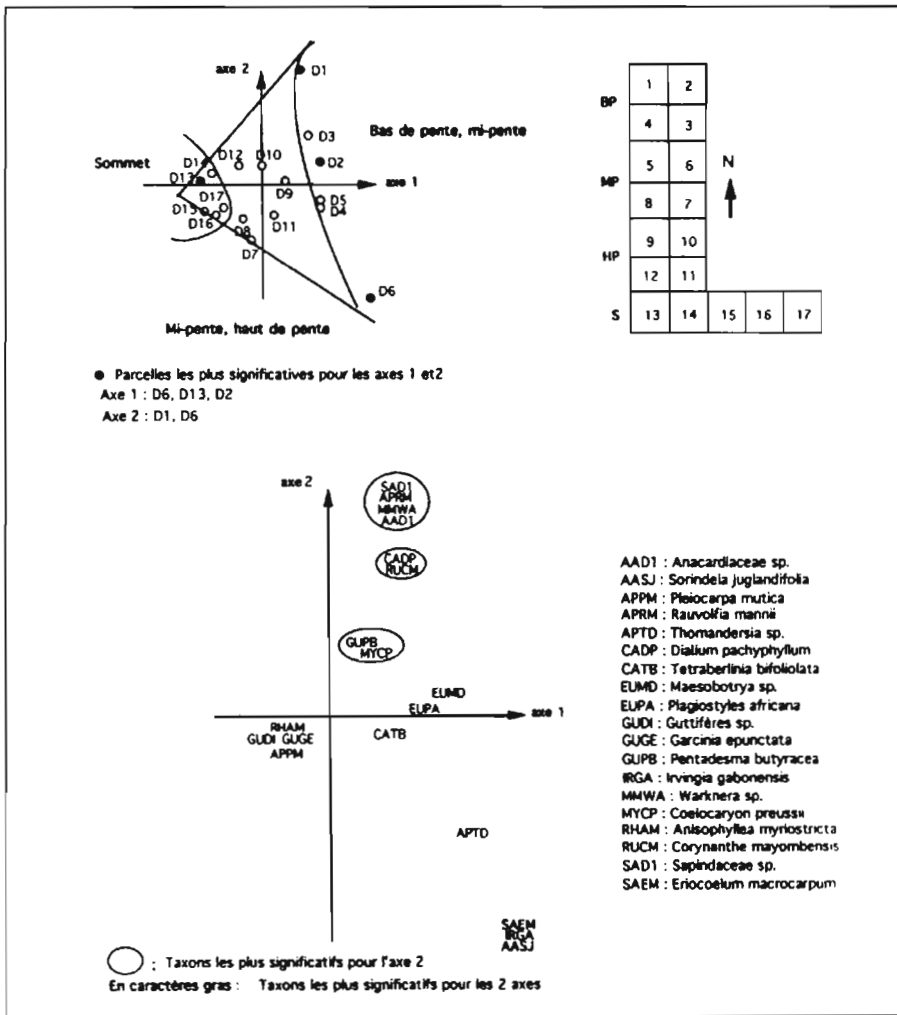


Figure 2 Analyse factorielle des correspondances sur la station de Dimonika. Parcelles en haut et taxons en bas.

présence ou d'absence de ces arbres. Dans ces deux cas elles relèvent donc de l'AFC.

Chacune des stations a été analysée séparément (dans la mesure où le nombre de parcelles était suffisant) puis dans l'ensemble des stations du Mayombe Central. Une autre AFC porte sur les parcelles regroupées suivant leur position topographique et enfin une dernière analyse concerne l'ensemble des stations. Ces analyses prennent en compte le nombre d'individus par taxon pour chaque parcelle.

Nous avons également analysé les tableaux de corrélation entre taxons en considérant les taxons les plus fréquents.

Résultats des analyses factorielles

AFC d'une station, exemple de Dimonika

Cette analyse porte sur les dix-sept parcelles réparties le long d'une toposéquence à très forte pente (Figure 2). On observe sur le premier axe factoriel un regroupement des parcelles suivant leur position le long de la toposéquence, les parcelles du sommet étant à l'extrémité de la partie négative de l'axe, les parcelles du haut et de mi-pente près de l'origine et enfin les stations du bas et de mi-pente dans la partie la plus positive. Cet axe met donc en évidence un changement progressif dans la composition floristique le long de la toposéquence.

L'axe 2 met en évidence une forte dispersion des par-

celles les plus basses (n_1 à n_6) qui traduit une grande hétérogénéité dans leur composition floristique. Cette dispersion diminue le long de la pente vers le sommet (D_{13} à D_{17}). Les relevés du sommet apparaissent donc plus homogènes que ceux du bas de pente. Ces deux résultats ont été vérifiés pour chaque station.

AFC Mayombe Central

L'examen des deux premiers axes factoriels (Figure 3) montre une très nette individualisation des différentes stations. Toutes les parcelles d'une même station sont bien regroupées.

L'axe 1 met en évidence une forte opposition entre les stations de Dimonika et de Mindu, situées respectivement sur des sols ferrallitiques fortement désaturés, remaniés et des sols ferrallitiques appauvris, jaunes sur matériau sableux, présentant des compositions floristiques bien différenciées.

L'axe 2 dissocie très fortement Mandzi-2 et, plus faiblement, Mandzi-1 — mais d'une façon tout aussi significative —, de l'ensemble des autres stations. La station Mandzi-2 correspond à un type de forêt assez particulier, couramment appelé « forêt à Marantacées » dans laquelle le sous-bois très clairsemé est envahi par des Marantacées, ces dernières pouvant être érigées (*Megaphrynium*, *Thaumatococcus*) ou adopter un comportement lianescent plus ou moins accusé (*Marantochloa*, *Sarchophrynium*, *Hypselodelphys*,...).

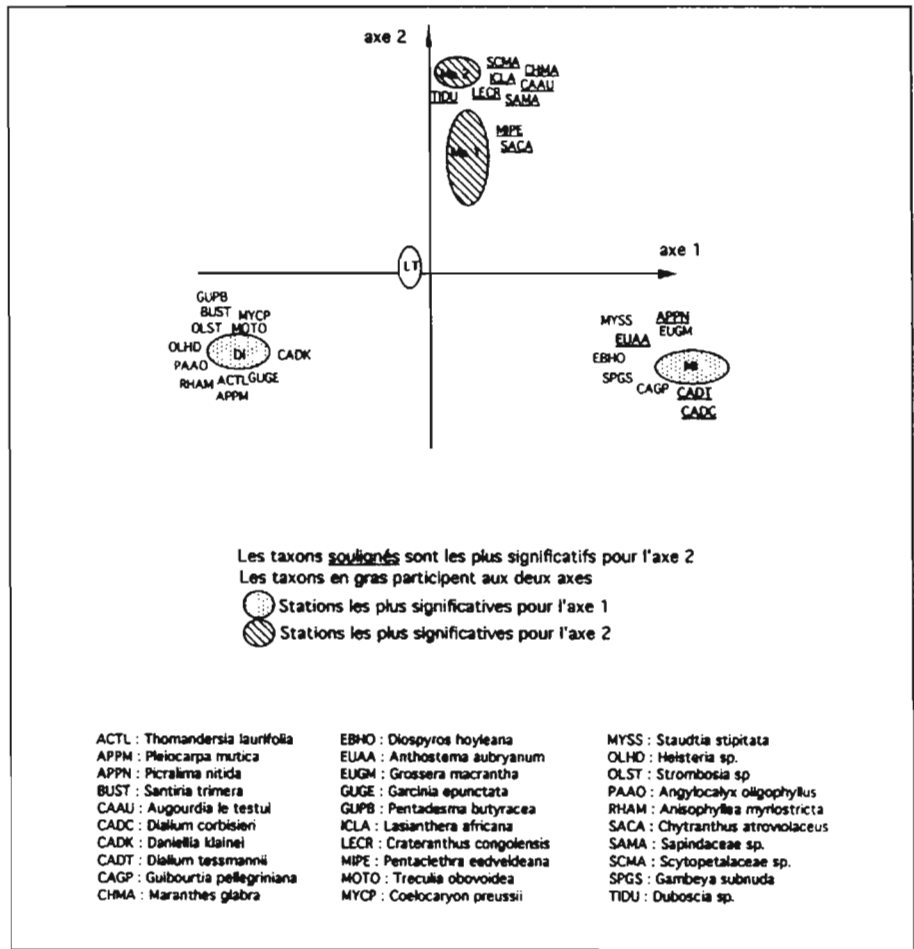


Figure 3 Analyse factorielle des correspondances sur le Mayombe central. Parcelles et taxons.

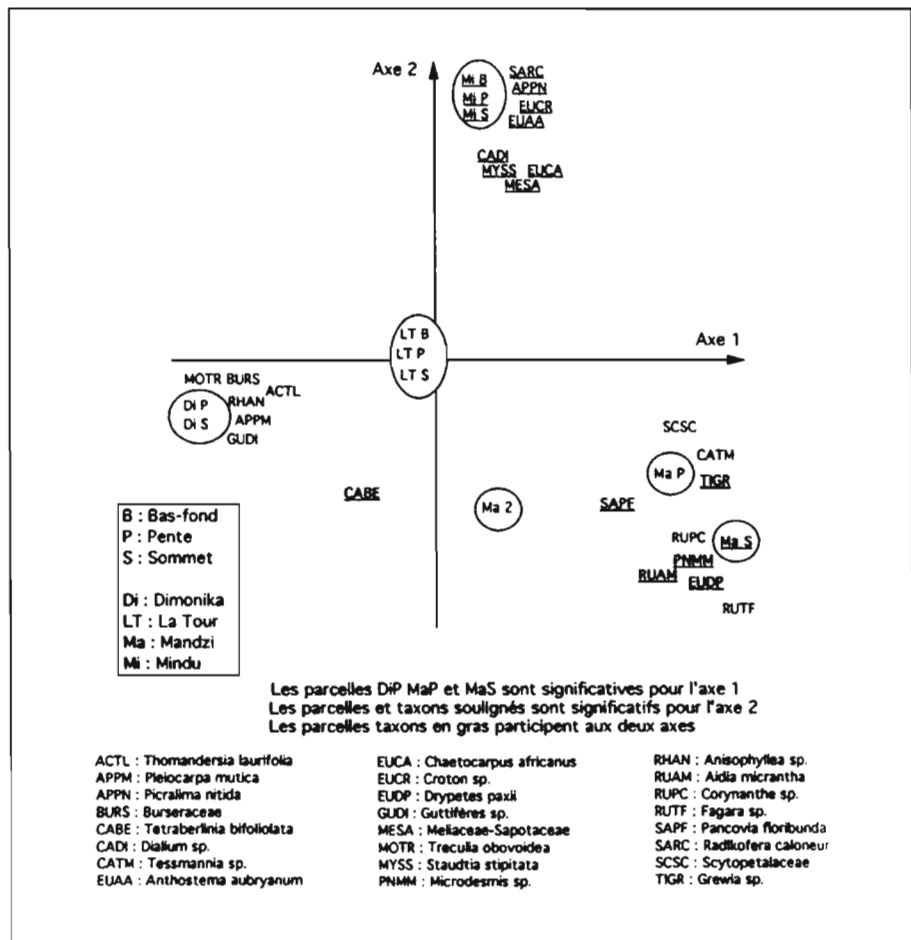


Figure 4 Analyse factorielle des correspondances par parcelles, regroupées par sites topographiques. (B : Bas-fond ; P : pente ; S : sommet).

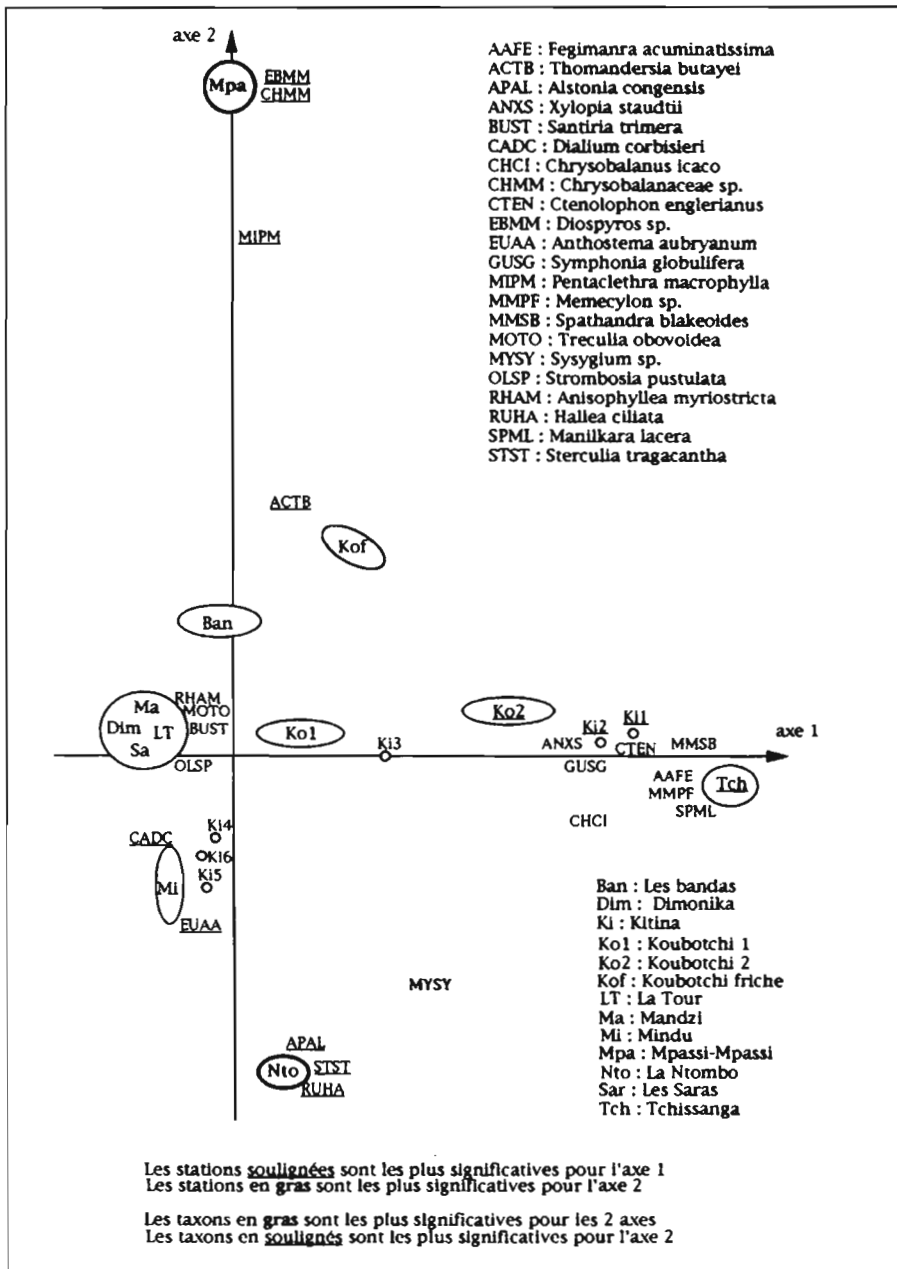


Figure 5 Analyse factorielle des correspondances (Mayombe et forêts littorales).

Mais bien que ces herbes pérennes n'aient pas été prises en considération dans nos relevés, la composition floristique s'avère suffisamment bien individualisée, par rapport aux autres stations, mais assez voisine de celle de Mandzi-1, très proche géographiquement et présentant une structure forestière plus équilibrée.

Ce site de Mandzi se situe sur des sols ferrallitiques fortement désaturés, remaniés, jaunes, sur roches sédimentaires de la série schisto-calcaire.

AFC des parcelles regroupées par site topographique

Dans cette dernière analyse (Figure 4) les stations sont encore bien individualisées, et on n'observe aucun regroupement en fonction de la topographie. Tout au plus nous pouvons remarquer qu'au sein de chaque station, les sites topographiques s'agencent toujours de haut en bas, des parcelles les plus basses (R) vers les plus hautes (S).

Le site topographique ne se révèle donc discriminant qu'au niveau de chaque station et non pour l'ensemble

des stations. L'originalité des stations se révèle plus forte que celle des sites.

AFC sur l'ensemble des stations

Cette analyse (Figure 5) porte sur toutes les stations du Mayombe et du littoral, soit un total de cent six parcelles.

L'axe 1 met en évidence l'originalité de la forêt littorale de Tchissanga, de la forêt de Koubotchi 2 et des parcelles inondables de Kitina (K_{17} , K_2), caractérisées par la présence entre autre de *Ctenolophon englerianus*, *Xylopia syaudtii*, *Symphonia globulifera*. En fait, nous retrouvons dans la partie positive de cet axe toutes les stations littorales bien individualisées, et dans la partie négative toutes les stations du Mayombe central (Dim., Ma, IT, Sa, Mi) et oriental (Mpa, Ba) et les parcelles de terre ferme de Kitina.

L'axe 2 montre la forte opposition entre les stations les plus sèches (Mpa, Ban), et la station la plus marécageuse (Nto, marais de la Ntombo) caractérisée surtout

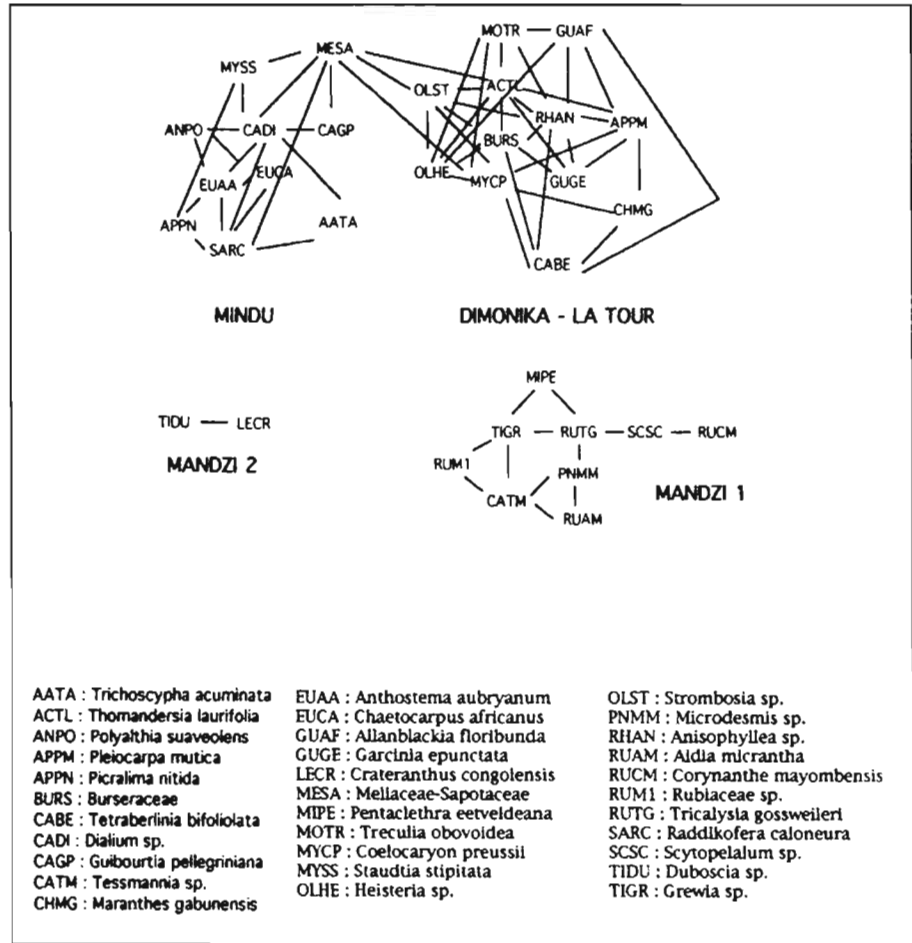


Figure 6 Interprétation simplifiée des corrélations entre taxons du Mayombe central.

par *Alstonia congensis* et *Hallea ciliata*, Il est à remarquer que le recrû forestier Kof se range vers les stations les plus sèches.

Tableau de corrélation

Le tableau de corrélation espèce par espèce a été établi en éliminant les taxons de fréquence inférieure à 3 (représentés par moins de trois individus). Seules les corrélations significatives mettant en évidence l'existence de taxons fortement liés entre eux seront retenues. On individualise ainsi différents groupes plus ou moins fortement liés entre eux, comme le montre la Figure 6 et caractéristiques des différentes stations. Étant donné le nombre considérable de corrélations établies, et pour ne pas surcharger la représentation, nous n'avons présenté qu'une forme simplifiée des regroupements. Certaines espèces, fortement corrélées toutes entre elles, forment de grosses « pelotes ». C'est le cas pour de nombreux taxons présents dans les stations de Dimonika et La Tour. Nous trouvons ensuite ce grand groupe relié par quelques espèces à un autre groupe dont la majorité des taxons ne présentent aucune corrélation avec le premier, exemple de Mindu. Enfin d'autres groupes ou même des couples de taxons s'individualisent comme nous le voyons pour Mandzi-1 et Mandzi-2.

Conclusion

L'utilisation des analyses factorielles des correspondances dans l'étude de la végétation se révèle très fructueuse. Au niveau stationnel, elles mettent en évidence un changement dans la composition floristique le long

de la toposéquence et l'hétérogénéité de certaines parcelles. Elles montrent ensuite l'originalité et les affinités de certaines stations dans un secteur donné. Enfin, étendues à une zone géographique plus importante, mais néanmoins réduite dans notre étude, comprenant des milieux plus variés, elles permettent une bonne discrimination des différents types de végétation.

Leur utilisation mériterait donc d'être étendue à une échelle plus régionale multipliant encore les différents types de milieux.

Caractérisation sommaires des stations

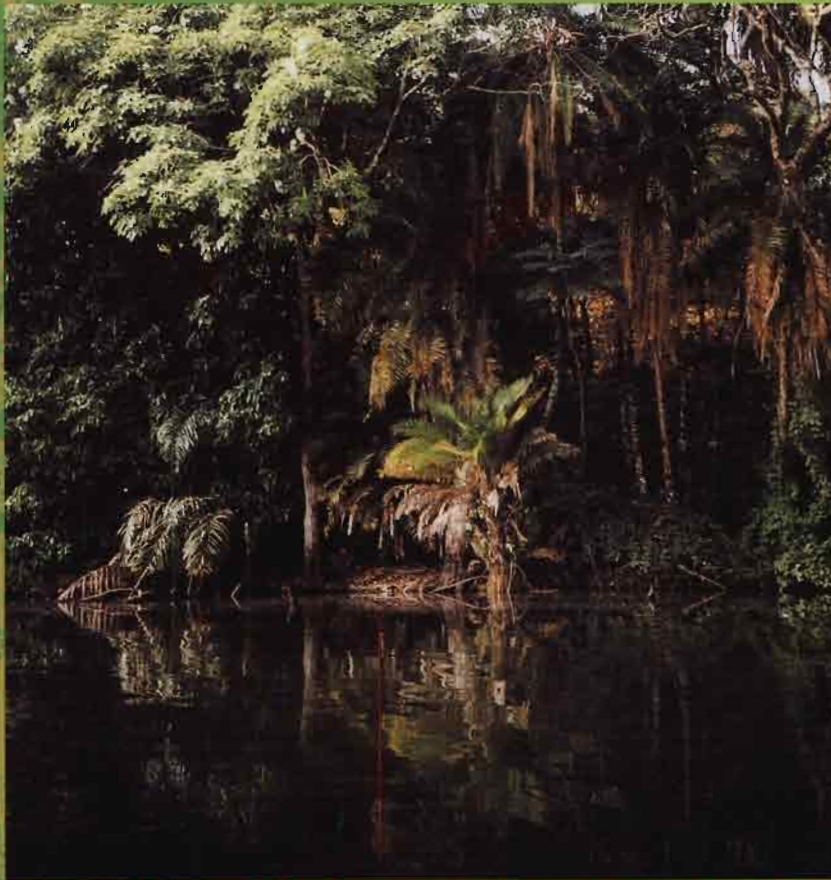
(Les caractérisations pédologiques (Figure 1) ont été faites par D. Schwartz)

1. *Dimonika*. Forêt ombrophile. Parcelles sur crête bien marquée, avec sols sur ranker et sols ferrallitiques humifères et sur très forte pente à sol ferrallitique fortement appauvri typique en haut de pente, et sols ferrallitiques fortement désaturés, rajeunis à stone line en bas de pente.
2. *La Tour*. Forêt ombrophile. Parcelles sur plateau, pente assez forte à sols ferrallitiques fortement désaturés et en bas-fond sur sols hydromorphes.
3. *Les Saras*. Forêt ombrophile. Parcelles sur pente. Sols ferrallitiques moyennement et fortement désaturés, rajeunis.
4. *Mandzi-1*. Deux types de forêt ombrophile dont une à Marantaceae (Mandzi-2). Parcelles sur pente. Sols ferrallitiques moyennement désaturés.

5. *Mindu*. Forêt ombrophile. Parcelles sur faible, puis forte pente, sols sableux, ferrallitiques psammitiques et en bas-fonds sur sols hydromorphes sableux.
6. *Lac Kitina*. Forêt ombrophile. Parcelles sur sol temporairement inondé, sableux et sur berges. sableuses Prospections botaniques de la végétation sur le pourtour du lac et des herbacées flottantes.
7. *Tchissanga*. Forêt mésophile littorale (à « *Symphonia gluhulifera* » (G. Cusset) se développant en fonds de cirques d'érosion. Parcelles sur terrain plat avec zones temporairement inondables. Sols peu évolués d'érosion, sableux.
8. *La Ntombo*. Forêt marécageuse. Parcelles sur terrain plat. Sols peu évolués humifères alluviaux sableux, et podzols.
- 9⁽¹⁾. *Koubotchi-1*. Forêt mésophile en lisière de savane littorale. Parcelles sur terrain plat temporairement inondable. Sols ferrallitiques sableux.
- 9^(F). *Koubotchi (friche)*. Recrû forestier d'une quarantaine d'année voisin de Koubotchi-1
- 9⁽²⁾. *Koubotchi-2*. Forêt mésophile en lisière de savane littorale située à quelques kilomètres de Koubotchi-1. Mêmes caractéristiques.
11. *Les Bandas*. Lambeau forestier au sommet d'une colline des premiers contreforts orientaux du Mayombe. Forêt à légumineuses (G. Cusset). Parcelles sur transect perpendiculaire à la plus forte pente. Sol prélevé non analysé.
12. *Mpassi-Mpassi*. Station située à quelques kilomètres de la précédente. Lambeau forestier au sommet d'une colline. Mêmes caractéristiques.

Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux

MICHEL SERVANT, SIMONE SERVANT-VILDARY,
ÉDITEURS SCIENTIFIQUES



Les responsables d'édition adressent leurs sincères remerciements à
Christian Levêque, Samy Mankoto, Bernard Riéra et Léo Rona-Beaulieu.

Ouvrage publié avec le soutien de :

Centre national de la recherche scientifique, Programme Environnement,
vie et sociétés, 3, rue Michel-Ange, F-75016 Paris

UNESCO, 7 place de Fontenoy, F-75007 Paris
Programme sur l'Homme et la Biosphère (MAB)
Projet PNUD ZAI/97/001-ERAIFT

Ministère des affaires étrangères
Comité MAB France

IRD (Institut de recherche pour le développement),
313, rue Lafayette, F-75010 Paris

ISBN 92-3-203753-X
Mise en page : Valérie Herman
Impression : Imprimerie Jouve
Photo de couverture : Lac Tabéré, Adamaoua, Cameroun

© UNESCO 2000